

IPEN/GRR–REL– 01/16

CATEGORIA DISTRIB: A

**Comparação da atividade presente em filtros do  
primário de alguns reatores europeus e da Usina  
Nuclear de Angra.**

**Paloma Suzane Cabrera**

**Roberto Vicente**

Setembro/2016

Gerência de Rejeitos Radioativos  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Comissão Nacional de Energia Nuclear  
São Paulo

**GRR – Gerência de  
Rejeitos Radioativos**





IPEN/GRR–REL– 01/16

CATEGORIA DISTRIB: A

**Comparação da atividade presente em filtros do  
primário de alguns reatores europeus e da Usina  
Nuclear de Angra.**

**Paloma Suzane Cabrera**

**Roberto Vicente**

Setembro/2016

Gerência de Rejeitos Radioativos  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Comissão Nacional de Energia Nuclear  
São Paulo

Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN

Presidente: Renato Machado Cotta

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Ipen-Cnen/SP

Superintendente: José Carlos Bressiani

Gerência de Rejeitos Radioativos - GRR

Gerente: Júlio Takehiro Marumo

A Gerência de Rejeitos Radioativos é o departamento do Ipen-Cnen/SP que tem como Missão promover a gestão segura dos rejeitos radioativos gerados no Brasil, dentro dos princípios éticos de proteção ao homem e ao meio ambiente. O objetivo da gestão dos rejeitos radioativos é assegurar um nível adequado de proteção à população e às gerações futuras e a preservação do meio ambiente, protegendo, além do Homem, as outras espécies e os recursos naturais.

A GRR presta serviços de gestão de rejeitos aos usuários de materiais radioativos das áreas industrial, médica e outras. Desenvolve atividades de pesquisa e desenvolvimento conduzidas no sentido de se aprimorar os métodos, as técnicas e as estratégias de gestão para reduzir os custos e melhorar a segurança no tratamento dos rejeitos. As atividades de P&D estão voltadas para as áreas de caracterização, tratamento e deposição final. Além disso, a GRR participa das atividades de ensino, formação e treinamento nas diversas áreas de aplicação da tecnologia nuclear.

O presente relatório técnico foi preparado para divulgar, da forma mais ampla possível, as informações contidas nos resultados das atividades de pesquisa e desenvolvimento da GRR, para a administração do Estado, para a comunidade acadêmica, e para o público em geral.

Comentários e sugestões sobre este ou outros relatórios da GRR são bem vindos e devem ser dirigidos a

GRR – Ipen-Cnen/SP

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária

CEP 05508-000 – São Paulo, SP

Fone: 11 3133-9745

Abril/2016

Página do Ipen-Cnen/SP na Internet: <http://www.ipen.br>

Página da CNEN na Internet: <http://www.cnen.gov.br>

Sugestão de referência deste relatório:

Cabrera, Paloma Suzane. Vicente, Roberto. Comparação da atividade presente em filtros do primário de alguns reatores europeus e da Usina Nuclear de Angra. Ipen-Cnen/SP, Setembro de 2016. (GRR-REL-01/16)

Palavras chave: radioactive waste, waste management, nuclear reactor, PWR reactor.

NOTA: Nem o Ipen-Cnen/SP nem a GRR dão garantias, expressas ou implícitas, da exatidão, completeza ou utilidade de quaisquer informações, produtos ou processos descritos neste relatório, ou de que seu uso não infrinja direitos privados. A referência neste relatório de qualquer produto comercial, processo ou serviço pelo nome comercial, marca ou fabricante não constitui nem implica necessariamente a recomendação ou favorecimento pelo GRR ou pelo Ipen-Cnen/SP.

As conclusões e pontos de vista apresentados neste relatório são do autor.

Para cópias deste documento, contatar:

Biblioteca Terezine Arantes Ferraz

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária

CEP 05508-000 – São Paulo, SP. Fone: 11 3133-9094

[bibl@ipen.br](mailto:bibl@ipen.br)

Para contatos sobre o conteúdo:

Roberto Vicente

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária

CEP 05508-000 – São Paulo, SP. Fone: 11 3133-9758

[rvicente@ipen.br](mailto:rvicente@ipen.br)

---

## **RESUMO**

### **Compilação de dados de filtros de reatores europeus**

O presente trabalho reúne e compara alguns dados sobre a concentração de atividade em rejeitos radioativos constituídos de resinas de troca-iônica, concentrados de evaporador e filtros do primário de reatores das Usinas Nucleares de Gösgen (Suíça), de Emsland e de Isar (Alemanha), e da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, Angra dos Reis, Brasil.

## **ABSTRACT**

### **Compilation of data of filters from European reactors**

This work presents a comparison of activity concentrations in radioactive waste constituted of ion-exchange resins, evaporator bottoms and cartridge filters from the nuclear reactors in the Gösgen (Switzerland), Emsland and Isar (Germany) and Almirante Álvaro Alberto NPP, in Angra dos Reis, Brazil.



## Sumário.

### **Compilação de dados de filtros de reatores europeus**

1.	Introdução.....	06
1.1	Reatores do tipo água leve.....	06
1.2	Caracterização de rejeitos .....	06
2.	Método.....	07
3.	Resultados e Discussão.....	08
4.	Conclusões.....	28
	Referências.....	28

## **1. Introdução.**

### **1.1 Reatores do tipo água leve.**

Ao contrário dos reatores de água pesada em que se utiliza óxido de deutério ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ) como líquido refrigerante para o cerne do reator e como moderador de nêutrons, os reatores de água leve utilizam água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) para esses fins.

A água utilizada no reator deve ser desmineralizada, de forma que:

- possua baixa condutividade elétrica;
- não provoque corrosões no material estrutural do reator;
- não possua íons dissolvidos, a fim de evitar que esses sejam ativados e venham a aumentar a concentração de material radioativo na água do primário.

Apesar de ser inicialmente desmineralizada, no reator a água está sujeita à presença de radionuclídeos gerados pela ativação do material estrutural, irradiação de urânio contaminante presente em baixa concentração na superfície externa do combustível nuclear, ou ainda, proveniente de vazamentos ocorridos a partir de descontinuidades no próprio revestimento do combustível nuclear. Assim, para garantir que se mantenha sua pureza, a água do reator passa por um sistema de filtragem constituído por:

- filtros cartucho, que retêm o material particulado presente na água;
- leitos de resinas de troca iônica que retêm íons de substâncias dissolvidas

de forma que a concentração de impurezas permaneça constantemente abaixo dos limites operacionais.

Quando esse sistema de filtragem satura e perde a capacidade de manter a água do reator desmineralizada, os filtros cartucho e os leitos de resina de troca iônica são substituídos e tornam-se rejeito radioativo.

A Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto conta com duas usinas em operação (Angra 1 e Angra 2) e uma terceira em construção (Angra 3) localizadas em Angra dos Reis – RJ, Brasil. Todas contam (ou contará, no caso de Angra 3) com reatores de água leve do tipo PWR (Pressurized Water Reactor), de forma que possuem um sistema de filtragem de água análogo e, conseqüentemente, há rejeitos desse tipo a serem caracterizados.

### **1.2 Caracterização de rejeitos gerados em sistemas de filtragem de reatores do tipo água leve.**

A fim de caracterizar os rejeitos radioativos provenientes do sistema de filtragem dos reatores Angra 1 e 2 estão sendo desenvolvidos estudos sob um convênio entre CNEN e Eletronuclear. As características dos rejeitos radioativos provenientes de outras usinas similares podem servir de referência para esses estudos.

