



Unidade de Protecção e Segurança Radiológica

Relatório UPSR-A, nº33/09

Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2008)

Investigadores:

Maria José Madruga
Fernando Carvalho
Mário Reis
João Alves
José Corisco
Romão Trindade
Nuno Pinhão

Bolseiros:

Ana Rita Gomes
Gonçalo Carvalhal
Heloísa Fonseca
João Melo
Miguel Pereira
Alfredo Batista

Técnicos:

João Maria Oliveira
Albertina Libânio
Anabela Mourato
Gabriel Silva
Luís Portugal
Luís Santos

Avençados:

Irene Lopes
João Abrantes
Lídia Silva
Lubélia Torres
Margarida Malta

Novembro 2009

Unidade de Protecção e Segurança Radiológica

Coordenador: Pedro Vaz

Endereço: Estrada Nacional 10, 2686-953 Sacavém, Portugal

Telefone: +351 - 21 9946000

Fax: +351 - 21 9941995

e-mail: dprsn.secretariado@itn.pt

Pág. web <http://www.itn.pt>

Ficha Técnica

Título	Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2008)
Autoria	<i>M.J. Madruga, F. Carvalho, M. Reis, J. Alves, J. Corisco, R. Trindade, N. Pinhão J.M. Oliveira, A. Libânio, A. Mourato, G. Silva, L. Portugal, L. Santos I. Lopes, L. Silva, J. Abrantes, L. Torres, M. Malta A.R. Gomes, G. Carvalhal, H. Fonseca, J. Melo, M. Pereira, A. Batista</i>
Edição	Instituto Tecnológico e Nuclear Unidade de Protecção e Segurança Radiológica
Tiragem	60 exemplares
ISBN	978-989-96542-0-4
Depósito Legal	194022/03
Data da Edição	Novembro 2009
	© Copyright 2009, ITN

ÍNDICE

<i>Resumo</i>	3
<i>Abstract</i>	3
PREÂMBULO	5
I. PROGRAMA A NÍVEL NACIONAL	
I.1 INTRODUÇÃO	9
I.2 RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA	14
I.2.1 Aerossóis	14
I.2.1.1 <i>Material e Métodos</i>	14
I.2.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	15
I.2.2 Deposição Atmosférica	17
I.2.2.1 <i>Material e Métodos</i>	17
I.2.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	18
I.3 RADIOACTIVIDADE NO MEIO AQUÁTICO	25
I.3.1 Rios	25
I.3.1.1 <i>Material e Métodos</i>	25
Águas	26
Sedimentos	26
Peixes	26
I.3.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	26
Águas	26
Sedimentos	40
Peixes	49
I.3.2 Mar	50
I.3.2.1 <i>Material e Métodos</i>	50
I.3.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	50
I.4 RADIOACTIVIDADE EM ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	53
I.4.1 <i>Material e Métodos</i>	53
I.4.2 <i>Resultados e Discussão</i>	53
I.5 RADIOACTIVIDADE EM COMPONENTES DA CADEIA ALIMENTAR	57
I.5.1 <i>Material e Métodos</i>	57
Componentes Individuais e Refeição Completa	57
Leite	57
I.5.2 <i>Resultados e Discussão</i>	58
Componentes Individuais e Refeição Completa	58
Leite	63
I.6 RADIOACTIVIDADE EM SOLOS	67
I.6.1 <i>Material e Métodos</i>	67
I.6.2 <i>Resultados e Discussão</i>	67
I.7 DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL	71
I.7.1 <i>Material e Métodos</i>	71
I.7.2 <i>Resultados e Discussão</i>	72
I.8 CONCLUSÕES	74
AGRADECIMENTOS	75
REFERÊNCIAS	76

II. PROGRAMA ESPECÍFICO PARA O CAMPUS DO ITN (SACAVÉM)	
II.1 INTRODUÇÃO	83
II.2 RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA	85
II.2.1 Aerossóis	85
II.2.1.1 <i>Material e Métodos</i>	85
II.2.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	85
II.2.2 Deposição Atmosférica	88
II.2.2.1 <i>Material e Métodos</i>	88
II.2.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	88
II.3 RADIOACTIVIDADE EM SOLOS	92
II.3.1 <i>Material e Métodos</i>	92
II.3.2 <i>Resultados e Discussão</i>	92
II.4 DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL	95
II.4.1 <i>Detectores Activos</i>	95
II.4.1.1 <i>Material e Métodos</i>	95
II.4.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	95
II.4.2 <i>Detectores Passivos</i>	96
II.4.2.1 <i>Material e Métodos</i>	96
II.4.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	98
II.5 MONITORIZAÇÃO NA FONTE	101
II.5.2 <i>Descargas líquidas</i>	101
II.6 CONCLUSÕES	102
REFERÊNCIAS	103
III. PROGRAMA ESPECÍFICO PARA AS REGIÕES DAS MINAS DE URÂNIO	
III.1 OBJECTIVOS	107
III.1.1 <i>Introdução</i>	107
III.1.2 <i>Plano de monitorização de 2008</i>	108
III.2 MATERIAIS E MÉTODOS	111
III.2.1 <i>Amostragem</i>	111
III.2.2 <i>Preparação e análise de amostras</i>	111
III.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	112
III.4 CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS	141
ANEXO (Avaliação da Qualidade Analítica)	143

PROGRAMAS DE MONITORIZAÇÃO RADIOLÓGICA AMBIENTAL (ANO 2008)

Resumo

A vigilância radiológica do ambiente em Portugal é uma das obrigações legais do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) e dá cumprimento às recomendações estipulado no Artigo 35 do Tratado EURATOM. A vigilância radiológica ambiental, definida de acordo com as especificidades do país, foi realizada através de três programas de monitorização, um a nível nacional, e dois mais específicos sendo um direccionado para o *Campus* do ITN (Sacavém) e outro para as regiões envolventes às minas de urânio. O objectivo destes programas consiste na determinação de radionuclídeos artificiais e naturais em compartimentos ambientais (atmosférico, aquático e terrestre) considerados vias directas de contaminação para o Homem. Neste contexto, analisaram-se amostras de aerossóis e de água da chuva, amostras de águas de superfície, de sedimentos, de peixes e de plantas aquáticas, provenientes das principais bacias hidrográficas, amostras de águas de consumo, produtos alimentares, refeições completas, leite e solos. Realizaram-se também medições continuadas da dose de radiação gama ambiental usando sondas gama (detectores activos) e dosímetros integradores termoluminescentes (detectores passivos). A actividade dos radionuclídeos artificiais e naturais foi determinada usando os métodos de medição por espectrometria gama, espectrometria alfa, medição alfa/beta total com contador proporcional e medição beta por cintilação líquida. As concentrações observadas para os radionuclídeos de origem artificial (^{137}Cs , ^{90}Sr e ^3H) são muito baixas e, situam-se frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável, com excepção do rio Tejo onde os valores em ^3H são superiores ao valor normal do fundo radioactivo mas, sem significado do ponto de vista dos efeitos radiológicos. Os resultados obtidos para os radionuclídeos de origem natural (^{40}K e elementos das séries radioactivas do Urânio e Tório) são da ordem de grandeza do fundo radioactivo natural exceptuando alguns solos e escombros das zonas mineiras. Pode concluir-se que a população portuguesa residente não esteve exposta a níveis de radioactividade significativamente mais elevados do que o do fundo radioactivo natural, não sendo necessário recomendar qualquer medida de protecção radiológica.

Palavras Chave: vigilância radiológica, meio atmosférico, meio aquático, meio terrestre

Abstract

Surveillance of environmental radioactivity in Portugal is one of the official obligations of the Nuclear and Technological Institute (ITN) and accomplish the community recommendations in the framework of the Article 35 of the EURATOM Treaty. The environmental radioactivity surveillance, defined according to the country specifications, was performed through three monitoring programmes, one at a national level and two others more detailed, one devoted to the ITN *Campus* (Sacavém) and the other to the regions surrounding the past uranium mines. The main objective of these programmes consists of measuring artificial and natural radionuclides in environmental compartments (atmospheric, aquatic and terrestrial environments) considered as direct pathways of contamination to humans. Samples of aerosols, rainwater, surface water, sediments, fish, aquatic plants, drinking water, mixed diet, complete meals, milk and soils were analyzed. Automatic dose rate monitoring (active detectors) and integrated measurements of the ambient dose equivalent with thermoluminescent dosimeters (passive dosimeters) were also performed.

