

**Cálculo de correlação de atividades para
caracterização de rejeitos radioativos**

RELATÓRIO TÉCNICO

Paloma Suzane Cabrera

Roberto Vicente

Setembro/2015

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

Cálculo de correlação de atividades para caracterização de rejeitos radioativos

RELATÓRIO TÉCNICO

Paloma Suzane Cabrera

Roberto Vicente

Setembro/2015

Projeto: Caracterização de Rejeitos
Radioativos do Reator IEA-R1

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

São Paulo

Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN

Presidente: Ângelo Fernando Padilha

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

Setembro/2015

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. Cálculo de correlação de atividades para caracterização de rejeitos radioativos. Ipen-Cnen/SP, São Paulo, Setembro de 2015. (IPEN/GRR-REL-03/15)

Palavras chave: radioactive waste, waste management, characterization, scaling factors

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.

Depositado em: IPEN-CNEN/SP Biblioteca Terezine Arantes Ferraz

<http://repositorio.ipen.br>

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária

CEP 05508-000 – São Paulo, SP

Fone: 11 3133-9094

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

RESUMO

Cálculo de correlação de atividades para caracterização de rejeitos radioativos.

O objetivo deste trabalho é colaborar com os diversos trabalhos realizados na Gerência de Rejeitos Radioativos, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, (IPEN) no sentido de desenvolver métodos de caracterização de rejeitos, neste caso em particular, para os rejeitos gerados no tratamento da água de resfriamento do reator nuclear IEA-R1 do IPEN. Os dados referentes a dois lotes de tambores de 200 L contendo resina de troca iônica ou carvão ativado, retirados do reator, que haviam sido amostrados e analisados anteriormente por métodos de radioquímica, foram usados para se determinar o inventário radioisotópico de cada um, utilizando o método dos fatores de escala.

ABSTRACT

Characterization of radioactive waste packages using scaling factors.

The objective of this work is to contribute to the current waste characterization program conducted by the Radioactive Waste Management Department of the Nuclear and Energy Research Institute (IPEN), aiming at developing waste characterization methods, particularly for the radioactive wastes generated in the water polishing system of the IEA-R1 research reactor at IPEN. Results from radiochemical analysis of samples previously taken from two batches of 200 L drums containing ion-exchange resins or activated charcoal replaced from the reactor, have been used to determine the radioisotope inventory of each drum using the scaling factors method.

Sumário.

1. Introdução	1
1.1 Os Reator IEA-R1	1
1.2 Os rejeitos a serem estudados	1
1.2.1 Primeiro Lote.....	1
1.2.2 Segundo Lote	2
2. Método	5
2.1 Radionuclídeo de difícil medição (RDM) e radionuclídeo chave (RC)	5
2.2 O método dos fatores de escala	6
2.3 Trabalhos estudados	7
[1] Determinação de fatores de escala para estimativa do inventário de radionuclídeos em rejeitos de média e baixa atividades do reator IEA-R1.	8
[2] Desenvolvimento de método para caracterização de embalados de rejeitos radioativos.	12
3. Resultados e Discussão	15
3.1 Resultados obtidos utilizando o método dos fatores de escala	15
3.2 Resultados obtidos utilizando as medidas das concentrações de atividade e as massas	20
3.3 Comparando os dois métodos	23
4. Conclusões	24
Apêndice A: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 1 a 3	27
Apêndice B: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 4 a 6	28
Apêndice C: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 7 a 9	29
Apêndice D: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 10 a 12.....	30
Apêndice E: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 13 a 15	31
Apêndice F: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 16 a 18	32
Apêndice G: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 19 a 21.....	33
Referência	34

1. Introdução.

1.1 O reator IEA-R1.

O IEA-R1 é um reator do tipo piscina aberta (ou MTR – Materials Testing Reactor), isto é, cujo núcleo está imerso sob uma coluna de água desmineralizada que age tanto como líquido refrigerante para o cerne do reator como blindagem biológica e refletor de nêutrons. Atualmente, o combustível nuclear de tal reator é constituído de U_3Si_2 disperso em uma matriz de alumínio contendo $3,0\text{ gUcm}^{-3}$, grau de enriquecimento do isótopo ^{235}U igual a 19,75% e revestido por uma liga essencialmente de alumínio [1].

A água presente no reator 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 a desmineralização, a água do reator passa por um sistema de filtragem constituída por filtros de polipropileno, dois leitos de carvão ativado e dois leitos de resinas de troca iônica a fim de que a concentração de impurezas permaneça em torno de 2 ppm em substâncias solúveis.

Este trabalho trata de dois tipos de rejeitos gerados no reator IEA-R1: carvão ativado e resinas de troca iônica.

1.2 Os rejeitos estudados.

Desde que iniciou suas operações em 1957 o reator IEA-R1 teve seus leitos de carvão e resinas de troca iônica substituídos por duas vezes e encaminhados à GRR, onde foram devidamente armazenados em tambores no depósito de rejeitos radioativos.

Assim, neste trabalho, dois lotes de tambores contendo rejeitos radioativos serão estudados:

1.2.1 1º Lote.

Removido do reator em 08/01/1993, é composto por 9 tambores; dois contêm resina de troca iônica e os demais contêm carvão ativado; em ambos os casos o rejeito é constituído de grãos esféricos com 1 mm de diâmetro no caso da resina e irregulares de 2 mm a 4 mm no caso do carvão ativado, em suspensão em água.

1.2.2 2º Lote.

Removido do reator em 06/11/2003, é composto por 12 tambores, cinco contém resina de troca iônica e os demais contém carvão ativado.

A Figura 1 apresenta algumas imagens dos rejeitos estudados.

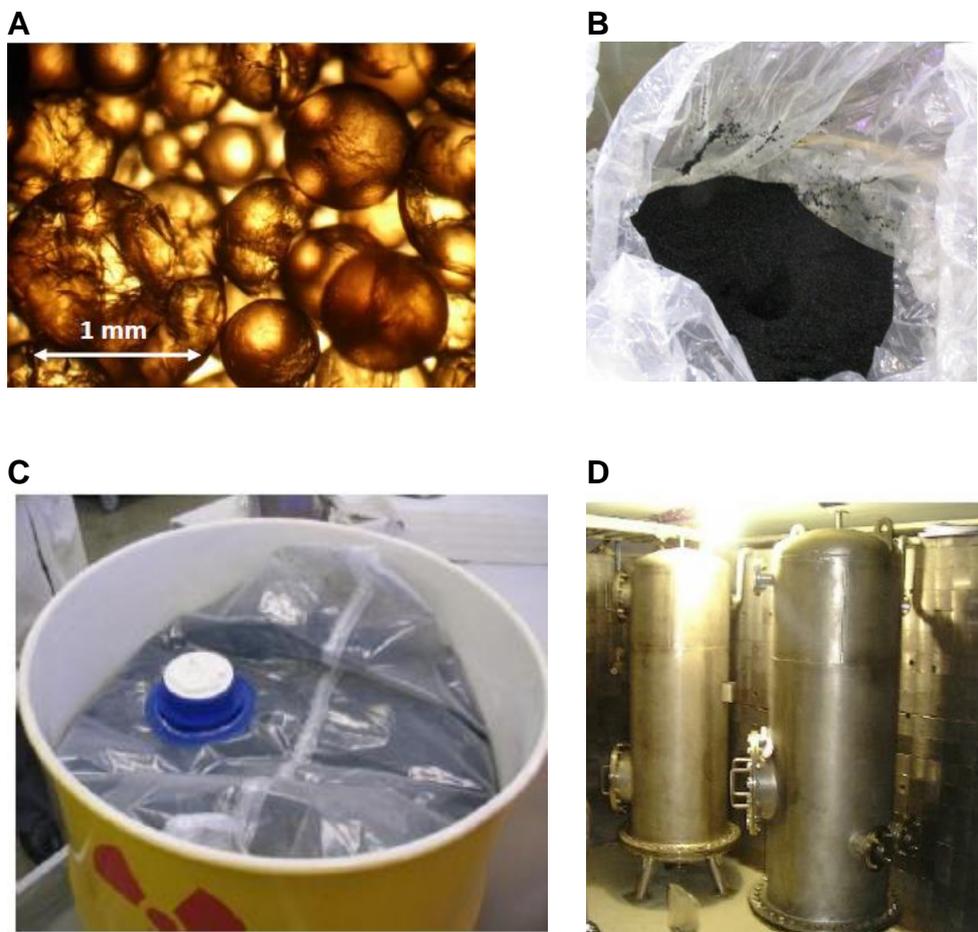


Figura 1: **A** – Micrografia óptica de Resina de troca iônica [1] . **B** – Carvão ativado usado no processo de tratamento de água do IEA – R1 [2]. **C** – Embalado de um dos lotes estudados contendo carvão ativado [1]. **D** – Vista dos leitos de carvão ativado e resina de troca iônica (Sauer et al, 2010).

Todas as amostras retiradas dos tambores foram analisadas em base seca, no entanto, é necessário considerar que os tambores não contêm somente resina de troca iônica ou carvão ativado sólidos. Dentro dos tambores os rejeitos estão suspensos em água, de forma que há água intersticial na maioria dos tambores, como indica o esquema da Figura 2.

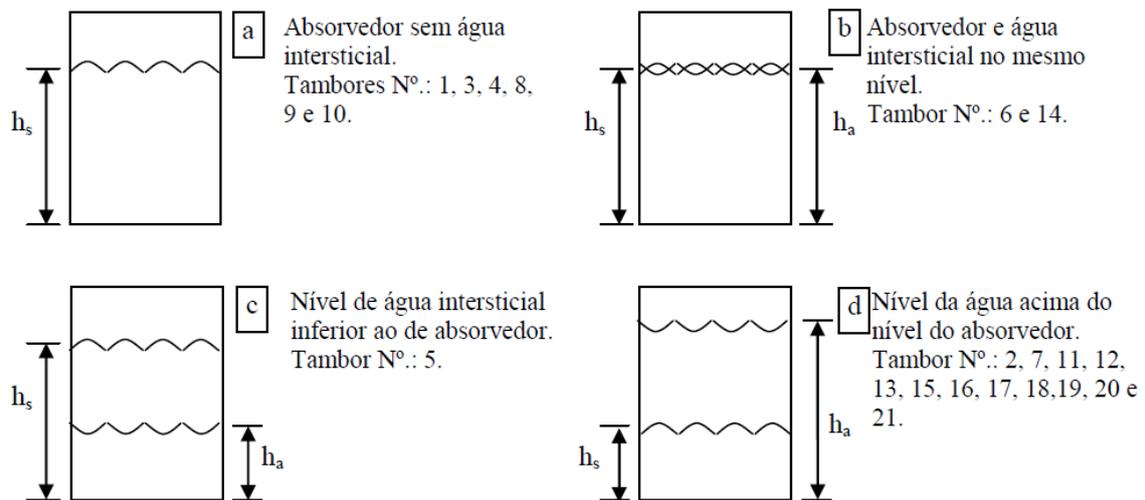


Figura 2: Representação das configurações observadas nos tambores estudados, indicando os níveis de água líquida e sólido absorvedor nos tambores [2].

As atividades totais devem ser avaliadas considerando a quantidade de sólido absorvedor (carvão ativado ou resina de troca iônica) e também a quantidade de água sobrenadante.

Espera-se que os sólidos absorvedores contenham quase que a totalidade dos radionuclídeos presentes em cada tambor, de forma que, em todos os tambores, a atividade associada à água intersticial seja inferior à atividade associada aos sólidos absorvedores. Assim, em alguns cálculos, como no cálculo da taxa de dose, por exemplo, a atividade associada à água pode ser desprezada (Taddei, 2011).

A Tabela 1 especifica o conteúdo de cada um dos tambores, indicando o conteúdo sólido, lote ou ano de saída do reator e valores para as alturas de sólido e líquido, bem como massa líquida e massa total de cada um dos 21 tambores.

Tabela 1: Tambores e níveis de líquido e sólido [2].