Sendo assim, realizou-se esta compilação de dados referentes aos sistemas de filtragem de reatores das Usinas Nucleares de Gösgen (Suíça), de Emsland e de



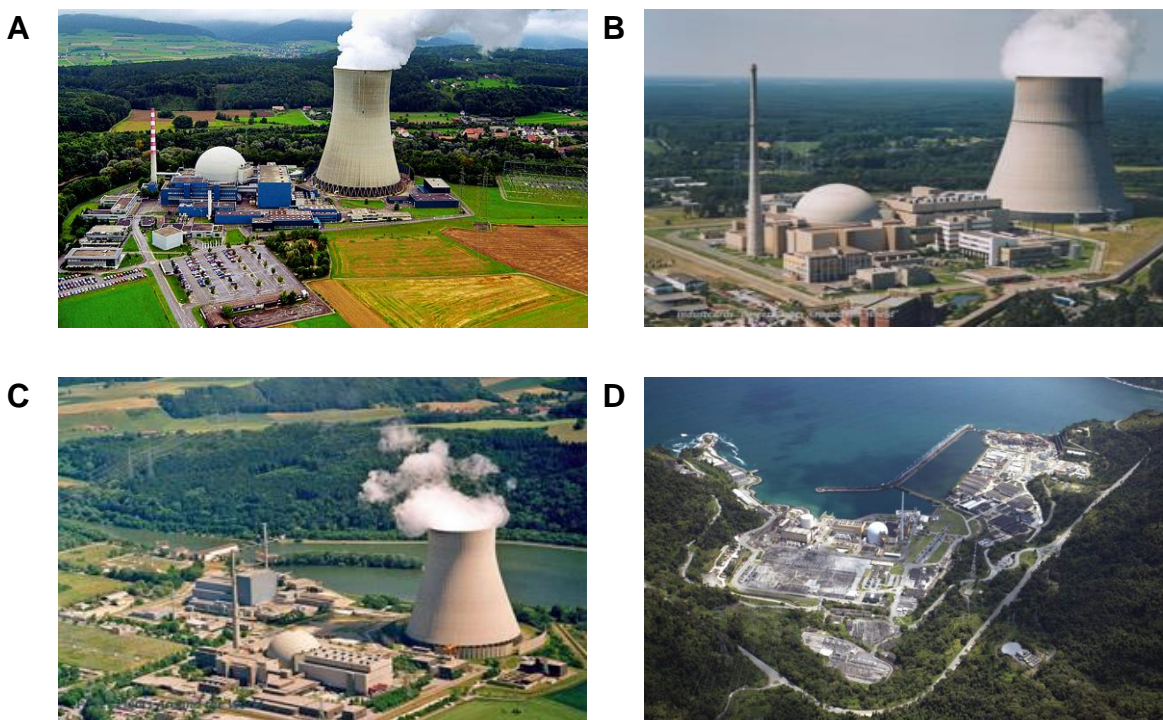
Isar (Alemanha). Assim como os reatores das usinas de Angra dos Reis, os reatores dessas usinas também são do tipo PWR e possuem sistema de filtragem parecidos.

Embora seja conhecida a possibilidade de grandes diferenças entre dados referentes aos rejeitos provenientes de reatores nucleares similares, espera-se que essa compilação de dados forneça, dentre outros, conhecimentos sobre:

- os radionuclídeos comumente presentes;
- as ordens de grandeza de suas atividades;
- comportamento das concentrações de atividades em cada tipo de rejeito e para cada radionuclídeo presente.

Desta forma, pretende-se ter parâmetros que auxiliem na caracterização de rejeitos de mesmo tipo gerado nas usinas de Angra dos Reis.

Para ilustração, imagens das quatro usinas consideradas são apresentadas na figura 1.



**Figura 1:** Usinas Nucleares. **A** – Gösgen, Suíça [1]. **B** – Emsland, Alemanha [2]. **C** – Isar, Alemanha [3]. **D** – Angra 1 e 2, Brasil [4].

## 2. Método

Copias em papel de alguns relatórios referentes às análises de concentração de radionuclídeos presentes em amostras de resina de troca iônica, filtros e concentrados de evaporador das usinas europeias foram disponibilizadas, o que deu oportunidade para a presente análise. Os dados dos relatórios foram traduzidos do alemão e transcritos para planilhas, de forma que esses pudessem ser facilmente usados para comparar com resultados de análises da usina de Angra.

### 3. Resultados e Discussão.

As tabelas 1 a 15 a seguir apresentam os dados compilados citados na seção anterior.

**Tabela 1:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de resina da Usina Nuclear KKK-Gösgen. (Resultados em base seca; 14/04/1995).

Nuclídeo	Amostras					
	Gösgen 1		Gösgen 2		Gösgen 3	
	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)
<b><math>\alpha</math> - Total</b>	2,60E+02	3,00E+01	2,50E+02	3,00E+01	2,90E+02	2,00E+01
<b>H-3</b>	2,20E+02	2,00E+01	3,50E+01	7,00E+00	1,10E+02	2,00E+01
<b>C-14</b>	5,70E+04	1,30E+04	2,40E+04	5,00E+05	6,30E+04	1,20E+04
<b>Cl-36</b>	9,00E+01	1,00E+00	1,10E+01	1,00E+00	1,40E+01	2,00E+00
<b>Mn-54</b>	2,90E+04	4,00E+03	3,60E+04	2,00E+03	3,20E+04	3,00E+03
<b>Fe-55</b>	8,40E+05	6,00E+04	1,10E+06	7,00E+05	2,00E+06	7,00E+05
<b>Co-60</b>	5,50E+06	4,00E+05	5,90E+06	2,00E+05	5,50E+06	2,00E+05
<b>Ni-63</b>	2,00E+05	1,00E+01	2,00E+06	1,00E+05	1,80E+06	1,00E+05
<b>Nb-94</b>	7,50E+01	7,00E+00	7,90E+01	8,00E+00	6,70E+01	7,00E+05
<b>Sr-90</b>	2,60E+04	2,00E+03	2,90E+04	2,00E+03	2,80E+04	8,00E+03
<b>Tc-99</b>	1,10E+02	1,00E+01	5,60E+01	6,00E+00	2,70E+01	3,00E+00
<b>Ag-108m</b>	3,80E+00	5,00E-01	3,70E+00	5,00E-01	4,20E+00	1,10E+00
<b>Ag-110m</b>	3,10E+01	2,00E+00	3,80E+01	2,00E+00	5,40E+01	3,00E+00
<b>Sb-125</b>	2,60E+04	1,00E+03	2,50E+04	1,00E+03	2,40E+04	1,00E+03
<b>Sn-126</b>	<3,80E+02	-	<4,00E+02	-	<3,60E+02	-
<b>I-129</b>	1,30E+00	2,00E-01	9,00E-01	1,00E-01	1,30E+00	2,00E-01
<b>Cs-134</b>	4,00E+05	2,00E+04	4,50E+05	3,00E+04	4,10E+05	1,00E+04
<b>Cs-137</b>	3,50E+06	2,00E+05	3,60E+05	1,00E+05	3,40E+06	1,00E+05
<b>Ce-144/Pr-144</b>	<1,20E+01	-	<2,00E+03	-	<1,80E+02	-
<b>U-234</b>	3,10E-01	5,00E-02	2,60E-01	4,00E-02	<3,30E-01	-
<b>U-235</b>	<1,40E-01	-	<5,00E-02	-	<5,00E-01	-
<b>U-238</b>	1,40E-01	3,00E-02	9,00E-02	2,00E-02	<2,80E-01	-
<b>Pu-238</b>	1,40E+01	1,00E+00	1,50E+01	1,00E+00	1,30E+01	1,00E+00
<b>Pu-239/240</b>	3,90E+01	0,3	4,10E+01	3,00E+00	3,60E+02	3,00E+01
<b>Pu-241</b>	1,50E+03	N	1,20E+03	N	1,80E+03	N
<b>Am-241</b>	4,70E+01	3,00E-02	4,91E+00	4,00E+00	4,30E+01	3,00E+00
<b>Cm-242</b>	3,00E-02	0,01	2,00E-02	0,01	3,00E-02	1,00E-02
<b>Cm-243/244</b>	1,50E+00	0,1	1,00E+00	7,00E-02	1,30E+00	1,00E-01
<b>Am-243</b>	1,30E-01	0,01	6,90E-01	0,05	1,10E-01	1,00E-02

N = valor ausente na referência original

**Tabela 2:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de resina da Usina Nuclear KKK-Gösgen. (Resultados em base seca; 19/12/2000).