The activity of the artificial and natural radionuclides was determined using gamma spectrometry, alpha spectrometry, alpha/beta measurements with proportional counter and beta measurement by liquid scintillation. Results show that the concentrations of the artificial radionuclides (^{137}Cs , ^{90}Sr and ^3H) are, in general very low and, in most cases, below the minimum detectable activity, with exception of samples from the Tejo River, where the tritium values are higher than normal background but without radiological significance. The results for natural radioactivity (^{40}K , Uranium and Thorium radioactive series) are of the same order as the magnitude of the radioactive background, with exception of soils and mining wastes from the mining regions. It can be conclude that the Portuguese population has not been exposed to radioactivity levels higher than the natural radioactive background. Therefore, there is no need to recommend any radiological protection measure.

Key Words: radiological assessment, atmospheric environment, aquatic environment, terrestrial environment

PREÂMBULO

O Artigo 35 do Tratado da EURATOM estabelece que os Estados-Membros “...deverão providenciar pela criação das instalações necessárias para efectuar o controlo permanente do grau de radioactividade da atmosfera, das águas e do solo, bem como o controlo do cumprimento das normas de base...” e, nos termos do Artigo 36, “ as informações relativas aos controlos referidos no Artigo 35 serão comunicadas regularmente pelas autoridades competentes à Comissão, a fim de que esta seja mantida ao corrente do grau de radioactividade susceptível de exercer influência sobre a população”.

Neste sentido, cada Estado Membro deverá comunicar anualmente através do Sistema de Submissão de Dados (REM Data Submission) acessível on-line, para o Joint Research Centre (JRC) em Ispra (Itália), onde está sediada a base de dados europeia “Radioactivity Environmental Monitoring (REM)”, os resultados do seu programa de monitorização ambiental. Esses dados podem ser consultados no site do JRC utilizando o software GERDA.

O Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), através da Unidade de Protecção e Segurança Radiológica (UPSR) procedeu, ao longo dos anos, à monitorização radiológica ambiental dando cumprimento ao estipulado nos Artigos 35 e 36.

Em 2005, após a publicação do Dec-Lei 138/2005 de 17 de Agosto que estabelece o sistema de monitorização ambiental em Portugal a responsabilidade da sua execução foi legalmente atribuída ao ITN.

Neste relatório apresentam-se os resultados dos três programas (o programa a nível nacional, e os programas específicos para o Campus do ITN e para as regiões envolventes às antigas minas de urânio) de monitorização radiológica ambiental em Portugal Continental e nas regiões autónomas referentes ao ano de 2008.

O principal objectivo destes programas consiste na medição contínua e periódica de radionuclídeos críticos, existentes nos componentes ambientais (ar, água, solos, etc.) e em produtos da cadeia alimentar. Estes componentes são considerados as vias directas de transferência nos vários meios, atmosférico, aquático e terrestre e em última análise, na transferência da contaminação radioactiva para o Homem. Estes programas foram delineados de modo a assegurar o acompanhamento da exposição efectiva da população portuguesa à radioactividade.

I. PROGRAMA A NÍVEL NACIONAL

Investigadores

Maria José Madruga
Fernando Carvalho
Mário Reis
João Alves
José Corisco
Nuno Pinhão

Bolseiros

Ana Rita Gomes
Gonçalo Carvalhal
Heloísa Fonseca
João Melo
Miguel Pereira

Técnicos

João Maria Oliveira
Albertina Libânio
Anabela Mourato
Gabriel Silva
Luis Santos

Avençados

Irene Lopes
João Abrantes
Lídia Silva
Lubélia Torres
Margarida Malta

I. 1 INTRODUÇÃO

O sistema de monitorização radiológica ambiental a nível nacional, em curso no ITN/UPSR, consiste de duas redes complementares, a rede dispersa e a rede densa. Para a rede dispersa seleccionou-se um número limitado de locais de amostragem, os quais são constantes ao longo dos anos, onde as medições são normalmente realizadas com maior grau de sensibilidade e a frequência da amostragem é mensal permitindo seguir a evolução da concentração dos radionuclidos ao longo dos meses e dos anos. A rede densa é composta por um maior número de locais de amostragem, que podem variar ao longo dos anos, cobrindo todo o território sendo a frequência de amostragem trimestral, semestral ou anual. A selecção dos pontos de amostragem teve em consideração as especificidades do país. Apresentam-se em seguida alguns casos concretos.

Devido à existência de centrais nucleares no rio Tejo em Espanha, principalmente a Central Nuclear de Almaraz que está localizada a cerca de 100 km da fronteira portuguesa, definiu-se para este rio, um programa de monitorização mais detalhado, que inclui um maior número de locais e maior frequência de amostragem, outros tipos de amostras (sedimentos, peixes, plantas aquáticas) e de análises. Na rede dispersa seleccionou-se Vila Velha de Ródão como local de amostragem representativo para águas de superfície, por ser o local no rio Tejo mais próximo da fronteira com Espanha.

Relativamente aos locais de amostragem para o leite seleccionaram-se, na rede dispersa a região norte de Portugal por ser a região onde se concentra a maior produção leiteira e a região de Portalegre por se situar junto à fronteira com Espanha e próximo da Central Nuclear de Almaraz. As amostras de dieta mista podem ser constituídas por refeições completas ou por componentes individualizados. Na rede dispersa, seleccionou-se como tipo de amostra a refeição completa por ser mais representativa da dieta mista e como local de amostragem uma cantina universitária de Lisboa onde é consumido um número elevado de refeições. Na rede densa, consideraram-se só os componentes individuais e os locais de amostragem foram seleccionados de modo a abrangerem todo o país, com alguns locais específicos, em pontos mais críticos, designadamente junto à fronteira com Espanha.

A avaliação da radioactividade em água para consumo humano é muito importante por esta constituir um bem vital para o Homem, podendo a ingestão de água vir a tornar-se uma via crítica, após um acidente nuclear e/ou em regiões de elevado fundo radiológico. Para a água para consumo humano seleccionaram-se como pontos de amostragem representativos, na rede dispersa, a barragem de Castelo de Bode (Rio Zêzere), uma das maiores captações de água em Portugal, e Lisboa, devido ao elevado número de consumidores.

A avaliação da radioactividade no meio marinho é efectuada através da análise de radionuclidos de origem natural (séries radioactivas do Urânio, Tório e Actínio e o ^{40}K) e artificial (principalmente ^{137}Cs , ^{238}Pu e $^{239+240}\text{Pu}$ resultantes das explosões nucleares) em bivalves (mexilhões) e plantas aquáticas (algas), considerados indicadores biológicos de contaminação radioactiva, recolhidos anualmente em vários locais (rede densa) ao longo da costa marítima portuguesa.

Relativamente à radioactividade na atmosfera, determinada através das partículas em suspensão no ar (aerossóis), seleccionou-se o *Campus* do ITN em Sacavém como o local de amostragem na rede dispersa. A deposição atmosférica foi controlada através da medição da radioactividade em água da chuva, com dois locais de amostragem o *Campus* do ITN em Sacavém e Castelo Branco (local sujeito à influência da Central Nuclear de Almaraz), e em solos (rede densa).

Procedeu-se ainda à avaliação da dose de radiação gama ambiental (detectores passivos) ao longo do país. Os locais de amostragem foram seleccionados de forma a ser possível monitorizar as regiões mais densamente habitadas, Lisboa (pontos do *Campus* do ITN) e Porto (Vila Nova de Gaia), bem como a região correspondente ao eixo Bragança, Penhas Douradas, Castelo Branco e Portalegre. Escolheram-se também o Funchal e Ponta Delgada como locais representativos das Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, respectivamente.

Nas Figuras I.1 e I.2 estão representados os locais de amostragem e o tipo de amostras para as redes dispersa e densa respectivamente.

Nas Figuras I.3 e I.4 estão representados graficamente o tipo de amostras e de análises e as respectivas percentagens referentes ao ano de 2008.

Os resultados são apresentados com uma incerteza de 95% (2σ) para a medição de actividade por espectrometria gama e alfa e com uma incerteza de 68% (1σ) para a medição alfa/beta total com contadores proporcionais e medição beta por cintilação líquida. Quando os valores obtidos para um dado radionuclido ou para as contagens totais (alfa/beta) são suficientemente baixos em comparação com o valor do fundo, de forma a não permitirem uma identificação inequívoca (i.e. com um grau de confiança de 95%), é indicado como seu majorante o valor da actividade mínima detectável (MDA). Este valor (MDA) depende do valor de fundo, das condições de contagem (tempo de contagem, matriz e geometria da amostra) e do rendimento químico da análise.