Nº Tambor	Conteúdo	Tipo de deposição*	Ano de Saída do Reator	Altura Líquido (cm)	Altura Sólido (cm)	Massa seca [sólido absorvedor]	Massa de líquido [água intersticial]** (kg)	Massa [Total]*** (kg)
1	Resina	a	1993	0	51	73	49	123
2	Carvão	d	1993	56	50	36	121	172
3	Resina	a	1993	0	42	56	38	94
4	Carvão	a	1993	0	21	19	27	46
5	Carvão	c	1993	8	53	51	85	136
6	Carvão	b	1993	58	59	43	144	188
7	Carvão	d	1993	66	59	42	138	197
8	Carvão	a	1993	0	52	49	69	118
9	Carvão	a	1993	0	50	48	67	115
10	Resina	a	2003	0	28	32	21	53
11	Resina	d	2003	48	33	41	55	133
12	Resina	d	2003	67	26	34	47	182
13	Carvão	d	2003	73	36	26	87	204
14	Resina	b	2003	56	56	69	92	161
15	Carvão	d	2003	72	40	29	98	206
16	Resina	d	2003	58	49	57	77	157
17	Carvão	d	2003	54	16	13	43	150
18	Carvão	d	2003	47	19	16	52	138
19	Carvão	d	2003	70	37	30	101	212
20	Carvão	d	2003	37	0	0	92	92
21	Carvão	d	2003	43	11	11	36	126

* Para tipos de deposição, consultar a Figura 2 na página anterior.

** Exclui a massa da água sobrenadante.

*** Massa total, inclui a massa água sobrenadante, da água intersticial e do sólido absorvedor.

2. Método.

2.1 Radionuclídeo de difícil medição (RDM) e radionuclídeo chave (RC).

Diversos radionuclídeos estão presentes na água do reator IEA-R1, sendo eles de três tipos diferentes quanto à sua origem no reator:

- a) Produtos gerados na fissão do U e do Pu e que têm rendimentos (yield) característicos.
- b) Produtos de ativação, por nêutrons ou raios gama, de elementos presentes nas estruturas próximas do núcleo.
- c) Isótopos de U e elementos transurânicos.

Espera-se que a quantidade desses radioisótopos na água da piscina do reator seja pequena, pois esta seria produto de descontinuidades no revestimento do combustível do reator, problema pouco frequente desde o início de suas operações.

Quanto ao tipo de radiação emitida em tais radionuclídeos podem ser classificados ^[1]:

- I Radionuclídeos emissores gama (produtos de fissão e ativação);
- II Radionuclídeos emissores beta exclusivos (produtos de fissão e ativação);
- III Radionuclídeos que decaem por captura de elétrons emitindo raios-x com energias muito baixas (produtos de ativação);
- IV Radionuclídeos emissores alfa exclusivos (isótopos de U e elementos transurânicos).

Os radionuclídeos do tipo I ou II que:

- emitem raios gama com frequência e energia suficientemente alta para permitir a detecção de forma simples (utilizando espectrometria dos embalados, por exemplo);
- têm meia vida suficientemente longa;
- e estão presentes em quantidades significativas.

podem ser detectados utilizando métodos externos e simples, são por isso, denominados radionuclídeos de fácil medição ou **radionuclídeos chaves (RCs)**.

No entanto, a detecção é dificultada e requer métodos radioquímicos complexos nos casos de radionuclídeos que:

- não emitem raios gama ou raios-x;
- emitem raios gama ou raios-x com energia e/ou intensidades muito baixas);
- têm baixa atividade por terem meia vida muito longa;
- são gerados em pouca quantidade ou estão presentes em pequena quantidade na matriz do rejeito radioativo;

são chamados **radionuclídeos de difícil medição (RDMs)**.

2.2 O método dos fatores de escala.

O método de fatores de escala (FE) permite uma estimativa das concentrações de atividade a partir da correlação entre um RDM e um RC, já que se espera tal correlação entre RDMs e RCs produzidos de forma semelhante ou que tenham características químicas próximas.

Sejam C_{RDM} e C_{RC} as concentrações de atividade, respectivamente, de um RDM e de um RC. O fator de escala é dado por

$$FE = \frac{C_{RDM}}{C_{RC}} \quad \text{Equação 1}$$

em que C_{RDM} e C_{RC} devem ser corrigidas por um fator de decaimento do radionuclídeo desde a data de entrada no depósito da GRR até o início da contagem para sua determinação.

$$K_w = \exp\left[-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}}\right]\Delta t \quad \text{Equação 2}$$

em que $T_{1/2}$ é a meia vida do radionuclídeo e Δt é o intervalo de tempo.

No entanto, se a Equação 1 não é satisfeita, deve-se utilizar o método dos mínimos quadrados (MMQ) para ajustar uma reta aos valores dos logaritmos naturais das concentrações de atividade do RC e do RDM, de forma a obter uma **função de correlação (FC)**, como mostra a Equação 3:

$$C_{RDM} = a(C_{RC})^b \rightarrow \ln(C_{RDM}) = \ln(a) + b\ln(C_{RC}) \quad \text{Equação 3}$$

em que a e b são constantes reais determinadas no ajuste MMQ.

Assim, o método dos fatores de escala consiste em:

- determinar os RDMs e os RCs;
- medir suas concentrações de atividade em cada matriz;
- utilizar a Equação 2 para determinar o fator de correção por decaimento de cada RDM e RC;
- utilizar a Equação 1 para determinar o FE para cada RDM;
- multiplicar o FE pela concentração de atividade do RC a que se relaciona o RDM para determinar sua concentração de atividade;
- caso a Equação 1 não seja satisfeita, fazer o ajuste MMQ e utilizar a Equação 3 para encontrar a concentração do RDM;
- se ainda assim nenhum FE ou FC for encontrado para um RDM, determina-se que sua concentração de atividade é dada pela média aritmética das medidas das concentrações em cada matriz separadamente.

2.3 Trabalhos estudados.

Os fatores de escala (FE) são específicos de cada instalação e matriz de rejeitos radioativos. Assim, fizeram-se necessários dois estudos sobre os rejeitos aqui considerados, isto é, os 21 tambores contendo carvão ativado ou resina de troca iônica, ambos provenientes do reator IEA-R1. Tais trabalhos, aqui indicados por [1] e [2] (vide referências) são brevemente descritos a seguir.

[1] Determinação de fatores de escala para estimativa do inventário de radionuclídeos em rejeitos de média e baixa atividades do reator IEA-R1. (M.H.T. Taddei [1]).

Este trabalho objetivou a determinação empírica dos Fatores de Escala (FE) a partir de medidas das concentrações de atividades, expressas em Bq/g, de cada RDM e RC contidos nos 21 tambores de resina de troca iônica ou carvão ativado provenientes do reator IEA-R1.

Procedimentos radioquímicos foram desenvolvidos, adaptados e padronizados a fim de determinar os RDM contidos nas amostras do rejeito considerado.

Dessa forma, após avaliar a matriz de rejeito, os radionuclídeos apresentados na Tabela 2 foram considerados RDMS.

Tabela 2: Radionuclídeos considerados RDMS no rejeito.

^3H	^{14}C	^{55}Fe	^{59}Ni	^{63}Ni
^{90}Sr	^{99}Tc	$^{108\text{m}}\text{Ag}$	^{129}I	^{135}Cs
^{234}U	^{235}U	^{236}U	^{238}U	^{237}Np
^{238}Pu	^{239}Pu	^{240}Pu	^{241}Pu	^{242}Pu
^{241}Am	^{242}Am	^{242}Cm	^{243}Cm	^{244}Cm

Além disso, considerou-se dois RCs, descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Radionuclídeos considerados RCs nos rejeitos considerados.

RC	Características
^{60}Co	<p>Produto de ativação</p> <p>Meia vida: $T_{1/2} = 5,27$ anos</p> <p>Decai por emissão β^- com energia de 0,31 MeV emitindo dois fótons com energia de 1,17 MeV e 1,33 MeV.</p>
^{137}Cs	<p>Produto de fissão</p> <p>Meia vida: $T_{1/2} = 30,3$ anos</p> <p>Decai por emissão β^- com energia de 1,17 MeV para ^{137}Ba (yield=5,4%) sendo este um núcleo estável; ou por emissão β^- com energia de 0,51 MeV para $^{137\text{m}}\text{Ba}$ (yield=94,6%) o qual emite um fóton com energia de 0,66 MeV.</p>

Todos os 21 tambores foram amostrados e todas as amostras foram analisadas para determinar as concentrações de atividade de cada radionuclídeo, de forma que as condições gerais permitiam considerar que as amostras eram, de fato, representativas do rejeito.

Considerou-se que um rejeito homogêneo é aquele para o qual as concentrações de radionuclídeos ou substâncias intervalo relativo de 30% (IAEA, 2007). Sendo assim, de acordo com tal critério, os rejeitos estudados são homogêneos, já que praticamente todas as diferenças relativas são menores que 30%, como se verifica nos gráficos contidos nas Figuras 3 e 4.

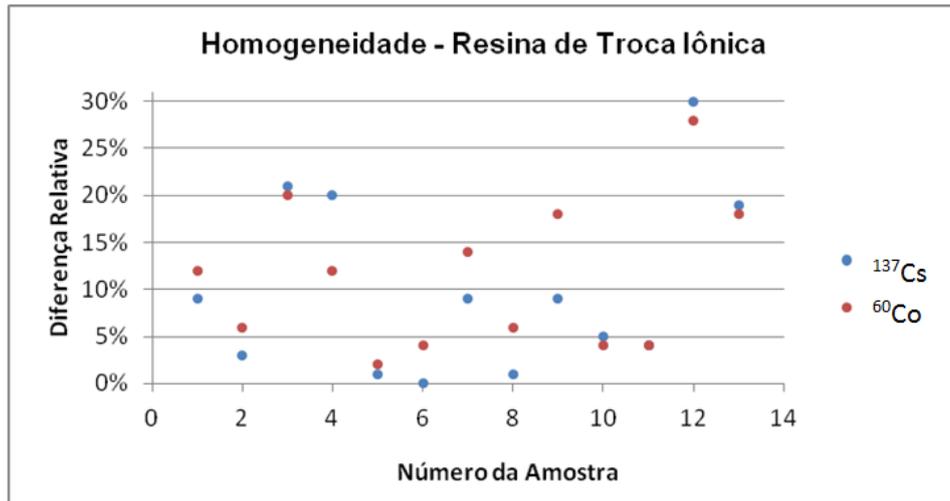


Figura 3: Diferença relativa entre as concentrações de atividade de ^{137}Cs e ^{60}Co para amostras de resina de troca iônica, construído com base em dados da referência [1].

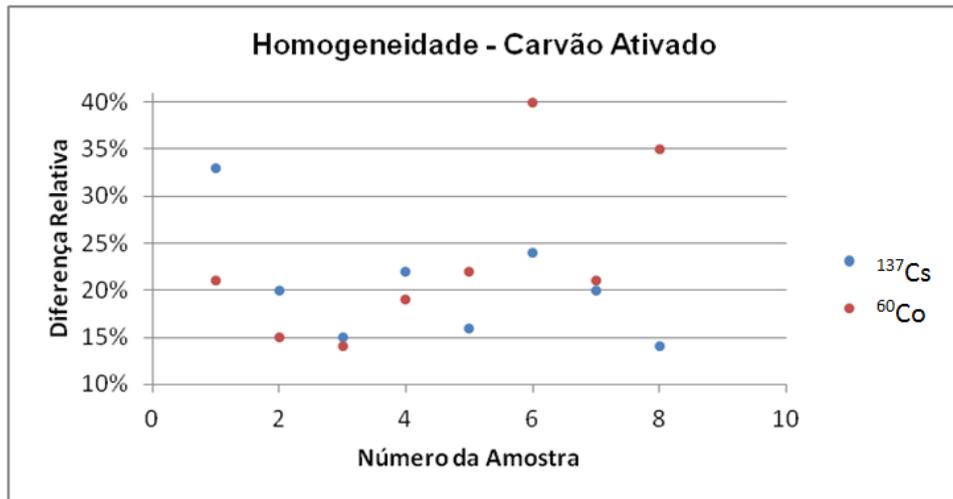


Figura 4: Diferença relativa entre as concentrações de atividade de ^{137}Cs e ^{60}Co para amostras de carvão ativado, construído com base em dados da referência [1].

Sendo os rejeitos homogêneos, determinou-se a concentração de atividade de cada uma das amostras de cada um dos tambores de forma que, utilizando as equações descritas, calculou-se os valores dos FE para os RDMs em relação aos RCs.