Nuclídeo	Amostra 1		Amostra 2		Método
	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	
<b>Mn-54</b>	2,18E+03	2,20E+02	2,88E+05	2,90E+04	A
<b>Fe-55</b>	1,13E+06	1,50E+05	1,03E+06	1,30E+05	E
<b>Co-57</b>	2,44E+03	2,70E+02	4,54E+03	2,60E+02	A
<b>Co-59</b>	5,30E+05	5,40E+04	4,54E+05	4,00E+02	A
<b>Co-60</b>	3,98E+06	4,20E+05	4,09E+06	4,30E+05	A
<b>63-Ni</b>	6,27E+05	3,60E+04	5,73E+05	3,40E+04	E
<b>65-Zn</b>	<1,42E+04	-	8,90E+03	2,30E+03	A
<b>Ag-110m</b>	3,91E+04	7,20E+03	3,99E+04	7,00E+03	A
<b>Sn-123</b>	8,52E+03	9,60E+02	7,26E+03	8,20E+02	A
<b>Sb-124</b>	2,97E+05	6,30E+04	3,41E+05	4,30E+04	A
<b>Sb-126</b>	2,26E+05	2,40E+04	2,02E+05	2,10E+04	A
<b>Cs-134</b>	4,64E+05	5,10E+04	5,06E+05	5,50E+04	A
<b>Cs-137</b>	1,32E+06	1,30E+05	1,42E+06	1,40E+05	A
<b>Pu-238</b>	5,12E+01	1,20E+00	5,95E+01	4,30E+00	D
<b>Pu-239/240</b>	3,49E+01	3,00E+00	3,96E+01	3,00E+00	D
<b>Pu-241</b>	2,93E+03	4,50E+02	2,38E+03	6,10E+02	E
<b>Am-241</b>	9,58E+00	5,10E-01	1,08E+01	9,00E-01	D
<b>Cm-242</b>	1,06E+01	9,00E-01	1,51E+01	3,30E+00	D
<b>Cm-243/244</b>	6,75E+00	8,00E-01	5,00E-01	9,00E-01	E
<b><math>\alpha</math> - Total</b>	1,13E+02	1,10E+01	1,35E+02	1,10E+01	-

**Métodos:**

A = espectrometria gama

D = separação química, espectrometria alfa

E = separação química, medição LSC

**Tabela 3:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de resina da Usina Nuclear KKK-GÖsgen. (Resultados em base seca; 18/07/96.

Nuclídeo	Amostras						Método
	8TR61		10TR63		14TR62		
	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	
H-3	1,00E+03	1,00E+02	7,50E+02	5,00E+01	1,30E+01	2,00E+00	A
C-14	3,10E+02	6,00E+01	4,70E+02	9,00E+01	1,50E+02	2,00E+01	A
Cl-36	<9,00E-02	-	<6,70E-02	-	<7,30E-02	-	A
Mn-54	2,00E+02	3,00E+01	6,70E+02	7,00E+01	4,00E+01	5,00E+00	C
Fe-55	1,20E+03	1,00E+02	8,80E+03	7,00E+01	2,60E+03	3,00E+02	A
Co-60	1,70E+04	1,00E+03	1,60E+05	1,00E+05	2,70E+04	1,00E+03	C
Ni-63	1,80E+03	2,00E+02	1,80E+04	2,00E+03	7,10E+02	7,00E+01	A
Sr-90	6,80E+03	5,00E+02	4,90E+04	4,00E+03	1,70E+01	1,00E+00	A
Nb-94	1,30E+00	3,00E-01	<1,10E+00	-	1,20E+00	4,00E-01	D
Tc-99	5,20E+00	1,10E+00	7,70E+00	8,00E-01	9,50E+00	8,00E-01	A
Ag-108m	7,90E-01	1,20E-01	3,50E-01	1,30E-01	4,60E-01	5,00E-02	D
Ag-110m	2,60E+00	1,00E-01	7,60E+00	8,00E-01	9,00E+00	1,00E+00	D
Sb-123	1,80E+02	1,00E+01	4,30E+02	6,00E+01	6,90E+02	7,00E+01	C
Sn-126	<0,53	-	<9,80E-02	-	<4,70E-01	-	D
I-129	8,10E-04	8,00E-05	7,40E-04	8,00E-02	1,10E-05	1,00E-06	B
Cs-134	3,10E+02	3,00E+01	3,00E+02	4,00E+01	3,70E+01	3,00E+00	C
Cs-137	4,20E+03	2,00E+02	1,40E+03	2,00E+02	4,70E+02	2,00E+01	C
Ce-146/147-Pr	<8,70E+00	-	<7,70E+01	-	<2,60E+00	-	D
U-234	<7,50E-03	-	2,00E-02	3,00E-03	3,50E-02	3,00E-03	E
U-235	<1,30E-03	-	<1,30E-02	-	<1,20E-02	-	E
U-238	<1,20E-02	-	1,80E-02	3,00E-03	1,50E-02	3,00E-03	E
Pu-238	1,30E-01	1,00E-02	2,20E-02	3,00E-03	1,40E-01	1,00E-02	E
Pu-239/240	2,10E-02	2,00E-02	3,60E-02	4,00E-03	2,10E-01	2,00E-02	E
Pu-241	3,30E+00	1,00E+00	<4,40E+00	-	6,70E+03	3,50E+03	A
Am-241	4,60E-01	5,00E-02	5,50E-02	5,00E-03	3,40E-01	3,00E-02	E
Cm-242	<9,00E-02	-	<5,00E-03	-	<9,60E-03	-	E
Cm-243/244	<7,20E-02	-	1,10E-02	2,00E-03	4,00E-02	5,00E-03	E

**Métodos:**

A = separação química LSL

B = NAA

C = espectrometria gama

D = separação química, espectrometria gama

E = separação química, espectrometria alfa

**Tabela 4:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de resina da Usina Nuclear KKK-Gösgen. (Resultados em base seca; 09/07/97)