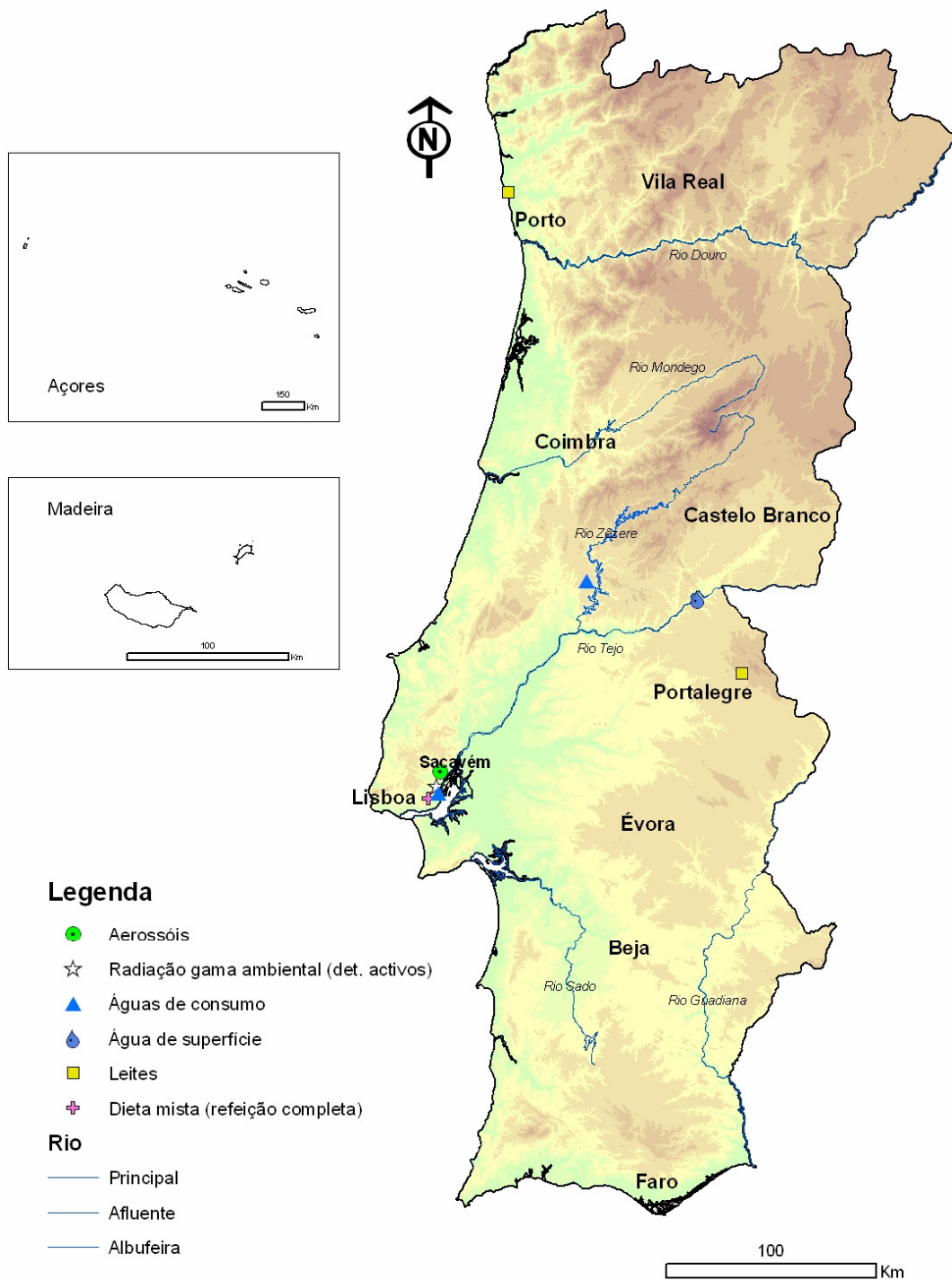


Figura I.1- Locais de amostragem e tipo de amostras analisadas na rede dispersa

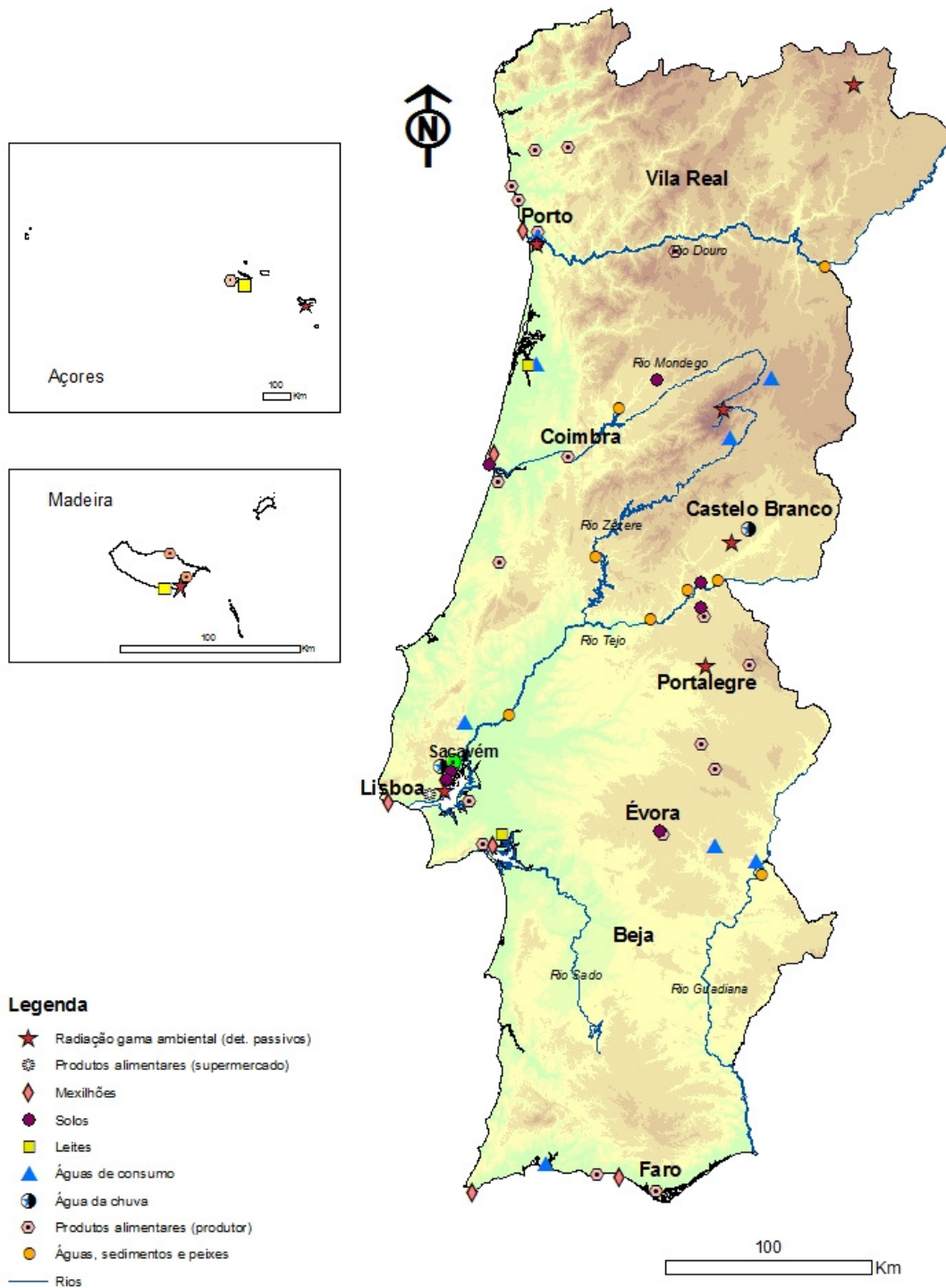


Figura I.2- Locais de amostragem e tipo de amostras analisadas na rede densa

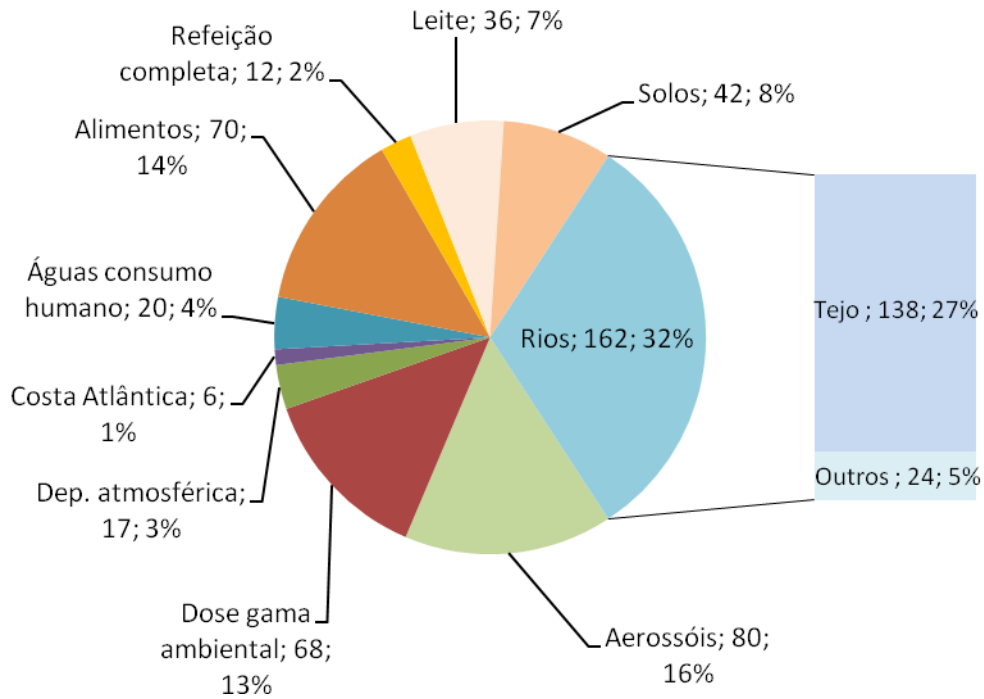


Figura I.3-Tipo, número de amostras analisadas e respectiva percentagem

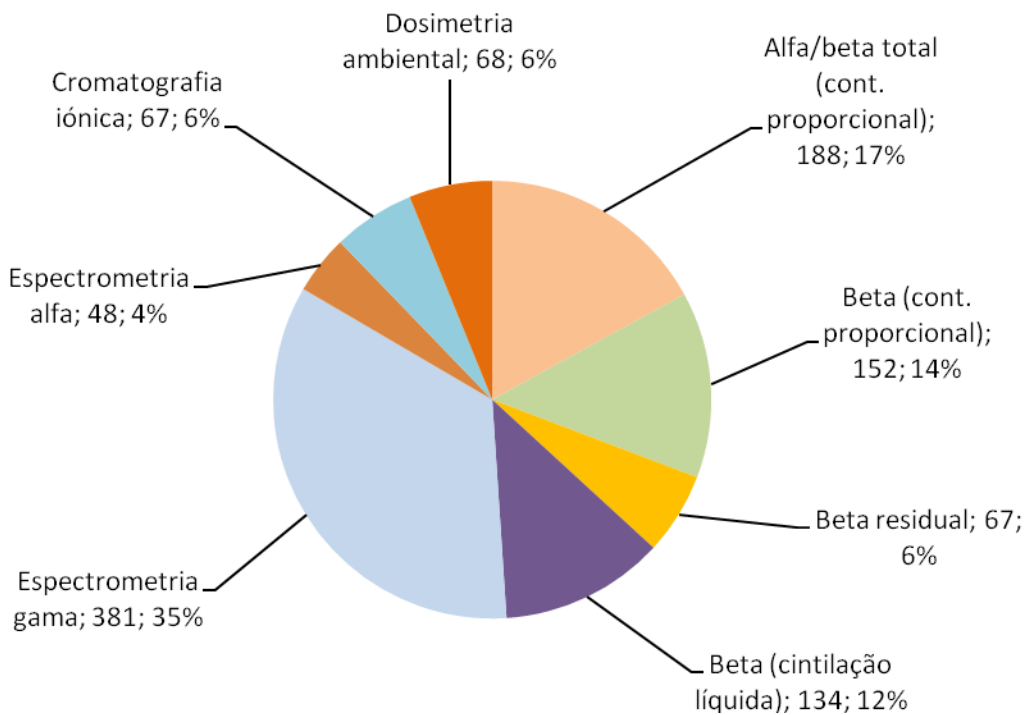


Figura I.4- Número de análises e respectiva percentagem por técnica de medição

I. 2 RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA

I.2.1 Aerossóis

A radioactividade existente na atmosfera pode ter origem natural ou artificial e resulta, basicamente, de três fontes principais: i) exalação para a atmosfera de ^{222}Rn e ^{220}Rn , formados através da desintegração radioactiva do ^{226}Ra e do ^{224}Ra (constituintes naturais de solos e rochas) pertencentes às séries radioactivas naturais do Urânio e do Tório, respectivamente. Um bom exemplo é o da ocorrência do ^{210}Pb , descendente de longo período de semi-desintegração do ^{222}Rn ; ii) formação de radionuclidos cosmogénicos, como por exemplo o ^7Be , através da interacção da radiação cósmica com gases atmosféricos como o carbono, o azoto e o oxigénio; iii) radionuclidos artificiais, produtos de cisão e activação, resultantes de actividades antropogénicas (testes nucleares, produção de energia eléctrica por via nuclear, produção de radioisótopos e acidentes). O radionuclido artificial ^{137}Cs , devido ao seu longo período de semi-desintegração, constitui um bom indicador de eventual contaminação radioactiva.

Independentemente da sua origem, os isótopos radioactivos podem ocorrer na atmosfera na forma gasosa ou particulada (associados ao aerossol atmosférico). Em geral, a forma particulada é a que assume maior significado de risco radiológico, uma vez que essas partículas através dos processos de transporte e deposição atmosférica interagem com a biosfera.

I.2.1.1 Material e Métodos

A avaliação da radioactividade atmosférica no ar de superfície em Portugal foi efectuada através da amostragem contínua de aerossóis, recorrendo a uma estação fixa do tipo ASS-500, instalada no Campus do ITN em Sacavém (Figura I.1). A estação está equipada com uma bomba de sucção de alto volume, com uma cabeça de aspiração de grandes dimensões e um medidor contínuo de fluxo, com totalizador de volume de ar filtrado. Os períodos de amostragem têm a duração de uma semana, o que corresponde, em geral, a volumes médios de