A Tabela 4 apresenta os valores dos fatores de escala obtidos para o carvão ativado:

Tabela 4: Valores médios dos Fatores de Escala, valores da dispersão 2sigma e razão entre os valores médios dos Fatores de Escala obtidos para carvão ativado [1].

Carvão Ativado	Lotes Juntos		Lote de 1993		Lote de 2003		$\frac{FE(1993)}{FE(2003)}$
	FE médio	2sigma	FE médio	2sigma	FE médio	2sigma	
$^{14}C / ^{60}Co$	8,10E-03	4,4	8,10E-03	4	6,75E-03	5,6	1,30
$^{14}C / ^{137}Cs$	1,40E+00	3,5	1,59E+00	3,5	1,28E+00	3,4	1,20
$^{55}Fe / ^{60}Co$	6,41E-02	12,9	1,02E-01	8,8	2,24E-02	8,1	4,50
$^{55}Fe / ^{137}Cs$	1,22E+01	9,1	1,71E+01	7,5	5,66E+00	6,5	3,00
$^{59}Ni / ^{60}Co$	4,93E-04	2,7	5,18E-04	3	4,45E-04	2,1	1,20
$^{59}Ni / ^{137}Cs$	9,66E-02	3,9	9,07E-02	4	1,10E-01	4	0,80
$^{63}Ni / ^{60}Co$	5,54E-02	3,1	6,00E-02	2,2	4,37E-02	5,9	1,40
$^{63}Ni / ^{137}Cs$	1,07E+01	3,3	1,03E+01	2,3	1,20E+01	7,3	0,90
$^{90}Sr / ^{60}Co$	1,85E-02	10,4	3,41E-02	3,1	4,03E-03	5,4	8,50
$^{90}Sr / ^{137}Cs$	3,60E+00	8,1	5,93E+00	3,1	1,04E+00	6,1	5,70
$^{108m}Ag / ^{60}Co$	5,85E-05	9,3	3,63E-05	7,2	1,65E-04	2,7	0,20
$^{108m}Ag / ^{137}Cs$	1,13E-02	10,7	6,11E-03	5,8	4,24E-02	2,4	0,10
$^{234}U / ^{60}Co$	3,98E-06	10	6,89E-06	5,4	1,01E-06	2,5	6,80
$^{234}U / ^{137}Cs$	7,75E-04	6,4	1,20E-03	3,9	2,60E-04	2,3	4,60
$^{235}U / ^{60}Co$	1,17E-07	12	1,92E-07	7,8	3,60E-08	4,2	5,30
$^{235}U / ^{137}Cs$	2,27E-05	7,7	3,35E-05	5,8	9,26E-06	4,1	3,60
$^{236}U / ^{60}Co$	1,04E-07	9,7	1,62E-07	6,7	3,43E-08	4,3	3,70
$^{236}U / ^{137}Cs$	2,02E-05	6,7	2,81E-05	4,4	8,81E-06	4	3,20
$^{238}U / ^{60}Co$	1,86E-06	29,2	4,75E-06	6	1,80E-07	2,1	26,40
$^{238}U / ^{137}Cs$	3,63E-04	18,9	8,27E-04	4,5	4,62E-05	1,8	17,90
$^{238}Pu / ^{60}Co$	1,78E-05	7	2,62E-05	5,7	6,76E-06	2,1	3,90
$^{238}Pu / ^{137}Cs$	3,47E-03	4,9	4,77E-03	4,3	1,74E-03	2,7	2,60
$^{239+240}Pu / ^{60}Co$	8,14E-05	8,6	1,08E-04	5,7	2,00E-05	2,1	5,40
$^{239+240}Pu / ^{137}Cs$	1,54E-02	5,6	1,78E-02	3,9	5,00E-03	2,5	3,60
$^{241}Pu / ^{60}Co$	3,72E-04	12,4	5,96E-04	8,7	9,01E-05	2,1	6,60
$^{241}Pu / ^{137}Cs$	7,21E-02	12,8	1,04E-01	7,1	2,43E-02	2,9	4,30
$^{241}Am / ^{60}Co$	2,29E-05	9,8	3,74E-05	6,5	6,68E-06	2,6	5,60
$^{241}Am / ^{137}Cs$	4,45E-03	6,1	6,51E-03	4,4	1,71E-03	2,5	3,80

A Tabela 5 apresenta os valores dos fatores de escala obtidos para a resina de troca iônica.

Tabela 5: Valores médios dos Fatores de Escala, valores da dispersão 2sigma e razão entre os valores médios dos Fatores de Escala obtidos para resinas de troca iônica [1].

Resina	Lotes Juntos		Lote de 1993		Lote de 2003		FE(1993)
	FE médio	2sigma	FE médio	2sigma	FE médio	2sigma	FE(2003)
RDM/RC							
⁵⁹ Ni / ⁶⁰ Co	3,23E-04	5	4,60E-04	7,5	2,63E-04	2,8	1,50
⁵⁹ Ni / ¹³⁷ Cs	4,36E-02	6,5	4,27E-02	7,5	3,90E-02	4,7	1,10
⁶³ Ni / ⁶⁰ Co	3,88E-02	3,9	3,92E-02	3,8	3,83E-02	4,1	1,00
⁶³ Ni / ¹³⁷ Cs	4,83E+00	4	4,10E+00	1,5	5,70E+00	6,7	0,70
⁹⁰ Sr / ⁶⁰ Co	1,16E-02	16,2	2,31E-02	4,7	2,35E-03	14,2	9,80
⁹⁰ Sr / ¹³⁷ Cs	1,11E+00	15,4	2,42E+00	1,7	3,49E-01	31,8	6,90
²³⁴ U / ⁶⁰ Co	4,81E-07	51,3	3,83E-06	3,9	1,07E-07	5,4	35,80
²³⁴ U / ¹³⁷ Cs	5,71E-05	38,5	3,26E-04	4,6	1,61E-05	10,6	20,20
²³⁵⁺²³⁶ U / ⁶⁰ Co	3,12E-08	48	2,30E-07	5,6	7,28E-09	5,4	31,60
²³⁵⁺²³⁶ U / ¹³⁷ Cs	3,70E-06	36	1,96E-05	6,5	1,10E-06	10	17,80
²³⁸ U / ⁶⁰ Co	3,51E-08	132	4,22E-07	6,4	4,78E-09	6,1	88,30
²³⁸ U / ¹³⁷ Cs	3,74E-06	88	3,60E-05	7,6	7,21E-07	9	49,90
²³⁸ Pu / ⁶⁰ Co	8,57E-07	6	8,41E-07	11,1	8,72E-07	2,5	1,00
²³⁸ Pu / ¹³⁷ Cs	1,07E-04	8,9	8,81E-05	14,6	1,30E-04	4,6	0,70
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu / ⁶⁰ Co	5,80E-06	3,7	8,86E-06	3,1	3,79E-06	2,3	2,30
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu / ¹³⁷ Cs	7,23E-04	4,1	9,27E-04	3,1	5,63E-04	4,5	1,60
²⁴¹ Pu / ⁶⁰ Co	4,27E-05	14,4	1,09E-04	20,5	2,29E-05	4,9	4,70
²⁴¹ Pu / ¹³⁷ Cs	4,97E-03	12	9,33E-03	24,1	3,26E-03	2,5	2,90
²⁴¹ Am / ⁶⁰ Co	1,78E-05	22,8	1,01E-05	4,2	4,38E-07	4,3	23,10
²⁴¹ Am / ¹³⁷ Cs	1,19E-03	11,8	1,19E-03	1,7	6,50E-05	7	18,30

Determinou-se que para a resina de troca iônica deve-se utilizar os FE determinados para cada lote, exceto no caso do ⁵⁵Fe, para o qual se deve utilizar o FE obtido para os lotes em conjunto. Já no caso do carvão ativado deve-se utilizar o FE obtido para os lotes em conjunto.

No caso dos RDMs ²³⁵U e ²³⁶U, se o tambor contiver carvão ativado, deve-se utilizar o FE obtido para cada um separadamente; do contrário, quando o tambor contiver resina de troca iônica, deve-se utilizar o FE obtido para estes dois RDMs em conjunto, isto é, o FE obtido para ²³⁵⁺²³⁶U.

[2] Desenvolvimento de método para caracterização de embalados de rejeitos radioativos. (D.C.B. de Souza [2]).

Neste trabalho mediu-se a altura da superfície livre da água e do sólido dentro de cada tambor para fins de determinar o teor de resina ou carvão. Dessa forma, os dados obtidos já foram aqui apresentados na Tabela 1.

Estimou-se a atividade total dos dois RCs com base nas concentrações de atividade de amostras do rejeito obtidas e estudadas em [1] através de métodos analíticos (radioquímicos). Para isso, mediu-se externamente a taxa de dose de cada tambor, como indica a Figura 5.

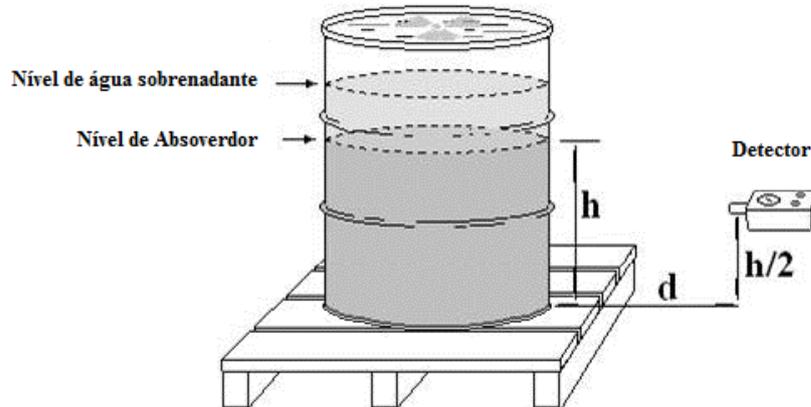


Figura 5: Arranjo experimental para medição da Taxa de dose [2].

Em seguida, utilizou-se o método de Point-Kernel para determinar a atividade total de cada um dos dois RCs considerados (^{60}Co e ^{137}Cs) em cada um dos 21 tambores. Como indica a Figura 6, tal método considera a contribuição de cada um dos pontos de uma fonte de fótons de forma a integrá-las tridimensionalmente e fornecer a taxa de dose, isto é, a dose depositada por unidade de tempo.

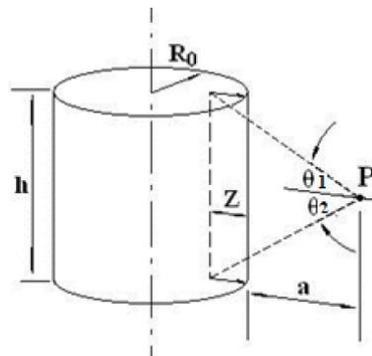


Figura 6: Parâmetros para cálculo da taxa de dose em um ponto P.

A taxa de dose é dada por:

$$\dot{D} = \Phi G$$

Equação 4

em que:

\dot{D} é a taxa de dose em um ponto P (Gyh^{-1});

G é uma constante denominada fator de dose por unidade de fluxo de fóton ($\text{Gy h}^{-1} \text{cm}^2 \text{s}$) obtida por interpolação de gráficos (Rockwell, 1956, pág. 19);
 Φ é o fluxo de fótons em um ponto P ($\text{fótons cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) e dado por

$$\Phi = \frac{B \cdot S_v \cdot R_0^2}{2(a + Z)} \cdot F(\theta, b) \quad \text{Equação 5}$$

em que:

B é o fator de build up;

S_v é a concentração de atividade (Bqcm^{-3});

R_0^2 é o raio do tambor(cm);

a é a distância entre o ponto de medição e a superfície do tambor (cm);

Z é a distância de atenuação (cm);

$F(\theta, b)$ foi determinado por interpolação gráfica (Rockwell, 1956, pág. 386), é uma função de $b = \mu_s Z$, onde μ_s é o coeficiente de atenuação linear (cm^{-1}) determinada para cada energia por interpolação de dados da tabela “Coeficientes de interação parcial e coeficientes de atenuação total para a água líquida” (NIST, 2011).

Posteriormente, os valores de tal cálculo manual foram comparados com os valores obtidos através do software MicroShield® 9.03 cuja interface é apresentada na Figura 7.