Nuclídeo	Tc 32, Amostra 2		Tc 32, Amostra 4		Método
	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	
H-3	3,00E+01	2,00E+00	3,80E+01	3,00E+00	A
C-14	3,60E+03	3,00E+02	3,40E+03	3,00E+02	A
Cl-36	2,10E+01	2,00E+00	2,00E+01	2,00E+00	A
Mn-54	5,30E+03	6,00E+02	4,60E+03	6,00E+02	C
Fe-55	1,20E+05	1,00E+04	1,20E+05	1,00E+04	A
Co-60	1,00E+07	5,00E+06	8,90E+06	6,00E+05	C
Ni-63	3,40E+06	3,00E+05	3,60E+06	3,00E+05	A
Sr-90	2,10E+04	2,00E+03	1,60E+04	2,00E+03	A
Nb-94	2,10E+02	2,00E+01	2,90E+02	4,00E+01	D
Tc-99	8,00E+01	5,00E+00	8,00E+01	5,00E+00	A
Ag-108m	2,70E+01	3,00E+00	2,20E+01	2,00E+00	D
Ag-110m	3,60E+03	5,00E+02	3,40E+03	4,00E+02	D
Sb-125	8,20E+04	6,00E+03	7,70E+04	5,00E+03	C
Sn-126	<4,60E+00	-	<6,10E+00	-	D
I-129	4,80E-01	4,00E-02	4,30E-01	4,00E-02	B
Cs-134	3,60E+05	3,00E+04	2,70E+05	3,00E+04	C
Cs-137	1,40E+06	3,00E+05	1,20E+06	3,00E+05	C
Ce-146/147-Pr	2,10E+01	6,00E+00	1,90E+01	6,00E+00	D
U-233	<6,70E-03	-	<6,50E-03	-	E
U-234	2,90E-01	2,00E-02	2,90E-01	2,00E-02	E
U-235	2,40E-02	2,00E-03	1,40E-02	3,00E-03	E
U-236	3,10E-02	4,00E-03	3,10E-02	4,00E-03	E
U-238	9,90E-02	7,00E-03	8,20E-02	5,00E-03	E
Pu-238	7,50E+01	5,00E+00	8,70E+01	5,00E+00	E
Pu-239/240	3,10E+01	2,00E+00	3,90E+01	3,00E+00	E
Pu-241	1,30E+03	4,00E+02	1,90E+03	5,00E+02	A
Am-241	4,30E+01	2,00E+00	4,60E+01	4,00E+00	B
Am-243	<5,80E-02	-	<1,50E-02	-	E
Cm-242	1,30E+00	2,00E-01	1,10E+00	1,00E-01	E
Cm-243/244	5,30E+01	5,00E+00	5,60E+01	5,00E+00	E

**Métodos:**

A = separação química, LSC

B = NAA

C = espectrometria gama

D = separação química, espectrometria gama

E = separação química, espectrometria alfa

**Tabela 5:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de concentrado do evaporador de Gösgen. (Resultados em base seca; 24/07/01)

Nuclídeo	Amostras				Método
	Amostra 20 TR 61		Amostra 23 tr 42		
	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)	
<b>Fe-55</b>	3,98E+03	8,00E+02	2,97E+03	6,00E+03	E
<b>Co-60</b>	2,10E+04	4,20E+03	1,07E+04	2,10E+02	A
<b>Ni-63</b>	2,73E+03	5,10E+02	1,94E+03	3,80E+02	E
<b>Sb-125</b>	2,72E+02	3,50E+01	2,91E+02	5,90E+01	A
<b>Cs-134</b>	2,87E+02	5,70E+01	1,05E+02	2,10E+01	A
<b>Cs-137</b>	4,40E+03	8,70E+02	1,98E+03	4,00E+54	A
<b>Pu-238</b>	1,13E-01	1,70E-02	3,20E-02	4,80E-03	D
<b>Pu-239/240</b>	1,46E-01	2,20E-02	2,68E-02	4,00E-03	D
<b>Pu-241</b>	1,91E+01	4,80E+00	9,41E+00	2,40E-01	E
<b>Am-241</b>	2,21E-01	2,00E-02	3,68E-02	7,90E-03	D
<b>Cm-242</b>	<1,71E-02	-	<2,31E-02	-	D
<b>Cm-243/244</b>	2,53E-02	4,80E-03	<1,90E-02	-	C
<b><math>\alpha</math> – Total</b>	1,96E+01	4,80E+00	9,51E+00	2,40E-01	DIN
<b>Resíduo Seco</b>	8,84E+01	Gev. -4	9,32E+01	Gev. -6	3841D-S2
<b>Glün-rücketand</b>	5,39E+01	Gev. -2	5,59E+01	Gev. -2	0

**Métodos:**

A = espectrometria gama

D = separação química, espectrometria alfa

E = separação química, medição LSC

**Tabela 6:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em filtro cartucho. (01/10/03).

Nuclídeo	C (Bq/mm <sup>2</sup> )	$\pm \sigma$ (Bq/mm <sup>2</sup> )	Método
<b>C-14</b>	2,40E+01	9,00E+00	A
<b>Cl-36</b>	9,50E-02	2,00E-03	A
<b>Mn-54</b>	<9,90E-02	-	D
<b>Fe-55</b>	4,60E+02	1,00E+01	A
<b>Co-60</b>	4,60E+03	2,00E+02	B
<b>Ni-63</b>	2,00E+03	1,00E+02	A
<b>Sr-90</b>	1,50E+00	1,00E-01	A
<b>Nb-94</b>	1,10E+00	1,00E-01	D
<b>Tc-99</b>	1,80E+00	1,00E-01	A
<b>Ag-108m</b>	8,90E-01	4,00E-02	D
<b>Ag-110</b>	7,70E+00	6,00E-01	D
<b>Sb-125</b>	<1,20E+01	-	B
<b>Sn-125</b>	<2,80E+00	-	D
<b>Cs-137</b>	3,00E+01	3,00E+01	-
<b>Ce/Pr-144</b>	<6,90E-01	-	D
<b>U-233</b>	<1,30E-03	-	C
<b>U-234</b>	<8,70E-04	-	C
<b>U-235</b>	<1,30E-03	-	C
<b>U-236</b>	<1,30E-03	-	C
<b>U-238</b>	<8,70E-04	-	C
<b>Pu-238</b>	3,60E-01	3,00E-02	C
<b>Pu - 239/240</b>	1,70E-01	1,00E-02	C
<b>Am-241</b>	2,10E-01	2,00E-02	C
<b>Cm-242</b>	<9,40E-03	-	C
<b>Cm-243/244</b>	<8,70E-03	-	C

**Métodos:**

A = separação química, medição LSC

B = espectrometria gama sobre a solução de digestão

C = separação química, espectrometria alfa

D = separação química, espectrometria gama

**Tabela 7:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de concentrado de evaporador de Emsland. (Resultados em base seca; Jan/2001).

Nuclídeo	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)
H-3	1,30E+04	1,00E+03
C-14	3,40E+01	1,00E+00
Cr-51	1,60E+01	5,00E+00
Fe-55	6,70E+01	6,00E+00
Co-60	6,20E+01	1,00E+00
Ni-63	4,90E+01	7,00E+00
Rb-87	<1,00E-03	-
Sr-90	3,80E-02	1,00E-02
Ag-108m	<2,10E-01	-
Ag-110m	<3,90E-01	-
Sb-125	7,50E+01	1,00E+00
I-129	<9,30E-04	-
Cs-134	7,10E-01	1,80E-01
Cs-137	4,40E+00	2,00E-01
$\alpha$ - Total (1)	<1,50E-02	-
$\beta$ - Total (2)	1,00E+02	1,00E+01
$\gamma$ - Total(3)	1,60E+02	2,00E+01

(1) Equivalente Am-241

(2) Equivalente Co-60

(3) Equivalente Cs-137

**Tabela 8:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de concentrado de evaporador de Emsland. (Resultados em base seca; janeiro/2001).