ar filtrado de $10^5 \text{ m}^3/\text{semana}$. Como substrato de recolha foram utilizados filtros Petrianov tipo FPP-15-1.5 de $44 \times 44 \text{ cm}^2$. Após cada período de amostragem os filtros são comprimidos através de uma prensa hidráulica (MATRA, GmbH), de forma a obter amostras de geometria cilíndrica (5 cm de diâmetro e 1 cm de espessura), sendo posteriormente analisadas por espectrometria γ em detector de Ge hiperpuro (BEGE, com 50% de eficiência relativa em 1332 keV). Os espectros resultantes são analisados com o *software* Genie 2000 (Canberra). Os sistemas foram calibrados com fontes padrão da Analytics, contendo uma mistura de radionuclidos (^{210}Pb , ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{88}Y , ^{60}Co) que abrange toda a gama de energias de interesse. As fontes têm geometrias idênticas às das amostras a analisar.

1.2.1.2 Resultados e Discussão

Na Tabela I.1 apresentam-se os valores de concentração médios mensais e anuais para os radionuclídeos detectados em aerossóis e ainda as concentrações médias mensais de partículas totais em suspensão (PTS). Na Figura I.5 representam-se graficamente esses valores.

A concentração média mensal de partículas totais em suspensão variou entre $27 \mu\text{g m}^{-3}$ (em Dezembro) e $53 \mu\text{g m}^{-3}$ (em Fevereiro).

A concentração de actividade média mensal em ${}^7\text{Be}$ variou entre $2,1\pm 0,1$ e $4,2\pm 0,2$ mBq m^{-3} , apresentando um valor médio anual de $3,4\pm 0,7$ mBq m^{-3} . Estes valores são consistentes com a gama de concentrações referida por outros autores para diferentes locais (D. Todorovic *et al.*, 2005; Calvo *et al.*, 2005; Jasiulionis & Wershofen, 2005; Hernandez *et al.*, 2007; Heinrich *et al.*, 2007; Vallés *et al.*, 2009). As concentrações mais elevadas de ${}^7\text{Be}$ ocorreram nos meses de Fevereiro, Agosto e Outubro (Figura I.5), não se notando, comparativamente a anos anteriores, uma tendência sazonal tão marcada, em que os valores mais elevados ocorreram na Primavera e Outono (Reis *et al.*, 2006; Fonseca & Reis, 2006).

Relativamente à actividade em ${}^{137}\text{Cs}$ em partículas de aerossol, registaram-se valores para os meses de Janeiro ($0,9\pm 0,3 \mu\text{Bq m}^{-3}$), Fevereiro ($0,8\pm 0,5 \mu\text{Bq m}^{-3}$), Julho ($0,2\pm 0,1 \mu\text{Bq m}^{-3}$) e Outubro ($0,3\pm 0,1 \mu\text{Bq m}^{-3}$). Nos restantes meses do ano a concentração de actividade em ${}^{137}\text{Cs}$ foi inferior à actividade mínima detectável (Tabela I.1).