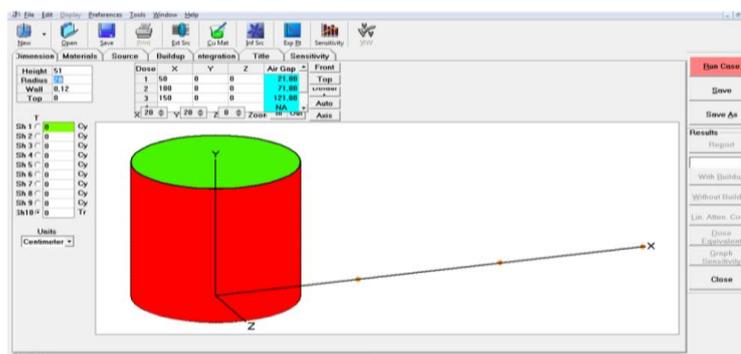


Figura 7: Interface do software MicroShield 9.03.

Os valores encontrados para as atividades totais em água e em sólido, no caso de cada tambor, são apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6: Concentração de Atividade em base seca e atividade total para ^{60}Co e ^{137}Cs na água [2], na água intersticial ou sobrenadante.

Nº do Tambor	Concentração		Massa		Atividade Total	
	(Bq/cm ³)		(kg)		(Bq)	
	^{60}Co	^{137}Cs	Total	Seca	^{60}Co	^{137}Cs
1	0,00E+00	0,00E+00	123	49	0,00E+00	0,00E+00
2	1,48E+00	1,18E-01	172	121	1,79E+07	1,43E+04
3	0,00E+00	0,00E+00	94	38	0,00E+00	0,00E+00
4	2,89E+01	4,05E+00	46	27	7,74E+05	1,09E+05
5	1,25E+01	2,94E+00	136	85	1,07E+06	2,51E+05
6	6,28E+00	9,49E-01	188	144	9,06E+05	1,37E+05
7	7,98E+00	3,98E-01	197	138	1,10E+06	5,50E+04
8	3,79E-01	1,61E+00	118	69	2,60E+04	1,10E+05
9	1,36E+01	4,04E-01	115	67	9,10E+05	2,70E+04
10	0,00E+00	0,00E+00	53	21	0,00E+00	0,00E+00
11	0,00E+00	0,00E+00	133	55	0,00E+00	0,00E+00
12	0,00E+00	0,00E+00	182	47	0,00E+00	0,00E+00
13	0,00E+00	0,00E+00	204	87	0,00E+00	0,00E+00
14	0,00E+00	0,00E+00	161	92	0,00E+00	0,00E+00
15	7,76E+00	1,11E+00	206	98	7,59E+05	1,08E+05
16	4,19E-01	8,56E-01	157	77	3,23E+04	6,61E+04
17	4,19E-01	8,56E-01	150	43	1,82E+04	3,72E+04
18	3,10E-02	4,84E-01	138	52	1,62E+03	2,53E+04
19	1,78E+00	4,89E-01	212	101	1,78E+05	4,92E+04
20	5,60E+00	1,48E-01	92	92	5,15E+05	1,36E+04
21	3,03E-01	1,89E-01	126	36	1,09E+04	6,79E+03

Tabela 7: Concentração de Atividade em base seca e atividade total para ^{60}Co e ^{137}Cs no sólido [2], no absorvedor sólido.

Nº do Tambor	Concentração		Massa		Atividade Total	
	(Bq/g)		(kg)		(Bq)	
	^{60}Co	^{137}Cs	Total	Seca	^{60}Co	^{137}Cs
1	3,78E+04	5,73E+01	123	73	2,77E+09	4,20E+06
2	2,53E+04	1,15E+02	172	36	9,19E+08	4,18E+06
3	3,59E+04	3,68E+01	94	56	2,01E+09	2,06E+06
4	2,35E+04	1,32E+02	46	19	4,53E+08	2,55E+06
5	1,40E+04	1,06E+02	136	51	7,09E+08	5,37E+06
6	1,80E+04	9,60E+01	188	43	7,79E+08	4,16E+06
7	3,74E+04	1,94E+02	197	42	1,55E+09	8,05E+06
8	2,82E+04	1,57E+02	118	49	1,39E+09	7,73E+06
9	2,23E+04	1,26E+02	115	48	1,07E+09	6,07E+06
10	3,46E+04	3,39E+03	53	32	1,10E+09	1,08E+08
11	3,16E+04	4,17E+02	133	41	1,29E+09	1,70E+07
12	2,98E+04	4,42E+02	182	34	1,03E+09	1,52E+07
13	3,91E+04	1,11E+02	204	26	1,02E+09	2,89E+06
14	3,07E+04	2,55E+02	161	69	2,10E+09	1,75E+07
15	2,43E+04	2,01E+02	206	29	7,14E+08	5,89E+06
16	2,25E+04	1,84E+03	157	57	1,29E+09	1,05E+08
17	5,05E+04	1,59E+02	150	13	6,60E+08	2,08E+06
18	4,56E+04	1,63E+02	138	16	7,17E+08	2,56E+06
19	5,04E+04	1,62E+02	212	30	1,52E+09	4,88E+06
20	5,56E+01	<AMD	92	0	5,12E+06	0,00E+00
21	4,67E+04	1,70E+02	126	11	5,04E+08	1,83E+06

3. Resultados e Discussão.

3.1 Resultados obtidos utilizando o método dos fatores de escala.

Utilizando os três Fatores de Escala (para o lote de 1993, para o lote de 2003 e para os lotes em conjunto) determinados em [1] para cada RDM e apresentados nas Tabelas 4 e 5, bem como as duas atividades totais dos Radionuclídeos Chaves (RCs) (atividade na água intersticial e no sólido absorvedor) determinados em [2] e apresentados nas Tabelas 6 e 7 calculou-se as atividades de cada Radionuclídeo de Díficil Medição (RDM) em cada tambor para cada um dos dois RCs. Para isso, utilizou-se:

$$A_{RDM} = (FE) \cdot A_{total, RC} \quad \text{Equação 6}$$

em que:

A_{RDM} é a atividade do RDM no tambor (Bq);

FE é o fator de escala do RDM no tambor, determinado em [1];

$A_{total, RC}$ é a atividade total do RC no tambor, determinado em [2].

Nos tambores que contêm resina de troca iônica utilizou-se os FE obtidos para cada lote, exceto para o ^{55}Fe , para o qual utilizou-se o FE obtido para os lotes em conjunto.

Já no caso dos tambores que contêm carvão ativado, utilizou-se os FE obtidos para os lotes em conjunto.

No caso de ^{235}U e ^{236}U , utilizou-se o FE obtido para cada um em separado quando em carvão ativado e o FE obtido para estes dois radionuclídeos conjuntamente (Taddei, 2013).

Para alguns radionuclídeos não foram obtidos FE ou obteve-se somente em uma matriz de rejeito (Taddei, 2013), conforme descrito na Tabela 8. No entanto, estes radionuclídeos apresentam baixa concentração de atividade nas matrizes de rejeitos analisadas e constatou-se que é possível tomar as concentrações de atividades desses radionuclídeos como iguais à atividade mínima detectável, de forma a conseguir um parâmetro seguro no sentido de decidir o tratamento a ser dado ao rejeito.

Tabela 8: RDMs para os quais nenhum FE foi encontrado ou encontrou-se FE somente para uma matriz de rejeito (Resina de Troca Iônica ou Carvão Ativado).

RDM	Especificações sobre o FE	Motivo ou Interpretação
⁵⁵ Fe	FE somente para o Carvão Ativado	encontra-se pouco solúvel na água, por isso é predominantemente retido no carvão
^{108m} Ag	FE somente para o Carvão Ativado	encontra-se pouco solúvel na água, por isso é predominantemente retido no carvão
¹⁴ C	FE somente para o Carvão Ativado	carbonatos têm pouca afinidade com as resinas de troca iônica
³ H	nenhum FE encontrado	concentração de atividade abaixo da mínima detectável
¹³⁷ Np	nenhum FE encontrado	concentração de atividade abaixo da mínima detectável
²⁴² Np	nenhum FE encontrado	concentração de atividade abaixo da mínima detectável
²⁴² Cm	nenhum FE encontrado	concentração de atividade abaixo da mínima detectável
²⁴³⁺²⁴⁴ Cm	nenhum FE encontrado	concentração de atividade abaixo da mínima detectável
²⁴³ Am	nenhum FE encontrado	concentração de atividade não determinada, já que a concentração de atividade de seu radionuclídeo filho (²⁴² -Pu) está abaixo da mínima detectável
⁹⁹ Tc	nenhum FE encontrado	não determinou-se um método para medir a concentração de atividade
¹²⁹ I	nenhum FE encontrado	não determinou-se um método para medir a concentração de atividade
¹³⁵ Cs	nenhum FE encontrado	não determinou-se um método para medir a concentração de atividade

A atividade total de cada RDM e também dos RCs obtidas para cada tambor, bem como as atividades totais dos tambores que contém Resina de Troca Iônica são apresentadas na Tabela 9, já a Tabela 10 apresenta estes mesmos dados referentes aos tambores que contém Carvão Ativado.

Tabela 9: Atividades totais de RDMs e RCs nos tambores de **Resina de Troca Iônica** e atividade total de cada tambor.

Tambor	Atividade total por RDM (Bq)										Atividade total por RC (Bq)		Atividade total do tambor (Bq)	
	⁵⁹ Ni	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	²³⁴ U	²³⁵⁺²³⁶ U	²³⁸ U	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴¹ Am	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	RC = ⁶⁰ Co	RC = ¹³⁷ Cs
1	1,27E+06	1,09E+08	6,40E+07	1,06E+04	6,37E+02	1,17E+03	2,33E+03	2,45E+04	3,02E+05	2,80E+04	2,77E+09	4,20E+06	2,95E+09	2,80E+09
	1,79E+05	1,72E+07	1,02E+07	1,37E+03	8,23E+01	1,51E+02	3,70E+02	3,89E+03	3,92E+04	5,00E+03				
3	9,25E+05	7,88E+07	4,64E+07	7,70E+03	4,62E+02	8,48E+02	1,69E+03	1,78E+04	2,19E+05	2,03E+04	2,01E+09	2,06E+06	2,14E+09	2,03E+09
	8,80E+04	8,45E+06	4,99E+06	5,03E+03	4,04E+01	7,42E+01	1,81E+02	1,91E+03	1,92E+04	2,45E+03				
10	2,89E+05	4,21E+07	2,59E+06	1,18E+02	8,01E+00	5,26E+00	9,59E+02	4,17E+03	2,52E+04	4,82E+02	1,10E+09	1,08E+08	1,25E+09	1,87E+09
	4,21E+06	6,16E+08	3,77E+07	1,74E+03	1,19E+02	7,79E+01	1,40E+04	6,08E+04	3,52E+05	7,02E+03				
11	3,39E+05	4,94E+07	3,03E+06	1,38E+02	9,39E+00	6,17E+00	1,12E+03	4,89E+03	2,95E+04	5,65E+02	1,29E+09	1,70E+07	1,36E+09	1,41E+09
	6,63E+05	9,69E+07	5,93E+06	2,74E+02	1,87E+01	1,23E+01	2,21E+03	9,57E+03	5,54E+04	1,11E+03				
12	2,71E+05	3,94E+07	2,42E+06	1,10E+02	7,50E+00	4,92E+00	8,98E+02	3,90E+03	2,36E+04	4,51E+02	1,03E+09	1,52E+07	1,09E+09	1,17E+09
	5,93E+05	3,47E+07	8,66E+07	5,30E+06	1,67E+01	1,10E+01	1,98E+03	8,56E+03	4,96E+04	9,88E+02				
14	9,35E+05	8,04E+07	4,94E+06	2,25E+02	1,53E+01	1,00E+01	1,83E+03	7,96E+03	4,81E+04	9,20E+02	2,10E+09	1,75E+07	2,20E+09	2,22E+09
	6,83E+05	9,98E+07	6,11E+06	2,82E+02	1,93E+01	1,26E+01	2,28E+03	9,85E+03	5,71E+04	1,14E+03				
16	3,39E+05	4,94E+07	3,03E+06	1,38E+02	9,39E+00	6,17E+00	1,12E+03	4,89E+03	2,95E+04	5,65E+02	1,29E+09	1,05E+08	1,45E+09	2,04E+09
	4,10E+06	5,99E+08	3,67E+07	1,69E+03	1,16E+02	7,58E+01	1,37E+04	5,92E+04	3,43E+05	6,83E+03				

Atividade obtida utilizando o ⁶⁰Co como RC
 Atividade obtida utilizando o ¹³⁷Cs como RC

Tabela 10: Atividades totais de RDMs e RCs nos tambores de **Carvão Ativado** e atividade total de cada tambor.