Nuclídeo	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)
U-233	<8,70E-05	-
U-234	1,50E-04	1,00E-04
U-235	<1,30E-04	-
U-238	2,70E-04	1,20E-04
Pu-238	1,50E-03	3,00E-04
Pu-239/240	8,00E-04	2,00E-04
Pu-241 (a)	<9,60E-02	-
Pu-241	<1,80E+00	-
Am-241	1,20E-03	3,00E-04
Cm-242	<1,70E-04	-
Cm-243/244	<1,70E-04	-

(a) Estimativa conservadora da taxa de formação.



**Tabela 9:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de resina de troca iônica da Usina Nuclear Isar 2. (Resultados em base seca; 10/01/2007).

Nuclídeo	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)
H-3	1,40E+03	1,00E+02
C-14	2,70E+04	3,00E+03
Cl-36	<1,60E+00	-
Cr-51	1,60E+03	6,00E+02
Mn-54	2,80E+04	1,00E+03
Fe-55	1,70E+05	2,00E+04
Co-58	1,00E+04	1,00E+03
Fe-59	5,20E+02	1,30E+02
Co-60	4,40E+04	1,00E+03
Ni-63	7,30E+04	5,00E+03
Zn-65	4,30E+02	1,10E+02
Sr-89	4,00E+02	2,00E+01
Sr-90	2,60E+01	5,00E+00
Zr-95	2,10E+03	2,00E+02
Nb-95	6,90E+03	2,00E+02
Ag-110m	5,10E+03	2,00E+02
Sb-124	2,90E+02	3,00E+01
Sb-125	1,50E+04	1,00E+03
Cs-134	2,00E+02	5,00E+01
Cs-137	2,80E+03	1,00E+02
$\alpha$ - Total (1)	5,00E-01	1,50E-01
$\beta$ - Total (2)	6,40E+04	4,00E+03
$\gamma$ - Total (3)	1,40E+05	1,00E+04

(1) Equivalente Am-241

(2) Equivalente Co-60

(3) Equivalente Cs-137

**Tabela 10:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de resina da Usina Nuclear Isar 2. (Resultados em base seca; 10/01/2007).

Nuclídeo	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)
U-233	<2,00E-03	-
U-234	3,50E-03	1,90E-03
U-235	<1,00E-03	-
U-238	4,50E-03	1,30E-03
Pu-238	3,10E-01	7,00E-02
Pu-239/240	8,20E-02	1,80E-02
Pu-241 (a)	<9,80E+00	-
Pu-241	4,80E+00	8,00E-01
Am-241	2,70E-01	4,00E-02
Cm-242	2,20E-02	6,00E-03
Cm-243/244	1,40E-01	3,00E-02

(a) Estimativa conservadora da taxa de formação

**Tabela 11:** Concentração de atividade (C) e desvio padrão ( $\sigma$ ) em amostras de concentrado de evaporador de Isar 2. (Resultados em base seca; 10/01/2007).

Nuclídeo	C (Bq/g)	$\pm \sigma$ (Bq/g)
H-3	1,50E+02	1,00E+01
C-14	3,50E+01	2,00E+00
Cl-36	<3,00E-01	-
Cr-51	1,30E+00	4,00E-01
Mn-54	6,00E+00	2,00E-01
Fe-55	7,10E+02	3,00E+01
Co-58	3,90E+00	1,00E-01
Fe-59	<3,20E-01	-
Co-60	2,70E+02	1,00E+01
Ni-63	2,80E+02	2,00E+01
Zn-65	3,60E-01	8,00E-02
Sr-89	<8,10E-02	-
Sr-90	1,60E-01	2,00E-02
Nb-94	2,20E-01	5,00E-02
Ag-108m	2,80E-01	3,00E-02
Ag-110m	2,30E+00	1,00E-01
Sb-124	<1,00E-01	-
Sb-125	1,40E+01	1,00E+00
Cs-134	2,70E+00	1,00E-01
Cs-137	4,40E+01	1,00E+00
$\alpha$ - Total (1)	2,00E-02	3,00E-03
$\beta$ - Total (2)	3,30E+02	2,00E+01
$\gamma$ - Total (3)	4,90E+02	3,00E+01

- a) Equivalente Am-241
- b) Equivalente Co-60
- c) Equivalente Cs-137

**Tabela 12:** Concentração de atividade gama em Bq/mm<sup>2</sup>, exceto para a amostra P-16 (Bq/g) em filtros de KKK-Gösgen. (Sem data no documento original)

Amostra	Co-60	Cs-137	Sb-125	Ag-110m	Cs-134	Razão = Co-60/Cs-137
P-1	3,50E+04	4,60E+02	-	-	-	R = 76
P-2	8,80E+05	<1,30E+03	1,20E+04	-	-	R > 677
P-3	3,90E+04	1,40E+03	-	2,70E+04	-	R = 28
P-4	2,20E+04	9,60E+02	-	-	-	R = 23
P-5	1,30E+06	<3,70E+03	-	-	-	R > 351
P-6	1,80E+05	9,80E+02	-	-	-	R = 184
P-7	1,40E+04	<2,20E+02	-	-	-	R > 64
P-8	8,90E+04	1,30E+03	1,60E+03	-	-	R = 68
P-9	5,50E+06	2,00E+04	-	-	-	R = 275
P-10	1,50E+05	<6,30E+02	-	-	-	R > 238
P-11	6,40E+04	1,50E+04	-	-	2,60E+03	R = 4,3
P-12	6,70E+05	<1,20E+03	-	-	-	R > 558
P-14	2,10E+06	5,00E+03	-	-	-	R = 420
P-15	2,00E+05	<5,20E+02	-	-	-	R > 385
P-16	2,70E+05	<3,60E+03	-	-	-	R > 75
P-17	2,50E+06	<8,50E+03	-	-	-	R > 291
P-19	4,90E+04	<3,40E+02	-	-	-	R > 144

**Tabela 13:** Concentração de atividade β-Total e α-Total em Bq/mm<sup>2</sup>, exceto para a amostra P-16 (Bq/g) em filtros de KKK-Gösgen. (Sem data no documento original)

Amostra	β - Total	α - Total
P-1	4,50E+04	1,90E+02
P-2	1,00E+06	1,60E+03
P-3	7,60E+04	6,70E+02
P-4	2,40E+04	2,10E+02
P-5	1,50E+06	2,80E+03
P-6	6,50E+05	7,90E+03
P-7	1,80E+04	1,60E+02
P-8	1,10E+05	2,30E+02
P-9	7,60E+06	1,40E+04
P-10	3,10E+05	1,60E+03
P-11	1,50E+05	3,80E+03
P-12	9,00E+05	3,50E+02
P-14	3,10E+06	5,00E+03
P-15	2,80E+05	9,20E+02
P-16	5,20E+05	1,40E+04
P-17	3,20E+06	3,30E+03
P-19	1,30E+05	4,40E+02

**Tabela 14:** Concentração de atividade gama e  $\alpha$ -Total, em Bq/mm<sup>2</sup>, exceto para a amostra P16 (Bq/g) em filtros de Gösgen. (Sem data no documento original).