No caso do ${}^{210}\text{Pb}$, a concentração da sua actividade média mensal variou entre $0,17\pm 0,01 \text{mBq m}^{-3}$ e $0,62\pm 0,04 \text{mBq m}^{-3}$, com um valor médio anual de $0,35\pm 0,14 \text{mBq m}^{-3}$, valores que se situam dentro da gama de valores registados em anos anteriores.

Tendo por base as recomendações da Comissão Internacional de Protecção Radiológica (ICRP, 1996), aplicáveis a membros do público cujo modo de vida e metabolismo correspondem a uma população média, estimou-se a dose de radiação devida à inalação de ${}^{137}\text{Cs}$ durante o ano de 2008. Numa perspectiva conservativa, considerou-se para o efeito o valor mais elevado de concentração de actividade (acima da actividade mínima detectável) obtido durante o ano ($0,9\pm 0,3 \mu\text{Bq m}^{-3}$). Utilizou-se o respectivo factor de dose de $4,6\times 10^{-9}$ Sv Bq^{-1} (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996), aplicável a um adulto médio para a categoria de membro do público e uma taxa de respiração média de $8030 \text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ (EUR 20765-EN, 2005). O valor assim estimado para a dose efectiva resultante da inalação de ${}^{137}\text{Cs}$ é de $0,03 \text{nSv ano}^{-1}$. Este valor, que pela metodologia seguida está sobrestimado, é da mesma ordem de grandeza do obtido para anos anteriores (Madruga *et al.*, 2006, 2007 & 2008).

Tabela I.1- Valores de concentração de actividade (médias mensais $\pm 2\sigma$) em aerossóis recolhidos no Campus do ITN em Sacavém. PTS é a concentração média mensal das partículas totais em suspensão

Data de colheita	^7Be (mBq m^{-3})	^{137}Cs ($\mu\text{Bq m}^{-3}$)	^{210}Pb (mBq m^{-3})	PTS ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Janeiro	$2,1 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,3$ (b)	$0,41 \pm 0,03$	49
Fevereiro	$4,0 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,5$ (b)	$0,62 \pm 0,04$	53
Março	$3,5 \pm 0,2$	< 0,3 (a)	$0,26 \pm 0,02$	38
Abril	$3,6 \pm 0,2$	< 0,4 (a)	$0,32 \pm 0,05$	41
Maio	$3,9 \pm 0,2$	< 0,3 (a)	$0,24 \pm 0,02$	33
Junho	$3,6 \pm 0,2$	< 0,2 (a)	$0,24 \pm 0,02$	32
Julho	$3,8 \pm 0,2$	$0,2 \pm 0,1$ (b)	$0,33 \pm 0,02$	42
Agosto	$4,0 \pm 0,3$	< 0,4 (a)	$0,22 \pm 0,01$	40
Setembro	$3,9 \pm 0,2$	< 0,2 (a)	$0,52 \pm 0,04$	38
Outubro	$4,2 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,1$ (b)	$0,47 \pm 0,03$	43
Novembro	$2,4 \pm 0,1$	< 0,3 (a)	$0,37 \pm 0,02$	38
Dezembro	$2,3 \pm 0,1$	< 0,2 (a)	$0,17 \pm 0,01$	27
Média $\pm \sigma$ (n=12)	$3,4 \pm 0,7$	-	$0,35 \pm 0,14$	39 ± 7

(a) Actividade mínima detectável em ^{137}Cs ; (b) O valor reportado corresponde ao único valor obtido para o respectivo mês e não à média mensal.

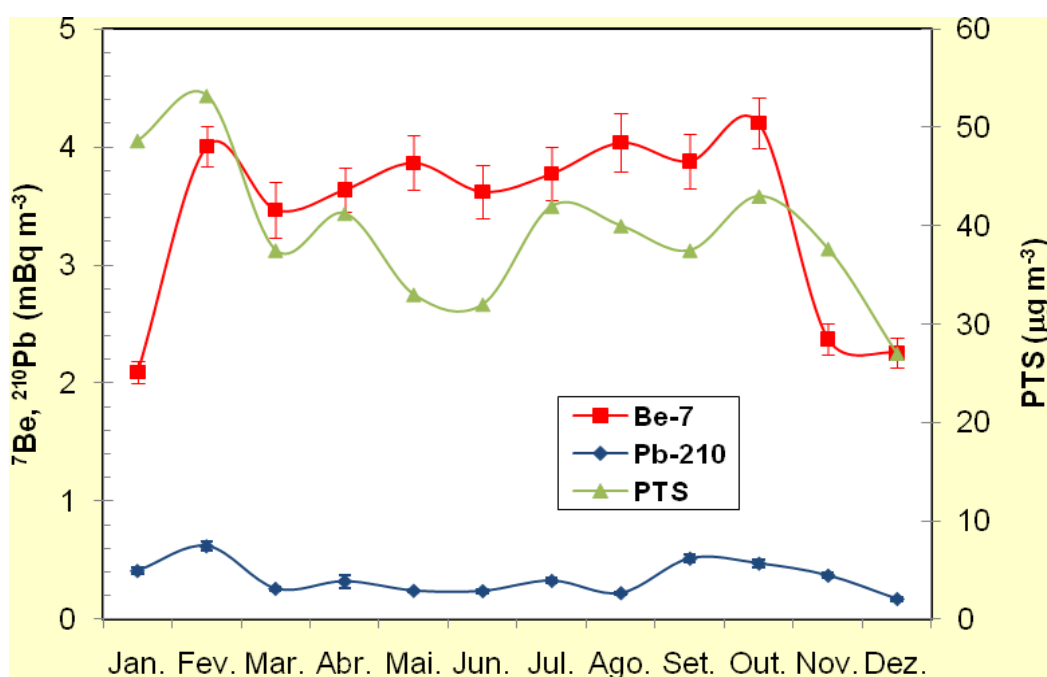


Figura I.5 - Evolução da concentração de actividade em ^7Be e ^{210}Pb (mBq m^{-3}) e da concentração de partículas em suspensão ($\mu\text{g m}^{-3}$) em aerossóis recolhidos no Campus do ITN em Sacavém

I.2.2. Deposição Atmosférica

I.2.2.1 Material e Métodos

As amostras de água da chuva, correspondentes a um período de amostragem de 30 dias, foram recolhidas na Estação Meteorológica de Castelo Branco e no Campus do ITN, em Sacavém (Figura I.2). O dispositivo de recolha da amostra é constituído por um colector de deposição atmosférica total, em tronco de pirâmide quadrangular, com 1 m² de secção.

Da amostra recolhida, 1 litro é utilizado para a determinação do trítio (³H), 1 litro para a determinação da actividade beta total na matéria em suspensão ($\varnothing > 0,45\mu\text{m}$), 3 a 5 litros para a determinação da actividade alfa/beta total na matéria dissolvida ($\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$) e, num máximo de 30 litros concentrados a 1 litro (por evaporação em placa eléctrica) para a determinação dos radionuclídeos emissores gama e, posteriormente para a determinação da concentração em ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr por medição beta.

Para a análise por espectrometria gama foi usada a geometria “Marinelli” e detectores de germânio hiperpuro (GeHp), acoplados a sistemas de aquisição de dados Multiport II (Canberra). Os dados foram processados usando o *software* Genie 2000 (Canberra). Os sistemas foram calibrados com fontes padrão da Analytics, contendo uma mistura de radionuclídeos (²¹⁰Pb, ²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ⁵¹Cr, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁸⁸Y, ⁶⁰Co) que abrange toda a gama de energias de interesse. As fontes foram preparadas com geometrias idênticas às das amostras a analisar.

As metodologias seguidas para a determinação das actividades alfa e beta total foram as das Normas Portuguesas NP 4332 (1996) e NP 4330 (1996) respectivamente. A medição de radioactividade alfa e beta total é feita em simultâneo num sistema de contagem α/β munido de detectores proporcionais de fluxo gasoso (TENNELEC, Canberra), previamente calibrado com padrões alfa (²⁴¹Am) e beta (⁴⁰K).

A determinação da radioactividade em ³H, ⁹⁰Sr e ¹³⁷Cs foi efectuada recorrendo a análises específicas.

A metodologia seguida para a determinação da radioactividade devida ao ³H esteve de acordo com a Norma Portuguesa NP 4362 (1997), com enriquecimento isotópico. Partindo de 1 litro de água, não acidificada, procedeu-se a uma purificação, por destilação, e ao enriquecimento isotópico, por electrólise em corrente contínua, seguido de nova destilação, sendo as amostras posteriormente medidas num espectrómetro de cintilação líquida (LS 6500, Beckman) (Madruga *et al.*, 2009b).