Tambor	Atividade total por RDM (Bq)														Atividade total por RC (Bq)		Atividade total do tambor (Bq)	
	¹⁴ C	⁵⁵ Fe	⁵⁹ Ni	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	^{108m} Ag	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴¹ Am	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	RC = ⁶⁰ Co	RC = ¹³⁷ Cs
2	7,59E+06	6,01E+07	1,37E+06	5,19E+07	1,73E+07	5,48E+04	3,73E+03	1,10E+02	9,74E+01	1,74E+03	1,67E+04	7,63E+04	3,49E+05	2,15E+04	9,37E+08	4,19E+06	1,08E+09	1,06E+09
	5,87E+06	5,12E+07	4,05E+05	4,49E+07	1,51E+07	4,74E+04	3,25E+03	9,52E+01	8,47E+01	1,52E+03	1,46E+04	6,46E+04	3,02E+05	1,87E+04				
4	3,68E+06	2,91E+07	9,91E+05	2,51E+07	8,39E+06	2,65E+04	1,81E+03	5,31E+01	4,72E+01	8,44E+02	8,08E+03	3,69E+04	1,69E+05	1,04E+04	4,54E+08	2,66E+06	5,24E+08	5,31E+08
	3,72E+06	3,24E+07	2,57E+05	2,85E+07	9,57E+06	3,00E+04	2,06E+03	6,04E+01	5,37E+01	9,65E+02	9,23E+03	4,09E+04	1,92E+05	1,18E+04				
5	5,75E+06	4,55E+07	2,24E+05	3,93E+07	1,31E+07	4,15E+04	2,83E+03	8,31E+01	7,38E+01	1,32E+03	1,26E+04	5,78E+04	2,64E+05	1,63E+04	7,10E+08	5,62E+06	8,20E+08	8,74E+08
	7,87E+06	6,86E+07	5,43E+05	6,01E+07	2,02E+07	3,00E+04	2,06E+03	1,28E+02	1,14E+02	2,04E+03	1,95E+04	8,66E+04	4,05E+05	2,50E+04				
6	6,32E+06	5,00E+07	3,50E+05	4,32E+07	1,44E+07	4,56E+04	3,10E+03	9,12E+01	8,11E+01	1,45E+03	1,39E+04	6,35E+04	2,90E+05	1,79E+04	7,80E+08	4,30E+06	8,99E+08	9,05E+08
	6,02E+06	5,24E+07	4,15E+05	4,60E+07	1,55E+07	4,86E+04	3,33E+03	9,75E+01	8,68E+01	1,56E+03	1,49E+04	6,62E+04	3,10E+05	1,91E+04				
7	1,26E+07	9,94E+07	3,85E+05	8,59E+07	2,87E+07	9,07E+04	6,17E+03	1,81E+02	1,61E+02	2,89E+03	2,76E+04	1,26E+05	5,77E+05	3,55E+04	1,55E+09	8,11E+06	1,79E+09	1,79E+09
	1,13E+07	9,89E+07	7,83E+05	8,67E+07	2,92E+07	9,16E+04	6,28E+03	1,84E+02	1,64E+02	2,94E+03	2,81E+04	1,25E+05	5,84E+05	3,61E+04				
8	1,13E+07	8,91E+07	7,64E+05	7,70E+07	2,57E+07	8,13E+04	5,53E+03	1,63E+02	1,45E+02	2,59E+03	2,47E+04	1,13E+05	5,17E+05	3,18E+04	1,39E+09	7,84E+06	1,60E+09	1,62E+09
	1,10E+07	9,56E+07	7,57E+05	8,39E+07	2,82E+07	9,16E+04	6,08E+03	1,78E+02	1,58E+02	2,85E+03	2,72E+04	1,21E+05	5,65E+05	3,49E+04				
9	8,67E+06	6,86E+07	6,86E+05	5,93E+07	1,98E+07	6,26E+04	4,26E+03	1,25E+02	1,11E+02	1,99E+03	1,91E+04	8,72E+04	3,98E+05	2,45E+04	1,07E+09	6,10E+06	1,23E+09	1,25E+09
	8,54E+06	7,44E+07	5,89E+05	6,52E+07	2,19E+07	6,89E+04	4,73E+03	1,38E+02	1,23E+02	2,21E+03	2,12E+04	9,39E+04	4,40E+05	2,71E+04				
13	8,26E+06	6,54E+07	5,08E+05	5,65E+07	1,89E+07	5,97E+04	4,06E+03	1,19E+02	1,06E+02	1,90E+03	1,82E+04	8,30E+04	3,79E+05	2,34E+04	1,02E+09	2,89E+06	1,17E+09	1,10E+09
	4,05E+06	3,53E+07	2,79E+05	3,09E+07	1,04E+07	3,27E+04	2,24E+03	6,56E+01	5,84E+01	1,05E+03	1,00E+04	4,45E+04	2,08E+05	1,29E+04				
15	5,79E+06	4,58E+07	1,04E+06	3,96E+07	1,32E+07	4,18E+04	2,84E+03	8,36E+01	7,43E+01	1,33E+03	1,27E+04	5,82E+04	2,66E+05	1,64E+04	7,15E+08	6,00E+06	8,27E+08	8,90E+08
	8,40E+06	7,32E+07	5,79E+05	6,42E+07	2,16E+07	6,78E+04	4,65E+03	1,36E+02	1,21E+02	2,18E+03	2,08E+04	9,24E+04	4,32E+05	2,67E+04				
17	5,35E+06	4,23E+07	6,36E+05	3,66E+07	1,22E+07	3,86E+04	2,63E+03	7,72E+01	6,86E+01	1,23E+03	1,17E+04	5,37E+04	2,46E+05	1,51E+04	6,60E+08	2,12E+06	7,60E+08	7,22E+08
	2,96E+06	2,58E+07	2,05E+05	2,27E+07	7,62E+06	2,39E+04	1,64E+03	4,81E+01	4,28E+01	7,69E+02	7,35E+03	3,26E+04	1,53E+05	9,42E+03				
18	5,81E+06	4,60E+07	3,25E+05	3,97E+07	1,33E+07	4,19E+04	2,85E+03	8,39E+01	7,46E+01	1,33E+03	1,28E+04	5,84E+04	2,67E+05	1,64E+04	7,17E+08	2,59E+06	8,25E+08	7,92E+08
	3,62E+06	3,15E+07	2,50E+05	2,77E+07	9,31E+06	2,92E+04	2,00E+03	5,87E+01	5,22E+01	9,38E+02	8,97E+03	3,98E+04	1,86E+05	1,15E+04				
19	1,23E+07	9,74E+07	3,54E+05	8,42E+07	2,81E+07	8,89E+04	6,05E+03	1,78E+02	1,58E+02	2,83E+03	2,71E+04	1,24E+05	5,66E+05	3,48E+04	1,52E+09	4,93E+06	1,75E+09	1,66E+09
	6,90E+06	6,01E+07	4,76E+05	5,27E+07	1,77E+07	5,57E+04	3,82E+03	1,12E+02	9,96E+01	1,79E+03	1,71E+04	7,59E+04	3,55E+05	2,19E+04				
20	4,56E+04	3,61E+05	7,50E+05	3,12E+05	1,04E+05	3,30E+02	2,24E+01	6,59E-01	5,86E-01	1,05E+01	1,00E+02	4,59E+02	2,10E+03	1,29E+02	5,64E+06	1,36E+04	7,23E+06	6,04E+06
	1,90E+04	1,66E+05	1,31E+03	1,46E+05	4,90E+04	1,54E+02	1,05E+01	3,09E-01	2,75E-01	4,94E+00	4,72E+01	2,09E+02	9,81E+02	6,05E+01				
21	4,08E+06	3,23E+07	2,53E+03	2,79E+07	9,32E+06	2,95E+04	2,01E+03	5,90E+01	5,24E+01	9,37E+02	8,97E+03	4,10E+04	1,87E+05	1,15E+04	5,04E+08	1,84E+06	5,80E+08	5,57E+08
	2,57E+06	2,24E+07	1,77E+05	1,97E+07	6,61E+06	2,08E+04	1,42E+03	4,17E+01	3,71E+01	6,67E+02	6,37E+03	2,83E+04	1,32E+05	8,17E+03				

Atividade obtida utilizando o ⁶⁰Co como RC
 Atividade obtida utilizando o ¹³⁷Cs como RC

Os Apêndices 1 a 7 apresentam as tabelas de dados obtidos para cada um dos 21 tambores avaliados, exibindo os RDMs para os quais não se obteve fatores de escala e o valor total da atividade dos RDMs para os quais os fatores de escala foram obtidos.

As atividades totais dos tambores obtidas utilizando o ^{60}Co diferem das atividades totais obtidas utilizando o ^{137}Cs como RC. Esta diferença era esperada, já que foi verificado que a atividade do ^{137}Cs era mais baixa que a atividade do ^{60}Co em todos os tambores, e pode ser interpretada como um intervalo onde o valor verdadeiro da atividade total do tambor se encontra e nos fornece um bom parâmetro para o tratamento do rejeito.

A seguir, a Tabela 11 resume os valores das atividades totais obtidas para cada um dos 21 tambores.

Tabela 11: Valores das Atividades Totais de cada um dos 21 Tambores avaliados obtidos a partir do método dos fatores de escala utilizando o ^{60}Co e o ^{137}Cs como RCs.

Tambor	Atividade Total do Tambor obtida utilizando o ^{60}Co como Rc (Bq)	Atividade Total do Tambor obtida utilizando o ^{137}Cs como Rc (Bq)
1	2,95E+09	2,80E09
2	1,08E+09	1,06E+09
3	2,14E+09	2,03E+09
4	5,24E+08	5,31E+08
5	8,20E+08	8,74E+08
6	8,99E+08	9,05E+08
7	1,79E+09	1,79E+09
8	1,60E+09	1,62E+09
9	1,23E+09	1,25E+09
10	1,25E+09	1,87E+09
11	1,36E+09	1,41E+09
12	1,09E+09	1,17E+09
13	1,17E+09	1,10E+09
14	8,63E+07	1,07E+08
15	8,27E+08	8,90E+08
16	1,45E+09	2,04E+09
17	7,60E+08	7,22E+08
18	8,25E+08	7,92E+08
19	1,75E+09	1,66E+09
20	7,23E+06	6,04E+06
21	5,80E+08	5,57E+08

A primeira vista, os valores das atividades totais de cada tambor são compatíveis com os resultados esperados (da ordem kBq a MBq), no entanto, é necessário avaliar as incertezas destes valores. Obter tais incertezas não é trivial, já que diversos métodos diferentes foram usados para obter os resultados contidos nas Tabelas 9 e 10, assim, embora as concentrações de atividades advindas de [1] possuíssem incertezas, o método do Point Kernel não fornece incertezas.

Então, faz-se necessário determinar um método seguro, do ponto de vista da gestão de rejeitos radioativos, para avaliar a validade, consistência e coesão desses resultados. Para isso, foram avaliados os valores das atividades totais obtidas a partir da relação das concentrações de atividades obtidas em [1] com as massas dos tambores obtidas em [2].

3.2 Resultados obtidos utilizando as medidas das concentrações de atividade e as massas.

Seja $C_{R,i}$ a concentração de atividade do radionuclídeo R no tambor i e seja m_i a massa desse mesmo tambor, calculadas, respectivamente em [1] e [2]. Temos que a atividade do radionuclídeo R no tambor i deve ser dada por:

$$A_{R,i} = C_{R,i} m_i \quad \text{Equação 7}$$

E, portanto, a atividade total do tambor i é dada pela soma das atividades correspondentes a todos os N radionuclídeo presentes neste tambor, isto é:

$$A_i = \sum_{R=1}^N A_{R,i} = \sum_{R=1}^N C_{R,i} m_i \quad \text{Equação 8}$$

Desta forma, os valores encontrados a partir das Equações 6 e 7, isto é, os valores de atividade total para cada radionuclídeo encontrados a partir dos fatores de escala e aqueles encontrados a partir da concentração de atividade e massa de cada tambor devem ser compatíveis.