Amostra	Cs-137	$\alpha$ - Total	Razão = Cs-137 / $\alpha$ - Total
P-1	4,60E+02	1,90E+02	2,4 : 1
P-2	<1,30E+03	1,60E+03	<0,8 : 1
P-3	1,40E+03	6,70E+02	2,1 : 1
P-4	9,60E+02	2,10E+02	4,6 : 1
P-5	<3,70E+03	2,80E+03	<1,3 : 1
P-6	9,80E+02	7,90E+03	0,12 : 1
P-7	<2,20E+02	1,60E+02	<1,4 : 1
P-8	1,30E+03	2,30E+02	5,7 : 1
P-9	2,00E+04	1,40E+04	1,4 : 1
P-10	<6,30E+02	1,60E+03	<0,4 : 1
P-11	1,50E+04	3,80E+03	3,9 : 1
P-12	<1,20E+03	3,50E+02	<3,4 : 1
P-14	5,00E+03	5,00E+03	1 : 1
P-15	<5,20E+02	9,20E+02	<0,6 : 1
P-16	<3,60E+03	1,40E+04	<0,3 : 1
P-17	<8,60E+03	3,30E+03	<2,6 : 1
P-19	<3,40E+02	4,40E+02	<0,8 : 1

**Tabela 15:** Concentração de atividade gama e  $\beta$ -Total, em Bq/mm<sup>2</sup>, exceto para a amostra P16 (Bq/g), em filtros de Gösgen. (Sem data no documento original).

Amostra	$\beta$ - Total	$\gamma$ - Total	Razão = $\beta$ - Total / $\gamma$ - Total
P-1	4,50E+04	3,60E+04	1,30
P-2	1,00E+06	8,90E+05	1,10
P-3	7,60E+04	7,00E+04	1,10
P-4	2,40E+04	2,30E+04	1,00
P-5	1,50E+06	1,40E+06	1,10
P-6	6,50E+05	1,80E+05	3,60
P-7	1,80E+04	1,50E+04	1,20
P-8	1,10E+05	9,30E+04	1,20
P-9	7,60E+06	5,50E+06	1,40
P-10	3,10E+05	1,50E+05	2,10
P-11	1,50E+05	8,30E+04	1,80
P-12	9,00E+05	6,70E+05	1,30
P-14	3,10E+06	2,10E+06	1,50
P-15	2,80E+05	2,00E+05	1,40
P-16	5,20E+05	2,70E+05	1,90
P-17	3,20E+06	2,50E+06	1,30
P-19	1,30E+05	5,00E+04	2,60

As Tabelas 16 a 18, apresentadas a seguir, foram construídas com o objetivo de comparar separadamente valores para a concentração de atividade em resina de troca iônica, concentrado de evaporador e filtros das Usinas Nucleares europeias presentes nas Tabelas 1 a 15. Na Tabela 16, compara-se também alguns valores referentes às Usina Nucleares Angra 1 e Angra 2 e, no caso da Tabela 18, são apresentados apenas os dados da Usina de Gösgen.

**Tabela 16:** Concentração de atividade em resina de troca iônica referentes às Usinas Nucleares KKK-Gösgen, Israr 2 e Angra 1 e 2. (Valores em Bq/g).

Data de Referência	Amostras															
	Gösgen 1	Gösgen 2	Gösgen 3	Gösgen	Gösgen	Gösgen	Gösgen	Gösgen	Gösgen	Gösgen	Gösgen	Isar2 kbe32	Angra kbe31	Angra kbe31	Angra kbe32	Angra kbe32
	abr/95	abr/95	abr/95	mar/01	mar/01	jul/96	jul/96	jul/96	jul/97	jul/97	jan/07	out/07	out/07	out/07	out/07	out/07
<b>Mn-54</b>	2,90E+04	3,60E+04	3,20E+04	2,18E+03	2,88E+05	2,00E+02	6,70E+02	4,00E+01	5,30E+03	4,60E+03	2,80E+04	1,45E+04	1,44E+04	2,21E+04	2,32E+04	
<b>Fe-55</b>	8,40E+05	1,10E+06	2,00E+06	1,13E+06	1,03E+06	1,20E+03	8,80E+03	2,60E+03	1,20E+05	1,20E+05	1,70E+05	-	-	-	-	
<b>Co-60</b>	5,50E+06	5,90E+06	5,50E+06	3,98E+06	4,09E+06	1,70E+04	1,60E+05	2,70E+04	1,00E+07	8,90E+06	4,40E+04	1,01E+05	1,03E+05	9,56E+04	9,93E+04	
<b>Ni-63</b>	2,00E+05	2,00E+06	1,80E+06	6,27E+05	5,73E+05	1,80E+03	1,80E+04	7,10E+02	3,40E+06	3,60E+06	7,30E+04	-	-	-	-	
<b>Sr-90</b>	2,60E+04	2,90E+04	2,80E+04	-	-	6,80E+03	4,90E+04	1,70E+01	2,10E+04	1,60E+04	2,60E+01	-	-	-	-	
<b>Nb-94</b>	7,50E+01	7,90E+01	6,70E+01	-	-	1,30E+00	1,10E+00	1,20E+00	2,10E+02	2,90E+02	-	-	-	-	-	
<b>Tc-99</b>	1,10E+02	5,60E+01	2,70E+01	-	-	5,20E+00	7,70E+00	9,50E+00	8,00E+01	8,00E+01	-	-	-	-	-	
<b>Ag-108m</b>	3,80E+00	3,70E+00	4,20E+00	-	-	7,90E-01	3,50E-01	4,60E-01	2,70E+01	2,20E+01	-	-	-	-	-	
<b>Ag-110m</b>	3,10E+01	3,80E+01	5,40E+01	3,91E+04	3,99E+04	2,60E+00	7,60E+00	9,00E+00	3,60E+03	3,40E+03	5,10E+03	3,48E+03	3,87E+03	8,00E+03	9,27E+03	
<b>Sn-126</b>	3,80E+02	4,00E+02	3,60E+02	2,26E+05	2,02E+05	5,00E-01	9,80E-02	4,70E-01	4,60E+00	6,10E+00	-	-	-	-	-	
<b>Sb-125</b>	2,60E+04	2,50E+04	2,40E+04	-	-	1,80E+02	4,30E+02	6,90E+02	8,20E+04	7,70E+04	1,50E+04	1,38E+04	1,89E+04	4,50E+04	5,12E+05	
<b>Cs-134</b>	4,00E+05	4,50E+05	4,10E+05	4,64E+05	5,06E+05	3,10E+02	3,00E+02	3,70E+01	3,60E+05	2,70E+05	2,00E+02	7,65E+04	7,90E+04	5,83E+04	6,33E+04	
<b>Cs-137</b>	3,50E+06	3,60E+05	3,40E+06	1,32E+06	1,42E+06	4,20E+03	1,40E+03	4,70E+02	1,40E+06	1,20E+06	2,80E+03	3,81E+05	4,02E+05	3,08E+05	3,21E+05	