Para o ⁹⁰Sr e ¹³⁷Cs foram utilizadas técnicas radioquímicas baseadas em separações e purificações sucessivas, fixando-se o ⁹⁰Sr numa resina específica da EICHRON e o ¹³⁷Cs em fosfomolibdato de amónio. As amostras foram medidas no sistema de detecção beta de baixo

fundo utilizando detectores proporcionais de fluxo (HT1000, Canberra) devidamente calibrados para cada um destes isótopos com fontes padrão, preparadas na mesma forma química e com a mesma geometria das amostras a analisar.

1.2.2.2 Resultados e Discussão

Nas Tabelas I.2 e I.3 apresentam-se os valores de actividade específica, A , dos diferentes radionuclídeos analisados em amostras de água da chuva recolhidas em Sacavém (*campus* do ITN) e em Castelo Branco (estação meteorológica da rede de estações do Instituto de Meteorologia).

Nas Tabelas I.4 e I.5 apresentam-se os fluxos mensais de deposição atmosférica para Sacavém e Castelo Branco, respectivamente. Os valores de precipitação apresentados nas referidas Tabelas foram obtidos no Website do Instituto de Meteorologia, no caso de Castelo Branco, e através de uma estação meteorológica EMA instalada no *campus* do ITN, no caso de Sacavém.

Os fluxos mensais foram obtidos multiplicando a actividade específica, em Bq L^{-1} , pela precipitação acumulada mensalmente, em mm, e correspondem a valores de deposição total (por via húmida e seca), uma vez que os colectores se encontram expostos durante a totalidade do período de amostragem, mesmo na ausência de precipitação. Nas Figuras I.6 e I.7 representam-se graficamente os valores dos fluxos mensais de deposição em actividade alfa e beta totais, ${}^7\text{Be}$ e ${}^3\text{H}$, bem como os valores de precipitação em Sacavém e Castelo Branco, respectivamente.

A precipitação acumulada ao longo do ano de 2008 em Sacavém (1268 mm) é cerca do dobro da precipitação acumulada na estação de Castelo Branco (571 mm). Os fluxos de deposição de ${}^7\text{Be}$ (59 Bq m^{-2}) e de ${}^3\text{H}$ (1055 Bq m^{-2}) são superiores em Castelo Branco, comparativamente aos valores obtidos para Sacavém (33 Bq m^{-2} e 140 Bq m^{-2} , respectivamente). Ressalva-se, contudo, o facto de grande parte das actividades específicas obtidas nas amostras de água da chuva em Castelo Branco e em Sacavém serem inferiores à actividade mínima detectável, pelo que a comparação dos valores de deposição anual entre as duas estações deverá ser encarada como meramente indicativa. Um comportamento contrário, embora menos expressivo, verifica-se relativamente aos fluxos de deposição de actividade alfa total (13 Bq m^{-2} em Castelo Branco e 24 Bq m^{-2} em Sacavém) e actividade beta total (22 Bq m^{-2} em Castelo Branco e 27 Bq m^{-2} em Sacavém).

É de referir que, contrariamente ao reportado por outros autores (Du *et al.*, 2008; Zhu & Olsen, 2009), não foi possível detectar um expectável padrão de sazonalidade nos fluxos de deposição de ${}^7\text{Be}$, com valores máximos durante a Primavera, o que estará certamente relacionado, por um lado, com o facto de grande parte dos nossos resultados se encontrarem

abaixo da actividade mínima detectável, por outro, com o facto da concentração da actividade média mensal em ^7Be nas partículas de aerossol não apresentar uma significativa variação sazonal (ver Tabela I.1). Em termos comparativos, os fluxos de deposição obtidos para o ^7Be são consideravelmente inferiores (cerca de duas ordens de grandeza) aos referidos por outros autores (Ioannidou & Papastefanou, 2006; Du *et al.*, 2008; Zhu & Olsen, 2009).

Tabela I.2 - Valores de actividade específica, A (Bq L⁻¹), de radionuclidos artificiais e naturais em água da chuva colhida em Sacavém (ITN). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o ⁷Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.

Data de Colheita	³ H	Água filtrada Ø ≤ 0,45 µm					Partículas em suspensão Ø > 0,45 µm
		⁷ Be	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
Janeiro	< 0,8 (a)	< 0,03	< 2,0 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,018 ± 0,001	0,015 ± 0,002	< 0,014 (d)
Fevereiro	< 0,8 (a)	< 0,2	< 1,2 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,030 ± 0,002	0,029 ± 0,002	< 0,014 (d)
Março	< 0,8 (a)	< 0,1	< 1,8 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,010 ± 0,001	0,003 ± 0,001	< 0,014 (d)
Abril	< 0,8 (a)	< 0,07	(g)	(g)	0,025 ± 0,001	0,005 ± 0,001	< 0,014 (d)
Maió	1,1 ± 0,6	0,11 ± 0,06	< 1,5 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,015 ± 0,001	0,027 ± 0,002	0,018 ± 0,005
Junho	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Julho	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Agosto	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Setembro	1,8 ± 0,6	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Outubro	< 0,8 (a)	< 0,05	< 1,1 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,021 ± 0,001	0,021 ± 0,002	0,026 ± 0,003
Novembro	< 0,8 (a)	0,19 ± 0,07	< 1,6 x 10 ⁻³ (b)	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	0,017 ± 0,001	0,005 ± 0,001	0,084 ± 0,008
Dezembro	< 0,8 (a)	0,06 ± 0,02	< 1,5 x 10 ⁻³ (b)	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	0,009 ± 0,001	0,024 ± 0,002	0,021 ± 0,003

Actividade mínima detectável em ³H (a), ⁹⁰Sr (b), ¹³⁷Cs (c), actividade beta total (d) e actividade alfa total (e); volume de amostra insuficiente para análise (f); amostra perdida durante a análise (g)

Tabela I.3 - Valores de actividade específica, A (Bq L⁻¹), de radionuclidos artificiais e naturais em água da chuva colhida em Castelo Branco (estação meteorológica). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o ⁷Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.

Data de Colheita	³ H	Água filtrada Ø ≤ 0,45 µm					Partículas em suspensão Ø > 0,45 µm
		⁷ Be	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
Janeiro	< 0,8 (a)	0,48 ± 0,08	< 1,4 x 10 ⁻³ (b)	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	0,013 ± 0,001	0,004 ± 0,001	< 0,014 (d)
Fevereiro	4,4 ± 0,4	< 0,08	< 2,5 x 10 ⁻³ (b)	< 1,4 x 10 ⁻³ (c)	0,014 ± 0,001	0,008 ± 0,001	< 0,014 (d)
Março	1,2 ± 0,3	(f)	(f)	(f)	0,014 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,022 ± 0,005
Abril	1,2 ± 0,5	< 0,06	< 1,4 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,101 ± 0,012	0,061 ± 0,014	0,052 ± 0,004
Mai	5,4 ± 0,7	< 0,03	< 1,1 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,011 ± 0,001	0,006 ± 0,001	< 0,014 (d)
Junho	4,3 ± 0,7	< 0,3	< 6,9 x 10 ⁻³ (b)*	< 4,0 x 10 ⁻³ (c)*	0,015 ± 0,001	0,007 ± 0,001	0,022 ± 0,002
Julho	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Agosto	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Setembro	< 0,8 (a)	< 0,1	< 2,9 x 10 ⁻³ (b)**	< 2,2 x 10 ⁻³ (c)**	0,030 ± 0,001	0,012 ± 0,001	< 0,014 (d)
Outubro	1,0 ± 0,5	< 0,1	< 1,4 x 10 ⁻³ (b)	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	0,018 ± 0,001	0,014 ± 0,001	0,036 ± 0,009
Novembro	0,9 ± 0,3	< 0,09	< 2,2 x 10 ⁻³ (b)	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	0,009 ± 0,001	0,024 ± 0,002	0,026 ± 0,003
Dezembro	< 0,8 (a)	0,32 ± 0,07	< 2,0 x 10 ⁻³ (b)	< 1,3 x 10 ⁻³ (c)	0,014 ± 0,001	0,006 ± 0,001	0,043 ± 0,004

Actividade mínima detectável em ³H (a), ⁹⁰Sr (b), ¹³⁷Cs (c), actividade beta total (d) e actividade alfa total (e); volume de amostra insuficiente para análise (f); * valor proveniente de 7 L de água; ** valor proveniente de 10 L de água;

Tabela I.4 – Fluxos mensais de deposição atmosférica (Bq m^{-2}) em Sacavém (ITN). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o ^7Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.