A seguir, as Tabelas 12 e 13 apresentam os valores das atividades totais obtidas para cada RDM em cada tambor que contém, respectivamente, resina de troca iônica e carvão ativado, utilizando suas concentrações de atividade e massas.

Tabela 12: Atividade Total correspondente a cada radionuclídeo em cada um dos 7 tambores que contém **Resina de troca iônica** e Atividade Total de cada um destes tambores calculada a partir da concentração de atividade e massa.

Atividade total por Radionuclídeo (Bq)							
Radionuclídeo	Tambor						
	1	3	10	11	12	14	16
³ H	1,82E+06	1,06E+06	5,97E+05	3,69E+05	4,16E+05	7,40E+05	7,34E+06
¹⁴ C	7,79E+05	6,80E+05	1,35E+06	1,18E+06	6,88E+05	3,39E+06	7,72E+05
⁵⁵ Fe	1,36E+07	7,71E+06	1,43E+07	3,02E+07	1,59E+07	6,57E+07	2,03E+07
⁵⁹ Ni	2,96E+05	7,91E+04	1,19E+06	1,22E+06	6,97E+05	1,46E+06	2,78E+06
⁶⁰ Co	2,29E+09	2,01E+09	1,11E+09	1,30E+09	1,01E+09	2,12E+09	1,28E+09
⁶³ Ni	1,41E+07	8,51E+06	2,04E+08	1,84E+08	3,49E+08	1,86E+08	2,55E+08
⁹⁰ Sr	9,22E+06	5,01E+06	5,81E+06	3,80E+07	3,55E+06	3,65E+07	6,94E+06
^{108m} Ag	1,24E+04	9,52E+03	5,44E+03	6,97E+03	5,78E+03	1,17E+04	9,69E+03
¹³⁷ Cs	3,77E+06	2,06E+06	1,08E+08	1,71E+07	1,62E+07	1,76E+07	1,05E+08
²³⁴ U	8,34E+02	6,01E+02	3,44E+02	4,76E+02	4,81E+02	8,35E+02	5,50E+02
²³⁵ U	3,65E+01	1,08E+01	1,17E+01	1,60E+01	6,12E+00	1,52E+01	1,23E+01
²³⁶ U	6,39E+01	1,12E+01	7,84E+00	9,43E+00	8,67E+00	2,07E+01	1,14E+01
²³⁸ U	9,88E+01	5,75E+01	2,86E+01	9,84E+00	1,45E+01	5,34E+01	2,82E+01
²³⁷ Np	2,19E+02	1,68E+02	9,60E+01	1,23E+02	1,02E+02	2,07E+02	1,71E+02
²³⁸ Pu	3,31E+02	1,86E+02	5,53E+03	3,75E+03	3,13E+03	4,51E+03	6,10E+03
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	2,93E+04	1,81E+03	1,54E+04	2,12E+04	1,42E+04	1,68E+04	2,76E+04
²⁴¹ Pu	3,80E+03	3,53E+05	1,96E+05	1,34E+05	1,22E+05	4,78E+04	1,25E+05
²⁴¹ Am	7,30E+01	1,91E+03	1,73E+03	3,68E+03	1,28E+03	2,01E+03	2,25E+03
²⁴² Pu	2,19E+01	5,60E+01	3,20E+01	4,10E+01	3,40E+01	6,90E+01	5,70E+01
²⁴² Cm	5,61E+01	1,68E+02	9,60E+00	1,23E+01	1,02E+01	2,07E+01	1,71E+01
²⁴³⁺²⁴⁴ Cm	1,82E+06	6,01E+01	2,88E+02	9,16E+00	2,79E+01	4,61E+01	6,00E+01
TOTAL	2,33E+09	2,04E+09	1,44E+09	1,57E+09	1,40E+09	2,43E+09	1,68E+09

Tabela 13: Atividade Total correspondente a cada radionuclídeo em cada um dos 14 tambores que contém **Carvão Ativado** e Atividade Total de cada um desses tambores calculada a partir da concentração de atividade e massa.

Radionuclídeo	Atividade total por Radionuclídeo (Bq)													
	Tambor													
	2	4	5	6	7	8	9	13	15	17	18	19	20	21
³ H	1,37E+05	2,54E+04	1,16E+05	2,69E+04	2,20E+05	4,55E+04	2,00E+05	2,63E+04	1,28E+04	1,30E+03	4,64E+04	2,72E+05	9,20E+03	3,54E+05
¹⁴ C	7,85E+06	2,58E+06	8,87E+06	1,37E+07	6,29E+06	9,57E+06	8,99E+06	4,60E+06	2,97E+06	1,85E+06	2,08E+06	4,76E+06	1,15E+07	2,65E+07
⁵⁵ Fe	1,57E+08	8,02E+07	4,93E+07	6,79E+07	1,53E+08	1,21E+08	2,43E+08	3,35E+07	3,52E+07	1,09E+07	2,60E+07	2,00E+07	9,57E+07	2,44E+08
⁵⁹ Ni	5,92E+05	1,43E+05	1,53E+05	7,22E+05	9,84E+05	2,63E+05	4,21E+05	0,00E+00	2,23E+05	2,41E+05	4,36E+05	1,38E+05	2,45E+06	3,92E+06
⁶⁰ Co	1,29E+09	4,46E+08	7,14E+08	7,75E+08	1,57E+09	1,28E+09	1,07E+09	1,02E+09	7,05E+08	6,57E+08	7,29E+08	1,51E+09	4,72E+09	5,30E+09
⁶³ Ni	6,34E+07	2,05E+07	4,59E+07	4,72E+07	9,40E+07	5,87E+07	5,88E+07	7,80E+07	3,10E+07	2,60E+06	4,38E+07	7,56E+07	3,69E+08	3,34E+08
⁹⁰ Sr	4,77E+07	1,14E+07	3,24E+07	2,66E+07	5,15E+07	3,98E+07	3,73E+07	4,32E+06	7,61E+06	1,03E+06	5,43E+06	5,01E+06	2,19E+07	2,28E+07
^{108m} Ag	4,45E+04	4,81E+03	9,49E+04	2,25E+04	4,09E+04	2,64E+04	1,87E+05	2,07E+05	1,97E+05	7,25E+04	1,22E+05	2,03E+05	4,57E+05	1,82E+06
¹³⁷ Cs	5,88E+06	2,51E+06	5,41E+06	4,13E+06	8,14E+06	7,67E+06	6,15E+06	2,89E+06	5,81E+06	2,07E+06	2,61E+06	4,85E+06	1,10E+07	2,76E+07
²³⁴ U	5,34E+03	1,62E+03	4,95E+03	5,60E+03	8,00E+03	9,59E+03	8,83E+03	1,64E+03	1,19E+03	8,45E+02	5,40E+02	1,73E+03	2,21E+03	6,93E+03
²³⁵ U	1,77E+02	5,15E+01	1,64E+02	1,85E+02	2,70E+02	2,41E+02	2,95E+02	4,00E+01	2,78E+01	1,86E+01	1,60E+01	4,13E+01	5,89E+01	2,37E+02
²³⁶ U	1,16E+02	3,10E+01	1,66E+02	9,89E+01	1,71E+02	2,46E+02	2,74E+02	5,67E+01	5,42E+01	7,02E+00	1,88E+01	7,68E+01	1,06E+02	3,31E+02
²³⁸ U	3,69E+03	7,72E+02	2,98E+03	3,75E+03	6,57E+03	6,47E+03	6,75E+03	2,13E+02	2,09E+02	1,33E+02	1,23E+02	1,06E+04	5,34E+02	1,13E+03
²³⁷ Np	1,53E+02	5,70E+01	1,53E+02	1,29E+02	1,26E+02	1,47E+02	1,44E+02	7,80E+01	8,70E+01	3,90E+01	4,80E+01	9,00E+01	2,76E+02	3,78E+02
²³⁸ Pu	2,50E+04	3,67E+03	1,87E+04	2,07E+04	3,92E+04	2,41E+04	4,18E+04	1,07E+04	5,51E+03	6,63E+03	5,16E+03	6,45E+03	2,67E+04	4,28E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,19E+05	2,10E+04	1,04E+05	9,94E+04	1,75E+05	1,31E+05	1,93E+05	3,85E+04	2,15E+04	2,70E+04	1,89E+04	2,37E+04	9,48E+04	1,54E+05
²⁴¹ Pu	7,84E+05	3,92E+05	3,28E+05	4,84E+05	9,22E+05	4,73E+05	9,06E+05	1,37E+05	6,16E+04	6,66E+04	6,92E+04	6,39E+04	5,23E+05	3,96E+05
²⁴¹ Am	2,91E+04	6,33E+03	3,18E+04	3,16E+04	4,20E+04	4,78E+04	5,46E+04	9,36E+03	8,56E+03	4,68E+03	3,80E+03	9,15E+03	2,02E+04	5,92E+04
²⁴² Pu	5,10E+01	1,90E+01	5,10E+01	4,30E+01	4,20E+01	4,90E+01	4,80E+01	2,60E+01	2,90E+01	1,30E+01	1,60E+01	3,00E+01	9,20E+01	1,26E+02
²⁴² Cm	1,53E+02	5,70E+01	1,53E+02	1,29E+02	1,26E+02	1,47E+02	1,44E+02	7,80E+01	8,70E+01	3,90E+01	4,80E+01	9,00E+01	2,76E+02	3,78E+02
²⁴³⁺²⁴⁴ Cm	1,94E+02	7,11E+01	5,70E+02	1,87E+02	7,00E+02	1,71E+02	3,51E+02	1,43E+02	3,31E+02	9,88E+01	1,15E+01	5,07E+01	3,50E+02	9,58E+01
TOTAL	1,57E+09	5,64E+08	8,57E+08	9,36E+08	1,89E+09	1,52E+09	1,42E+09	1,14E+09	7,88E+08	6,75E+08	8,10E+08	1,62E+09	5,23E+09	3,54E+05

3.3 Comparando os dois métodos.

Na Figura 8 é possível comparar os valores obtidos para a atividade total de cada tambor utilizando o método dos fatores de escala para cada RDM (com ^{60}Co e ^{137}Cs como RCs) e aquela obtida utilizando o produto da massa pela concentração de atividade.

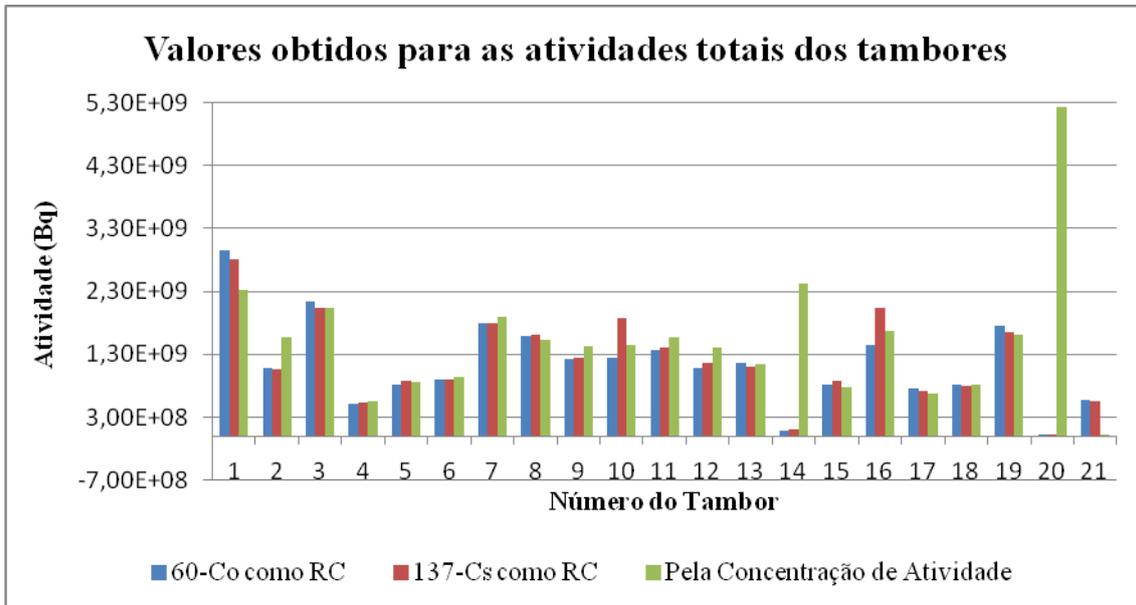


Figura 8: Comparação entre os valores obtidos para a atividade total de cada tambor.