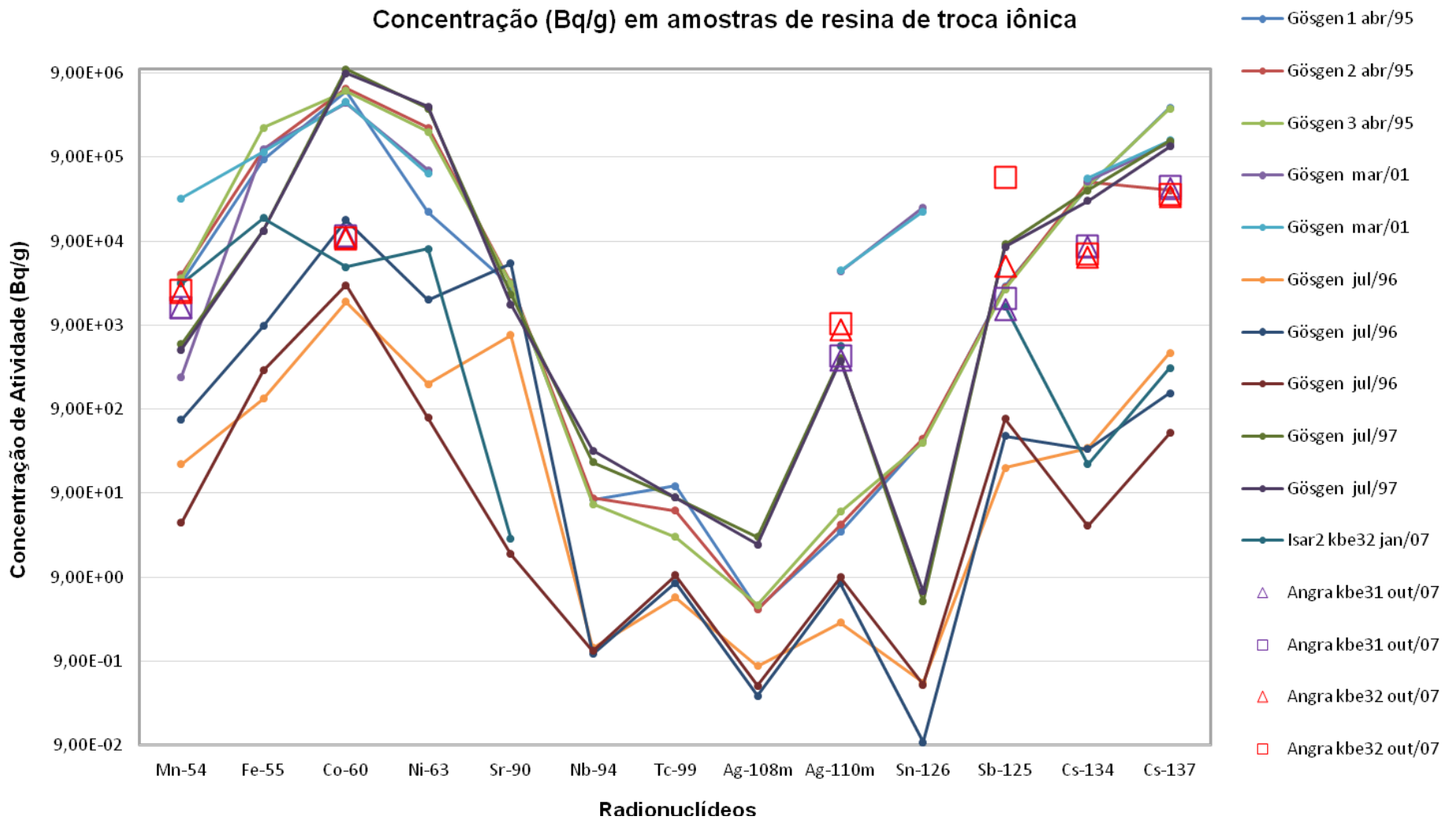
**Tabela 17:** Concentração de atividade em concentrado de evaporador das Usinas Nucleares KKK-Gösgen, Israr 2 e Emsland. (Valores em Bq/g).

	<b>Gösgen</b>	<b>Gösgen</b>	<b>Emsland</b>	<b>Isar 2</b>
<b>Data de Referência</b>	1/jul	1/jul	jan/01	jan/07
<b>Fe-55</b>	3,98E+03	2,97E+03	6,70E+01	7,10E+02
<b>Co-60</b>	2,10E+04	1,07E+04	6,20E+01	2,70E+02
<b>Ni-63</b>	2,73E+03	1,94E+03	4,90E+01	2,80E+02
<b>Sr-90</b>	-	-	3,80E-02	1,60E-01
<b>Ag-108m</b>	-	-	2,10E-01	2,80E-01
<b>Ag-110m</b>	-	-	3,90E-01	2,30E+00
<b>Sb-125</b>	2,72E+02	2,91E+02	7,50E+01	1,40E+01
<b>Cs-134</b>	2,87E+02	1,05E+02	7,10E-01	2,70E+00
<b>Cs-137</b>	4,40E+03	1,98E+03	4,40E+00	4,40E+01

**Tabela 18:** Concentração de atividade em filtros da Usina Nuclear KKK-Gösgen. (Valores em Bq/mm<sup>2</sup>).

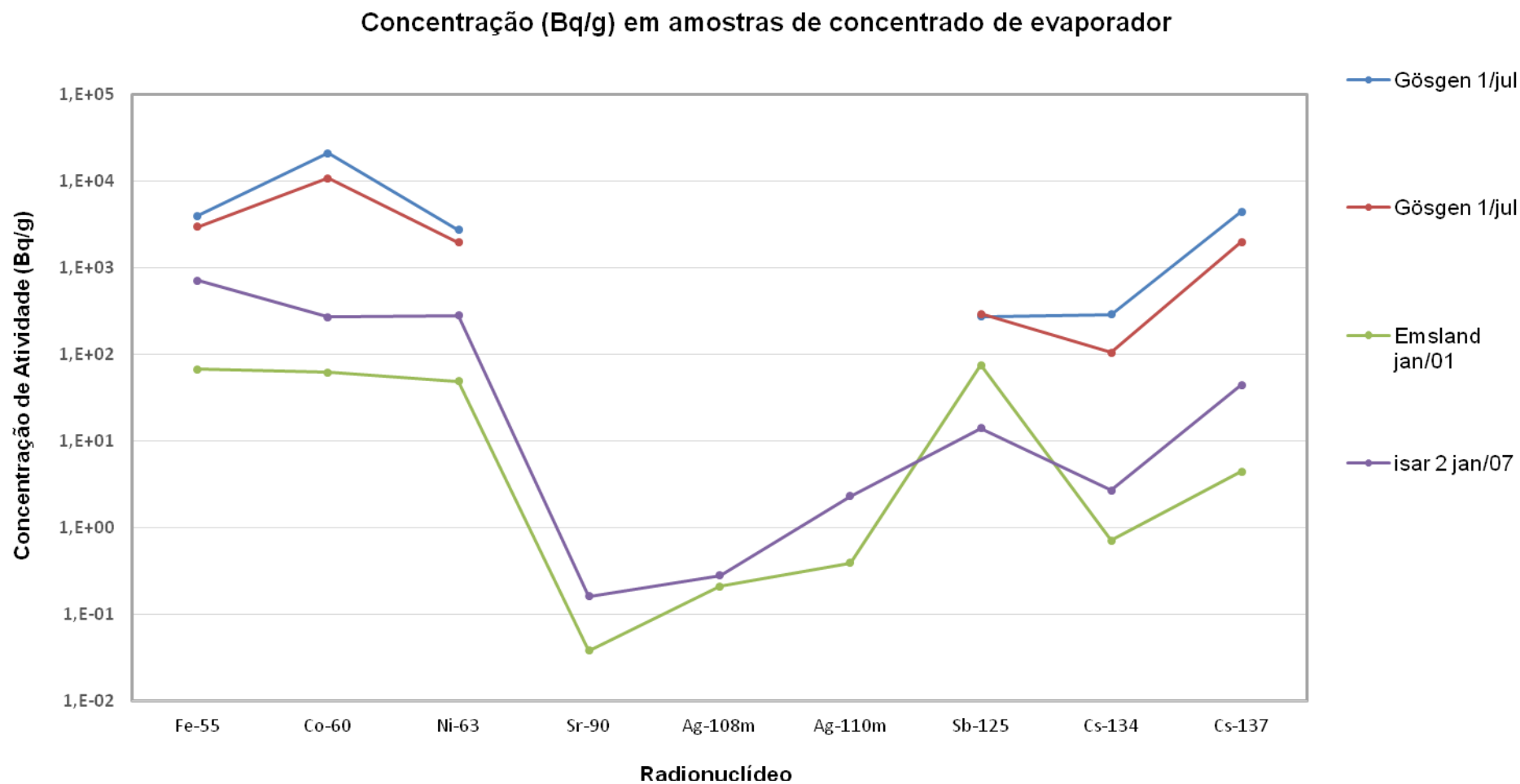
<b>Data de Referência</b>	out/03
<b>Fe-55</b>	4,60E+02
<b>Co-60</b>	4,60E+03
<b>Ni-63</b>	2,00E+03
<b>Sr-90</b>	1,50E+00
<b>Nb-94</b>	1,10E+00
<b>Tc-99</b>	1,80E+00
<b>Ag-108m</b>	8,90E-01
<b>Ag-110</b>	7,70E+00
<b>Sb-125</b>	1,20E+01
<b>Sn-125</b>	2,80E+00
<b>Cs-137</b>	3,00E+01

As Figuras 2 a 4 mostram os dados das Tabelas 16 a 18, apresentadas com o objetivo de facilitar a comparação dos dados.