Data de colheita	Precipitação* (mm)	^3H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45 \mu\text{m}$					Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45 \mu\text{m}$
			^7Be	^{90}Sr	^{137}Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
Janeiro	146	(a)	(a)	(a)	(a)	$2,6 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,3$	(a)
Fevereiro	416	(a)	(a)	(a)	(a)	12 ± 1	12 ± 1	(a)
Março	69	(a)	(a)	(a)	(a)	$0,7 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1$	(a)
Abril	210	(a)	(a)	(c)	(c)	$5,3 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,2$	(a)
Maió	98	108 ± 59	11 ± 6	(a)	(a)	$1,5 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,5$
Junho	0,4	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Julho	0	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Agosto	0,4	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Setembro	18	32 ± 11	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Outubro	82	(a)	(a)	(a)	(a)	$1,7 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,2$
Novembro	69	(a)	13 ± 5	(a)	(a)	$1,2 \pm 0,1$	$0,35 \pm 0,07$	$5,8 \pm 0,6$
Dezembro	159	(a)	10 ± 3	(a)	(a)	$1,4 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,5$

(a) Actividade medida na água da chuva inferior à actividade mínima detectável; (b) volume de amostra insuficiente para análise; amostra perdida durante a análise (c);

* Dados obtidos através da estação meteorológica EMA, instalada no *campus* do ITN.

Tabela I.5 – Fluxos mensais de deposição atmosférica ($Bq\ m^{-2}$) em Castelo Branco (estação meteorológica). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o 7Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.

Data de colheita	Precipitação* (mm)	3H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\ \mu m$					Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\ \mu m$
			7Be	^{90}Sr	^{137}Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
Janeiro	80	(a)	38 ± 6	(a)	(a)	$1,0 \pm 0,1$	$0,32 \pm 0,08$	(a)
Fevereiro	99	436 ± 40	(a)	(a)	(a)	$1,4 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	(a)
Março	8	$9,6 \pm 2,4$	(b)	(b)	(b)	$0,11 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,04$
Abril	162	194 ± 81	(a)	(a)	(a)	16 ± 2	10 ± 2	$8,4 \pm 0,6$
Maiο	53	286 ± 37	(a)	(a)	(a)	$0,58 \pm 0,05$	$0,32 \pm 0,05$	(a)
Junho	14	60 ± 10	(a)	(a)	(a)	$0,21 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,01$	$0,31 \pm 0,03$
Julho	0	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Agosto	0,1	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Setembro	19	(a)	(a)	(a)	(a)	$0,57 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,02$	(a)
Outubro	35	35 ± 18	(a)	(a)	(a)	$0,63 \pm 0,04$	$0,49 \pm 0,04$	$1,3 \pm 0,3$
Novembro	38	34 ± 11	(a)	(a)	(a)	$0,34 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,1$
Dezembro	63	(a)	20 ± 4	(a)	(a)	$0,9 \pm 0,1$	$0,38 \pm 0,06$	$2,7 \pm 0,3$

(a) Actividade medida na água da chuva inferior à actividade mínima detectável; (b) Volume de amostra insuficiente para análise; (c) Amostra perdida durante a análise; * Dados obtidos no site do Instituto de Meteorologia (<http://www.meteo.pt>);

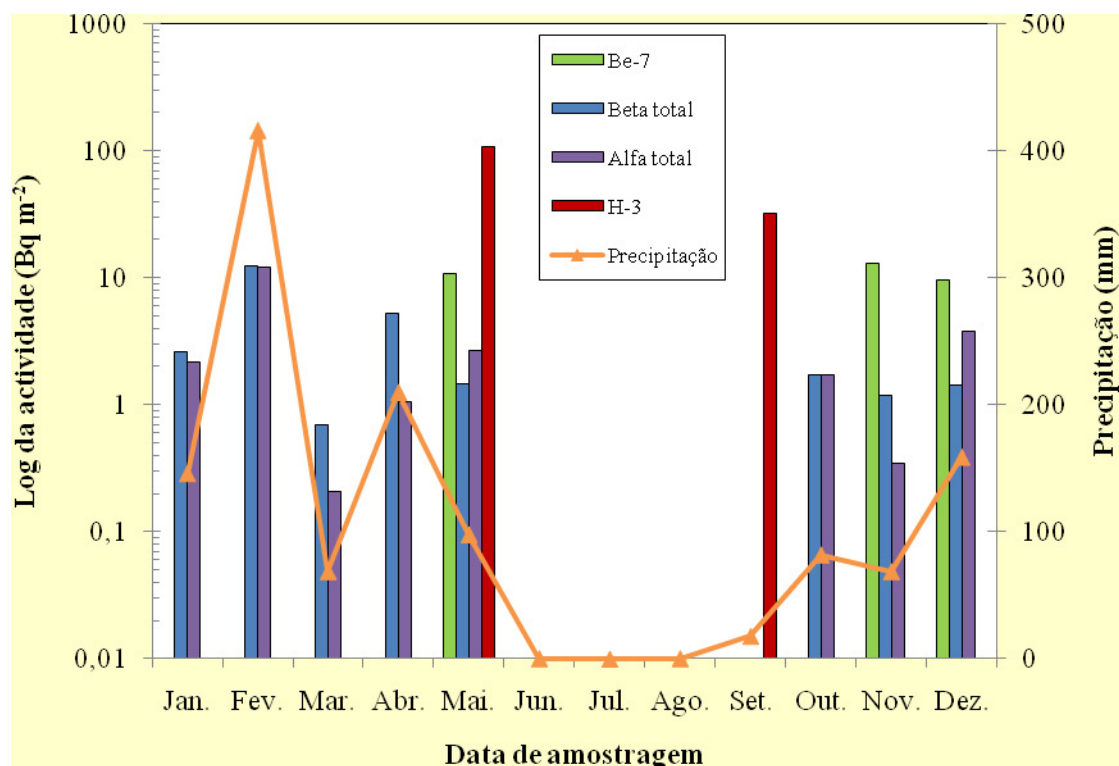


Figura I.6 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em ⁷Be, ³H, ⁹⁰Sr, actividade beta total e actividade alfa total em Sacavém (*Campus do ITN*)

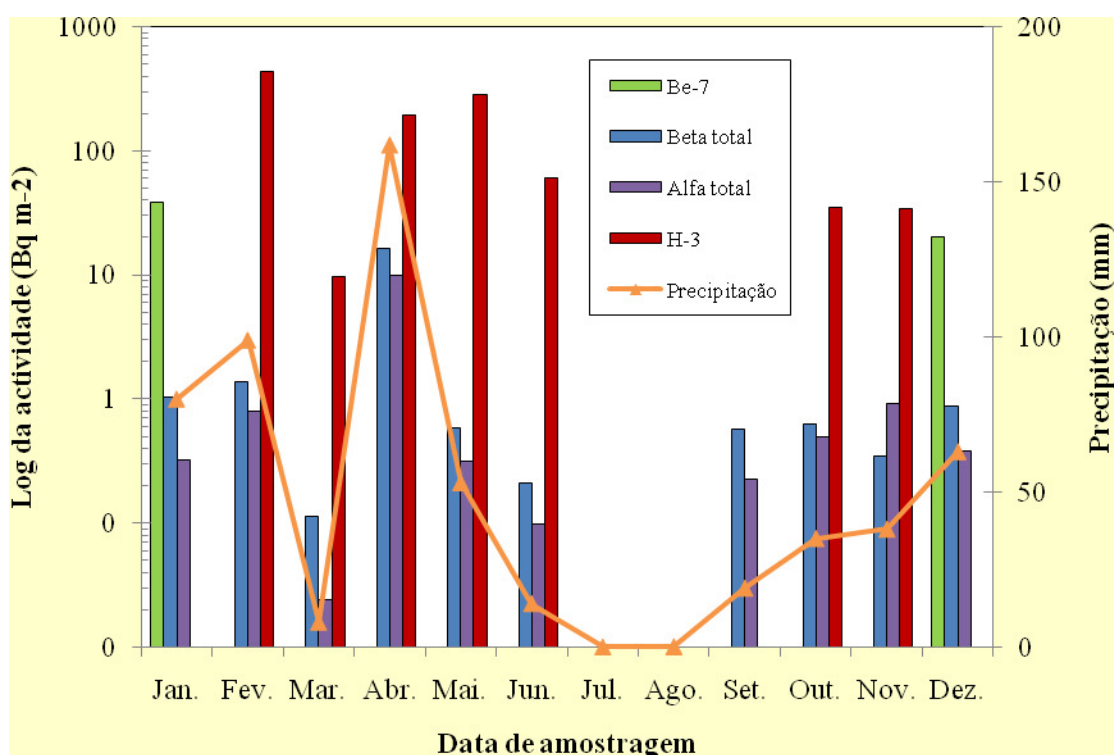


Figura I.7 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em ⁷Be, ³H, ⁹⁰Sr, actividade beta total e actividade alfa total em Castelo Branco (*estação meteorológica*)

I. 3 RADIOACTIVIDADE NO MEIO AQUÁTICO

I.3.1 Rios

A radioactividade em águas superficiais pode ser devida aos radionuclidos dissolvidos na fase aquosa e/ou aos radionuclidos adsorvidos nas partículas em suspensão podendo eventualmente ser incorporada nos sedimentos e nos organismos vivos. Sendo as águas de superfície um dos meios onde é normalmente autorizada a descarga de efluentes radioactivos provenientes de instalações nucleares, poder-se-ão detectar, além dos radionuclidos de origem natural, como o ^{226}Ra , o ^{222}Rn e descendentes, o ^3H (sendo o ^3H normalmente de origem antropogénica) e ainda os radionuclidos artificiais ^{137}Cs e ^{90}Sr . Estes radionuclidos são produtos de cisão formados durante o funcionamento de uma central nuclear que podem ser libertados para o ambiente após um acidente, ou após explosões nucleares.