Já a Tabela 14 apresenta os três valores obtidos para a Atividade Total de cada um dos 21 tambores, dados estes utilizados na construção do gráfico da Figura 8.

Tabela 14: Valores das Atividades Totais de cada um dos 21 Tambores avaliados obtidos utilizando o método dos fatores de escala e o produto da concentração de atividade pela massa.

Tambor	Atividade Total do Tambor obtida utilizando os fatores de escala com o ^{60}Co como Rc (Bq)	Atividade Total do Tambor obtida utilizando os fatores de escala com o ^{137}Cs como Rc (Bq)	Atividade Total do Tambor obtida utilizando o produto da concentração de atividade pela massa (Bq)
1	2,95E+09	2,80E+09	2,33E+09
2	1,08E+09	1,06E+09	1,57E+09
3	2,14E+09	2,03E+09	2,04E+09
4	5,24E+08	5,31E+08	5,64E+08
5	8,20E+08	8,74E+08	8,57E+08
6	8,99E+08	9,05E+08	9,36E+08
7	1,79E+09	1,79E+09	1,89E+09
8	1,60E+09	1,62E+09	1,52E+09
9	1,23E+09	1,25E+09	1,42E+09
10	1,25E+09	1,87E+09	1,44E+09
11	1,36E+09	1,41E+09	1,44E+09
12	1,09E+09	1,17E+09	1,40E+09
13	1,17E+09	1,10E+09	1,14E+09
14	8,63E+07	1,07E+08	2,43E+09
15	8,27E+08	8,90E+08	7,88E+08
16	1,45E+09	2,04E+09	1,68E+09
17	7,60E+08	7,22E+08	6,75E+08
18	8,25E+08	7,92E+08	8,10E+08
19	1,75E+09	1,66E+09	1,62E+09
20	7,23E+06	6,04E+06	5,23E+09
21	5,80E+08	5,57E+08	3,54E+05

Verifica-se que, na maioria dos tambores as atividades obtidas com o uso dos fatores de escala e aquelas obtidas com o uso do produto da massa do tambor e pela concentração de atividade são bastante próximos e da mesma ordem de grandeza. As exceções são os tambores 14, 20 e 21 em que os rejeitos se encontram como indica a configuração b da Figura 2, isto é, a coluna de água e de sólido absorvedor têm o mesmo comprimento. Este fato não acarreta grandes preocupações, já que, nestes tambores, há mais água que sólido absorvedor e, portanto, menor quantidade de material radioativo retido e, por fim, têm baixa atividade.

4. Conclusões.

Os trabalhos [1] e [2] desenvolvidos na GRR foram relacionados de forma a se obter os valores para as atividades totais de cada Radionuclídeo de Difícil Medição (RDM) relacionando-os a dois Radionuclídeos Chaves (RCs) e, então, a atividade de cada um dos 21 tambores analisados, dada pela soma das atividades dos RDMs e RCs presentes em cada tambor. À primeira vista, os resultados parecem ser compatíveis do ponto de vista da gestão de rejeitos radioativos.

Todos os tambores foram caracterizados de forma a determinar não somente os radionuclídeos contidos no tambor, mas também a atividade de cada um deles e, por fim, a atividade total de cada tambor.

Embora não seja possível determinar as incertezas de tais valores, a compatibilidade e veracidade de tais dados podem ser afirmadas quando os valores para as atividades totais obtidas para cada tambor utilizando o método dos fatores de escala são comparados com os valores obtidos pelo produto da massa de cada tambor pela concentração de atividade de cada radionuclídeo no tambor.

Dessa forma a diferença entre as atividades obtidas pelos diferentes métodos pode ser considerada um intervalo dentro do qual se encontra o valor verdadeiro da atividade de cada tambor. Esta aproximação, do ponto de vista da gestão de rejeitos radioativos, pode ser coerente com fatores econômicos, sociais e éticos.

Sendo assim, no caso dos tambores 14 e 21, que contém mais água que material sólido absorvedor, embora a caracterização tenha sido particularmente mais difícil e os resultados obtidos pelos dois métodos utilizados não sejam compatíveis entre si, nestes casos as atividades são seguramente menores que no caso dos demais tambores, de forma que, trata-los como os demais, já assegura a correta gestão dos resíduos.

Em geral, os valores obtidos para as atividades utilizando o método dos fatores de escala em ambos os casos (utilizando o ^{60}Co e o ^{137}Cs como RC) são da mesma ordem de grandeza dos valores obtidos para as mesmas atividades utilizando o produto da massa do tambor pela concentração de atividade (as únicas exceções são os tambores 14 e 21). Sendo assim, aconselha-se adotar a atividade de cada radionuclídeo em cada tambor e também a atividade total por tambor como o maior dentre os três valores obtidos, de forma a garantir a segurança da gestão dos rejeitos.

O método dos fatores de escala mostrou-se simples e verídico, de forma que futuramente, seu uso poderá não somente facilitar como demandar menos tempo e gastos financeiros para promover a caracterização de outros rejeitos do reator IEA-R1.

Apêndice A: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 1 a 3.

Tambor: 1		Tambor: 2		Tambor: 3	
Lote:	1993	Lote:	1993	Lote:	1993
Conteúdo:	Resina	Conteúdo:	Carvão	Conteúdo:	Resina

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	2,77E+09
¹³⁷ Cs	4,20E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	9,37E+08
¹³⁷ Cs	4,19E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	2,01E+09
¹³⁷ Cs	2,06E+06

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	NO FE	NO FE
⁵⁵ Fe	NO FE	NO FE
⁵⁹ Ni	1,27E+06	1,79E+05
⁶³ Ni	1,09E+08	1,72E+07
⁹⁰ Sr	6,40E+07	1,02E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	NO FE	NO FE
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	1,06E+04	1,37E+03
²³⁵⁺²³⁶ U	6,37E+02	8,23E+01
²³⁸ U	1,17E+03	1,51E+02
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	2,33E+03	3,70E+02
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	2,45E+04	3,89E+03
²⁴¹ Pu	3,02E+05	3,92E+04
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	2,80E+04	5,00E+03
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	7,59E+06	5,87E+06
⁵⁵ Fe	6,01E+07	5,12E+07
⁵⁹ Ni	1,37E+06	4,05E+05
⁶³ Ni	5,19E+07	4,49E+07
⁹⁰ Sr	1,73E+07	1,51E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	5,48E+04	4,74E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	3,73E+03	3,25E+03
²³⁵ U	1,10E+02	9,52E+01
²³⁶ U	9,74E+01	8,47E+01
²³⁸ U	1,74E+03	1,52E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,67E+04	1,46E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	7,63E+04	6,46E+04
²⁴¹ Pu	3,49E+05	3,02E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	2,15E+04	1,87E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	NO FE	NO FE
⁵⁵ Fe	NO FE	NO FE
⁵⁹ Ni	9,25E+05	8,80E+04
⁶³ Ni	7,88E+07	8,45E+06
⁹⁰ Sr	4,64E+07	4,99E+06
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	NO FE	NO FE
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	7,70E+03	5,03E+03
²³⁵⁺²³⁶ U	4,62E+02	4,04E+01
²³⁸ U	8,48E+02	7,42E+01
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,69E+03	1,81E+02
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,78E+04	1,91E+03
²⁴¹ Pu	2,19E+05	1,92E+04
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	2,03E+04	2,45E+03
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

NO FE: fator de escala não determinado.

NO CONC: concentração de atividade não determinada.

Apêndice B: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 4 a 6.

Tambor:	4
Lote:	1993
Conteúdo:	Carvão

Tambor:	5
Lote:	1993
Conteúdo:	Carvão

Tambor:	6
Lote:	1993
Conteúdo:	Carvão

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	4,54E+08
¹³⁷ Cs	2,66E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	7,10E+08
¹³⁷ Cs	5,62E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	7,80E+08
¹³⁷ Cs	4,30E+06

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	3,68E+06	3,72E+06
⁵⁵ Fe	2,91E+07	3,24E+07
⁵⁹ Ni	9,91E+05	2,57E+05
⁶³ Ni	2,51E+07	2,85E+07
⁹⁰ Sr	8,39E+06	9,57E+06
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	2,65E+04	3,00E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	1,81E+03	2,06E+03
²³⁵ U	5,31E+01	6,04E+01
²³⁶ U	4,72E+01	5,37E+01
²³⁸ U	8,44E+02	9,65E+02
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	8,08E+03	9,23E+03
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	3,69E+04	4,09E+04
²⁴¹ Pu	1,69E+05	1,92E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	1,04E+04	1,18E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	5,75E+06	7,87E+06
⁵⁵ Fe	4,55E+07	6,86E+07
⁵⁹ Ni	2,24E+05	5,43E+05
⁶³ Ni	3,93E+07	6,01E+07
⁹⁰ Sr	1,31E+07	2,02E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	4,15E+04	3,00E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	2,83E+03	2,06E+03
²³⁵ U	8,31E+01	1,28E+02
²³⁶ U	7,38E+01	1,14E+02
²³⁸ U	1,32E+03	2,04E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,26E+04	1,95E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	5,78E+04	8,66E+04
²⁴¹ Pu	2,64E+05	4,05E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	1,63E+04	2,50E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	6,32E+06	6,02E+06
⁵⁵ Fe	5,00E+07	5,24E+07
⁵⁹ Ni	3,50E+05	4,15E+05
⁶³ Ni	4,32E+07	4,60E+07
⁹⁰ Sr	1,44E+07	1,55E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	4,56E+04	4,86E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	3,10E+03	3,33E+03
²³⁵ U	9,12E+01	9,75E+01
²³⁶ U	8,11E+01	8,68E+01
²³⁸ U	1,45E+03	1,56E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,39E+04	1,49E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	6,35E+04	6,62E+04
²⁴¹ Pu	2,90E+05	3,10E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	1,79E+04	1,91E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

NO FE: fator de escala não determinado.

NO CONC: concentração de atividade não determinada.

Apêndice C: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 7 a 9.

Tambor: 7

Lote: 1993

Conteúdo: Carvão

Tambor: 8

Lote: 1993

Conteúdo: Carvão

Tambor: 9

Lote: 1993

Conteúdo: Carvão

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,55E+09
¹³⁷ Cs	8,11E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,39E+09
¹³⁷ Cs	7,84E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,07E+09
¹³⁷ Cs	6,10E+06

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	1,26E+07	1,13E+07
⁵⁵ Fe	9,94E+07	9,89E+07
⁵⁹ Ni	3,85E+05	7,83E+05
⁶³ Ni	8,59E+07	8,67E+07
⁹⁰ Sr	2,87E+07	2,92E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	9,07E+04	9,16E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	6,17E+03	6,28E+03
²³⁵ U	1,81E+02	1,84E+02
²³⁶ U	1,61E+02	1,64E+02
²³⁸ U	2,89E+03	2,94E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	2,76E+04	2,81E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,26E+05	1,25E+05
²⁴¹ Pu	5,77E+05	5,84E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	3,55E+04	3,61E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	1,13E+07	1,10E+07
⁵⁵ Fe	8,91E+07	9,56E+07
⁵⁹ Ni	7,64E+05	7,57E+05
⁶³ Ni	7,70E+07	8,39E+07
⁹⁰ Sr	2,57E+07	2,82E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	8,13E+04	9,16E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	5,53E+03	6,08E+03
²³⁵ U	1,63E+02	1,78E+02
²³⁶ U	1,45E+02	1,58E+02
²³⁸ U	2,59E+03	2,85E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	2,47E+04	2,72E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,13E+05	1,21E+05
²⁴¹ Pu	5,17E+05	5,65E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	3,18E+04	3,49E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	8,67E+06	8,54E+06
⁵⁵ Fe	6,86E+07	7,44E+07
⁵⁹ Ni	6,86E+05	5,89E+05
⁶³ Ni	5,93E+07	6,52E+07
⁹⁰ Sr	1,98E+07	2,19E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	6,26E+04	6,89E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	4,26E+03	4,73E+03
²³⁵ U	1,25E+02	1,38E+02
²³⁶ U	1,11E+02	1,23E+02
²³⁸ U	1,99E+03	2,21E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,91E+04	2,12E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	8,72E+04	9,39E+04
²⁴¹ Pu	3,98E+05	4,40E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	2,45E+04	2,71E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

NO FE: fator de escala não determinado.