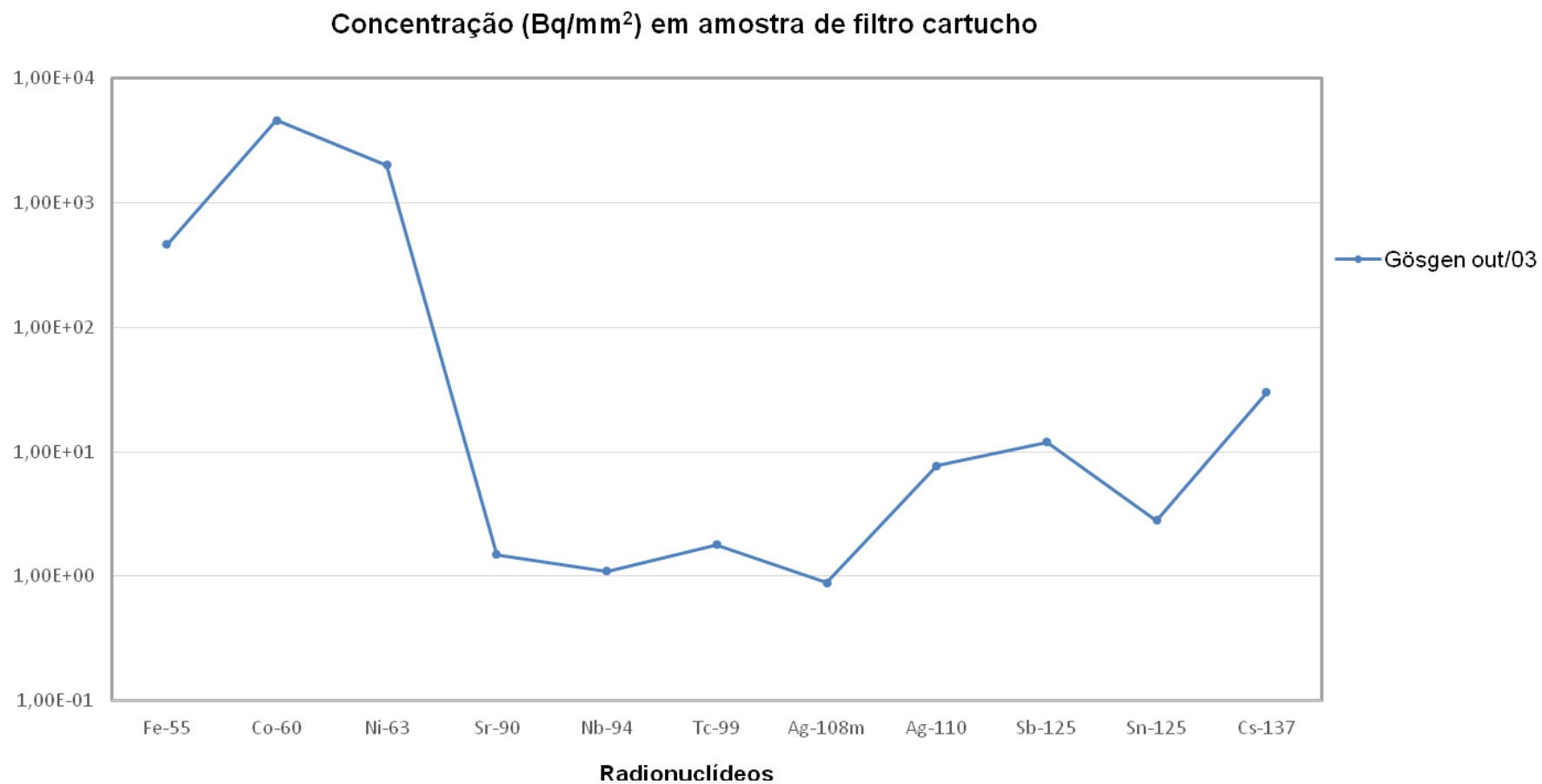


**Figura 2:** Concentração de atividade em resina de troca iônica das Usinas Nucleares KKK-Gösgen, Israr 2 e Angra 1 e 2. (Valores em Bq/g).





**Figura 3:** Concentração de atividade em concentrado de evaporador das Usinas Nucleares KKK-Gösgen, Israr 2 e Emsland. (Valores em Bq/g).



**Figura 4:** Concentração de atividade em filtros da Usina Nuclear KKK-Gösgen. (Valores em Bq/mm<sup>2</sup>).

#### 4. Conclusões.

As Usinas Nucleares Angra 1 e 2 (e, futuramente, Angra 3) localizadas no Rio de Janeiro, possuem reatores do tipo PWR e utilizam água (H<sub>2</sub>O) como líquido refrigerante e moderador de nêutron. A constante desmineralização dessa água é garantida por um sistema de filtragem que conta com filtros cartucho e resinas de troca iônica.

Após saturarem, os componentes do sistema de filtragem são substituídos, tornam-se rejeito radioativo e, como tal, devem ser devidamente caracterizados.

Assim como os reatores das usinas brasileiras, os reatores europeus das Usinas de Gösgen (Suíça), Emsland e Isar (ambos na Alemanha), também são do tipo PWR e já possuem resultados referentes à caracterização de rejeitos provenientes do sistema de filtragem.

Tendo acesso aos relatórios que contém resultados obtidos pelos laboratórios responsáveis pelas medidas, realizou-se uma compilação de dados que, acredita-se, poderá ser útil no processo de caracterização dos rejeitos das Usinas Nucleares Angra 1 e 2.

Embora se saiba que, em reatores similares, os rejeitos gerados em seus sistemas de filtragem podem apresentar concentrações de atividade bastante diferentes, essa compilação nos permite conhecer ordens de grandeza das atividades, principais radionuclídeos presentes, comportamento da concentração de atividade em cada tipo de rejeito e para cada radionuclídeo, dentre outros parâmetros.

#### Referências.

1. Fotografia: [http://www.beobachter.ch/dossiers/energie/artikel/akw-goesgen\\_fehler-blieb-unbemerkt/](http://www.beobachter.ch/dossiers/energie/artikel/akw-goesgen_fehler-blieb-unbemerkt/) - Acesso em 23/09/2016.
2. Fotografia - Siemens AG Posted 12 May 2001 <http://www.industcards.com/nuclear-germany.htm> - Acesso em 23/09/2016
3. Fotografia - E.ON AG. Posted 6 Aug 2008 <http://www.industcards.com/nuclear-germany.htm> - Acesso em 23/09/2016
4. <http://www.eletronuclear.gov.br/Aempresa/CentralNuclear.aspx> - Acesso em 23/09/2016.