NO CONC: concentração de atividade não determinada.

Apêndice D: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 10 a 12.

Tambor: 10

Lote: 2003

Conteúdo: Resina

Tambor: 11

Lote: 2003

Conteúdo: Resina

Tambor: 12

Lote: 2003

Conteúdo: Resina

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,10E+09
¹³⁷ Cs	1,08E+08

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,29E+09
¹³⁷ Cs	1,70E+07

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,03E+09
¹³⁷ Cs	1,52E+07

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	NO FE	NO FE
⁵⁵ Fe	NO FE	NO FE
⁵⁹ Ni	2,89E+05	4,21E+06
⁶³ Ni	4,21E+07	6,16E+08
⁹⁰ Sr	2,59E+06	3,77E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	NO FE	NO FE
¹²⁹ I	NO FE	NO FE
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	1,18E+02	1,74E+03
²³⁵⁺²³⁶ U	8,01E+00	1,19E+02
²³⁸ U	5,26E+00	7,79E+01
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	9,59E+02	1,40E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	4,17E+03	6,08E+04
²⁴¹ Pu	2,52E+04	3,52E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	4,82E+02	7,02E+03
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	NO FE	NO FE
⁵⁵ Fe	NO FE	NO FE
⁵⁹ Ni	3,39E+05	6,63E+05
⁶³ Ni	4,94E+07	9,69E+07
⁹⁰ Sr	3,03E+06	5,93E+06
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	NO FE	NO FE
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	1,38E+02	2,74E+02
²³⁵⁺²³⁶ U	9,39E+00	1,87E+01
²³⁸ U	6,17E+00	1,23E+01
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,12E+03	2,21E+03
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	4,89E+03	9,57E+03
²⁴¹ Pu	2,95E+04	5,54E+04
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	5,65E+02	1,11E+03
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	NO FE	NO FE
⁵⁵ Fe	NO FE	NO FE
⁵⁹ Ni	2,71E+05	5,93E+05
⁶³ Ni	3,94E+07	3,47E+07
⁹⁰ Sr	2,42E+06	8,66E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	NO FE	NO FE
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	5,30E+06
²³⁴ U	1,10E+02	NO FE
²³⁵⁺²³⁶ U	7,50E+00	1,67E+01
²³⁸ U	4,92E+00	1,10E+01
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	8,98E+02	1,98E+03
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	3,90E+03	8,56E+03
²⁴¹ Pu	2,36E+04	4,96E+04
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	4,51E+02	9,88E+02
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

NO FE: fator de escala não determinado.

NO CONC: concentração de atividade não determinada.

Apêndice E: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 13 a 15.

Tambor:	13
Lote:	2003
Conteúdo:	Carvão

Tambor:	14
Lote:	2003
Conteúdo:	Resina

Tambor:	15
Lote:	2003
Conteúdo:	Carvão

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,02E+09
¹³⁷ Cs	2,89E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	2,10E+09
¹³⁷ Cs	1,75E+07

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	7,15E+08
¹³⁷ Cs	6,00E+06

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	8,26E+06	4,05E+06
⁵⁵ Fe	6,54E+07	3,53E+07
⁵⁹ Ni	5,08E+05	2,79E+05
⁶³ Ni	5,65E+07	3,09E+07
⁹⁰ Sr	1,89E+07	1,04E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	5,97E+04	3,27E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	4,06E+03	2,24E+03
²³⁵ U	1,19E+02	6,56E+01
²³⁶ U	1,06E+02	5,84E+01
²³⁸ U	1,90E+03	1,05E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,82E+04	1,00E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	8,30E+04	4,45E+04
²⁴¹ Pu	3,79E+05	2,08E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	2,34E+04	1,29E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	NO FE	NO FE
⁵⁵ Fe	NO FE	NO FE
⁵⁹ Ni	9,35E+05	6,83E+05
⁶³ Ni	8,04E+07	9,98E+07
⁹⁰ Sr	4,94E+06	6,11E+06
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	NO FE	NO FE
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	2,25E+02	2,82E+02
²³⁵⁺²³⁶ U	1,53E+01	1,93E+01
²³⁸ U	1,00E+01	1,26E+01
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,83E+03	2,28E+03
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	7,96E+03	9,85E+03
²⁴¹ Pu	4,81E+04	5,71E+04
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	9,20E+02	1,14E+03
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	5,79E+06	8,40E+06
⁵⁵ Fe	4,58E+07	7,32E+07
⁵⁹ Ni	1,04E+06	5,79E+05
⁶³ Ni	3,96E+07	6,42E+07
⁹⁰ Sr	1,32E+07	2,16E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	4,18E+04	6,78E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	2,84E+03	4,65E+03
²³⁵ U	8,36E+01	1,36E+02
²³⁶ U	7,43E+01	1,21E+02
²³⁸ U	1,33E+03	2,18E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,27E+04	2,08E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	5,82E+04	9,24E+04
²⁴¹ Pu	2,66E+05	4,32E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	1,64E+04	2,67E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

NO FE: fator de escala não determinado.

NO CONC: concentração de atividade não determinada.

Apêndice F: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 16 a 18.

Tambor: 16

Lote: 2003

Conteúdo: Resina

Tambor: 17

Lote: 2003

Conteúdo: Carvão

Tambor: 18

Lote: 2003

Conteúdo: Carvão

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,29E+09
¹³⁷ Cs	1,05E+08

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	6,60E+08
¹³⁷ Cs	2,12E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	7,17E+08
¹³⁷ Cs	2,59E+06

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	NO FE	NO FE
⁵⁵ Fe	NO FE	NO FE
⁵⁹ Ni	3,39E+05	4,10E+06
⁶³ Ni	4,94E+07	5,99E+08
⁹⁰ Sr	3,03E+06	3,67E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	NO FE	NO FE
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	1,38E+02	1,69E+03
²³⁵⁺²³⁶ U	9,39E+00	1,16E+02
²³⁸ U	6,17E+00	7,58E+01
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,12E+03	1,37E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	4,89E+03	5,92E+04
²⁴¹ Pu	2,95E+04	3,43E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	5,65E+02	6,83E+03
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	5,35E+06	2,96E+06
⁵⁵ Fe	4,23E+07	2,58E+07
⁵⁹ Ni	6,36E+05	2,05E+05
⁶³ Ni	3,66E+07	2,27E+07
⁹⁰ Sr	1,22E+07	7,62E+06
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	3,86E+04	2,39E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	2,63E+03	1,64E+03
²³⁵ U	7,72E+01	4,81E+01
²³⁶ U	6,86E+01	4,28E+01
²³⁸ U	1,23E+03	7,69E+02
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,17E+04	7,35E+03
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	5,37E+04	3,26E+04
²⁴¹ Pu	2,46E+05	1,53E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	1,51E+04	9,42E+03
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	5,81E+06	3,62E+06
⁵⁵ Fe	4,60E+07	3,15E+07
⁵⁹ Ni	3,25E+05	2,50E+05
⁶³ Ni	3,97E+07	2,77E+07
⁹⁰ Sr	1,33E+07	9,31E+05
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	4,19E+04	2,92E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	2,85E+03	2,00E+03
²³⁵ U	8,39E+01	5,87E+01
²³⁶ U	7,46E+01	5,22E+01
²³⁸ U	1,33E+03	9,38E+02
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,28E+04	8,97E+03
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	5,84E+04	3,98E+04
²⁴¹ Pu	2,67E+05	1,86E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	1,64E+04	1,15E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

NO FE: fator de escala não determinado.

NO CONC: concentração de atividade não determinada.

Apêndice G: Atividade total por radionuclídeo para os tambores 18 a 21.

Tambor: 19

Lote: 2003

Conteúdo: Carvão

Tambor: 20

Lote: 2003

Conteúdo: Carvão

Tambor: 21

Lote: 2003

Conteúdo: Carvão

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	1,52E+09
¹³⁷ Cs	4,93E+06

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	5,64E+06
¹³⁷ Cs	1,36E+04

RC	Atividades Totais dos RCs (Bq)
⁶⁰ Co	5,04E+08
¹³⁷ Cs	1,84E+06

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	1,23E+07	6,90E+06
⁵⁵ Fe	9,74E+07	6,01E+07
⁵⁹ Ni	3,54E+05	4,76E+05
⁶³ Ni	8,42E+07	5,27E+07
⁹⁰ Sr	2,81E+07	1,77E+07
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	8,89E+04	5,57E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	6,05E+03	3,82E+03
²³⁵ U	1,78E+02	1,12E+02
²³⁶ U	1,58E+02	9,96E+01
²³⁸ U	2,83E+03	1,79E+03
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	2,71E+04	1,71E+04
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,24E+05	7,59E+04
²⁴¹ Pu	5,66E+05	3,55E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	3,48E+04	2,19E+04
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	4,56E+04	1,90E+04
⁵⁵ Fe	3,61E+05	1,66E+05
⁵⁹ Ni	7,50E+05	1,31E+03
⁶³ Ni	3,12E+05	1,46E+05
⁹⁰ Sr	1,04E+05	4,90E+04
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	3,30E+02	1,54E+02
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	2,24E+01	1,05E+01
²³⁵ U	6,59E-01	3,09E-01
²³⁶ U	5,86E-01	2,75E-01
²³⁸ U	1,05E+01	4,94E+00
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	1,00E+02	4,72E+01
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	4,59E+02	2,09E+02
²⁴¹ Pu	2,10E+03	9,81E+02
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	1,29E+02	6,05E+01
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

RDM	Atividade Total utilizando ⁶⁰ Co como RC (Bq)	Atividade Total utilizando ¹³⁷ Cs como RC (Bq)
³ H	NO FE	NO FE
¹⁴ C	4,08E+06	2,57E+06
⁵⁵ Fe	3,23E+07	2,24E+07
⁵⁹ Ni	2,53E+03	1,77E+05
⁶³ Ni	2,79E+07	1,97E+07
⁹⁰ Sr	9,32E+06	6,61E+06
^{99m} Tc	NO CONC	NO CONC
^{108m} Ag	2,95E+04	2,08E+04
¹²⁹ I	NO CONC	NO CONC
¹³⁵ Cs	NO CONC	NO CONC
²³⁴ U	2,01E+03	1,42E+03
²³⁵ U	5,90E+01	4,17E+01
²³⁶ U	5,24E+01	3,71E+01
²³⁸ U	9,37E+02	6,67E+02
²³⁷ Np	NO FE	NO FE
²³⁸ Pu	8,97E+03	6,37E+03
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	4,10E+04	2,83E+04
²⁴¹ Pu	1,87E+05	1,32E+05
²⁴² Pu	NO FE	NO FE
²⁴¹ Am	1,15E+04	8,17E+03
²⁴³ Am	NO FE	NO FE
²⁴² Cm	NO FE	NO FE
²⁴³ Cm	NO FE	NO FE
²⁴⁴ Cm	NO FE	NO FE

NO FE: fator de escala não determinado.

NO CONC: concentração de atividade não determinada.

Referências.

[1] TADDEI, Maria Helena Tirollo. Determinação de fatores de escala para estimativa do inventário de radionuclídeos em rejeitos de média e baixa atividades do reator IEA-R1. Tese de doutorado orientada pelo Prof. Dr. Luís Antônio Albiac Terremoto, publicada em 2013.

Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-25112013-155403/pt-br.php>

[2] SOUZA, Daiane Cristini Barbosa de. Desenvolvimento de método para caracterização de embalados de rejeitos radioativos. Tese de mestrado orientada pelo Prof. Dr. Roberto Vicente, publicada em 2013.

Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-24102013-150643/pt-br.php>

[3] Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas. Norma CNEN NE 6.05, Dezembro/1985.

Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm605.pdf>

[4] Gerência de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação. Norma CNEN NN 8.01, Abril / 2014.

Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm801.pdf>

[5] Okuno, E.; Yoshimura, E. M. Física das Radiações, 1ª ed., Oficina de Textos, 2010.

[6] Hiromoto, G.; Dellamano, J. C.; Marumo, J. T.; Endo, L. S.; Vicente, R.; Hirayama, T. Introdução à Gerência de Rejeitos Radioativos. Notas, Gerência de Rejeitos Radioativos (GRR), Ipen, 1999.