I.3.1.1 Material e Métodos

As amostras de água dos rios foram recolhidas, com o recurso a um barco pneumático, em locais de água corrente, afastados da margem e, sempre que possível a meio do rio, a cerca de 20 cm da superfície. Quando as condições dos rios não o permitiram, foram efectuadas a partir da margem, mas sempre nos mesmos locais. As amostras de água foram recolhidas de acordo com as Normas ISO 5667-5 (1996). A amostragem dos sedimentos foi efectuada com o auxílio de um colhedor de sedimentos (cone de Berthois). As amostras de peixe foram adquiridas a pescadores locais. As plantas aquáticas foram recolhidas com o auxílio de um utensílio apropriado (forquilha).

No rio Tejo recolheram-se amostras mensais, em V. Velha de Ródão e Valada, e amostras trimestrais nas Albufeiras de Fratel e Belver. No âmbito do Artigo 35 do Tratado EURATOM, a Comissão recomenda que se proceda à medição do caudal do rio durante a colheita da água, principalmente no local de amostragem correspondente à rede dispersa (Vila Velha de Ródão). Para dar resposta a essa recomendação e, uma vez que, não foi possível tecnicamente a medição do caudal “*in loco*” registou-se mensalmente a hora da amostragem em V. Velha de Ródão. Dado que este local de colheita se situa a montante de Fratel e sob a influência do regolfo da albufeira de Fratel considerou-se a utilização dos caudais horários afluentes a esta albufeira como indicativos de Vila Velha de Ródão. Através do Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH) do Instituto da Água, foi possível a obtenção desses dados que se apresentam na Tabela I.6. No rio Zezê (Barragem de Castelo de Bode) a amostragem foi mensal. Nos rios Douro (Barca d’Alva), Mondego (Barragem da Agueira) e Guadiana (Barragem do Alqueva) procedeu-se a uma amostragem anual. Os locais de amostragem estão representados nas Figuras I.1 e I.2.

Águas

Nas amostras de água, após filtração, determinou-se o teor das partículas em suspensão ($\varnothing > 0,45\mu\text{m}$) e dos sais dissolvidos ($\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$) e efectuou-se a respectiva medição de radioactividade beta total, para a qual contribuem todos os radionuclidos emissores beta presentes na água. O ^{40}K , radionuclido de origem natural, contribui enormemente para a actividade beta total, pelo que se deve subtrair a sua concentração à actividade beta total, obtendo-se assim a actividade beta residual. Nas amostras de água filtrada, determinou-se a concentração em potássio, por cromatografia iónica, a qual após conversão em ^{40}K , permitiu calcular a actividade beta residual (Gomes *et al.*, 2005).

Nas amostras de água, efectuaram-se ainda as determinações de actividade em ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^3H , por métodos radioquímicos, seguidos de medição beta. Na água do rio Zêzere procedeu-se também à determinação da actividade alfa total. As metodologias utilizadas estão descritas em I.2.2.1.

Sedimentos

No laboratório, os sedimentos foram secos a 110°C , desagregados e tamisados tendo-se recolhido a fracção sedimento total (é considerado sedimento total a fracção $\varnothing \leq 1000\mu\text{m}$ do total da amostra). A partir desta fracção separaram-se as fracções areia ($250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$) e silte/argila ($\varnothing \leq 63\mu\text{m}$). Foram preparadas amostras representativas das três fracções e, posteriormente, determinada a sua actividade por espectrometria gama.

Peixes

No laboratório, os peixes (Barbo, *Barbus bocagei* Steind. e Carpa, *Cyprinus carpio* L.) foram pesados individualmente e dissecados. O músculo foi seco a 110°C e incinerado a 450°C , sendo determinado previamente o peso fresco e depois os pesos seco e de cinzas. O total ou uma alíquota da amostra incinerada (cinzas) foi medido por espectrometria gama.

I.3.1.2 Resultados e Discussão

Águas

Os valores da actividade específica, A , em águas de superfície colhidas no rio Tejo em Vila Velha de Ródão, Valada, Barragem de Fratel e Barragem de Belver estão presentes nas Tabelas I.7 a I.10, respectivamente.

Verifica-se que, em geral, os valores de actividade beta total na matéria dissolvida (Tabelas I.7a a I.10a) são superiores aos obtidos para as partículas em suspensão (Tabelas I.7 a I.10), o que está relacionado com a maior concentração de radionuclidos em solução.

Os valores médios anuais, no rio Tejo, para a actividade beta total (água filtrada) são $0,207 \pm 0,074 \text{ Bq L}^{-1}$ em Vila Velha de Ródão (Tabela I.7a) e $0,192 \pm 0,084 \text{ Bq L}^{-1}$ em Valada (Tabela I.8a), para a matéria dissolvida, e inferiores a $0,018$ e $0,029 \text{ Bq L}^{-1}$ para as partículas

em suspensão, em Vila Velha de Ródão e Valada respectivamente (Tabelas I.7 e I.8). Os valores obtidos são, em ambos os casos, relativamente constantes durante o ano e ao longo do rio. A actividade beta residual em solução apresenta valores médios anuais de $0,087 \pm 0,061$ Bq L⁻¹ e $0,075 \pm 0,065$ Bq L⁻¹ em Vila Velha de Ródão e Valada respectivamente. Os valores da actividade beta residual são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Rodrigues *et al.*, 2007) e dos valores observados em águas de superfície colhidas em rios espanhóis (Calvo *et al.*, 2005; Heredia *et al.*, 2007 & 2008).

Os valores da actividade específica em ¹³⁷Cs são, em média, inferiores a $1,1$ mBq L⁻¹ mantendo-se relativamente constantes ao longo do ano (Tabelas I.7a e I.8a), com excepção dos valores medidos em V. Velha de Ródão no mês de Julho ($3,5 \pm 0,2$ mBq L⁻¹) e em Valada no mês de Fevereiro ($2,5 \pm 0,3$ mBq L⁻¹). Para o ⁹⁰Sr os valores médios anuais obtidos são da mesma ordem de grandeza, isto é, inferiores a $1,6$ mBq L⁻¹ e $1,5$ mBq L⁻¹ em V. Velha de Ródão e Valada respectivamente (Tabelas I.7a e I.8a). Os valores da actividade específica em águas de superfície colhidas nas Barragens de Fratel e Belver (Tabelas I.8, I.8a, I.9 e I.9a) são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em V. Velha de Ródão e Valada. Resultados semelhantes foram observados em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2006, 2007a, 2008 & 2009a).

Os valores de actividade especifica anual, A, em ³H no rio Tejo são $10,4 \pm 5,5$ Bq L⁻¹ e $8,5 \pm 4,9$ Bq L⁻¹ em V. Velha de Ródão e Valada respectivamente (Tabelas I.7 e I.8). Na Barragem de Fratel, os valores em ³H variam entre $6,4 \pm 0,5$ Bq L⁻¹ (Fevereiro) e $14,1 \pm 0,7$ Bq L⁻¹ (Agosto) (Tabela I.9) e na Barragem de Belver entre $1,9 \pm 0,5$ Bq L⁻¹ (Fevereiro) e $13,6 \pm 0,7$ Bq L⁻¹ (Agosto) (Tabela I.10).

Nas Tabelas I.11 e I.11a estão expressos os valores da actividade específica, A, em águas de superfície colhidas no rio Zêzere (Barragem de Castelo de Bode). Pode observar-se que o valor médio anual da actividade beta total nas partículas em suspensão ($< 0,018$ Bq L⁻¹) é da mesma ordem de grandeza do obtido para o rio Tejo (Tabelas I.7 e I.8) enquanto que para a matéria dissolvida esse valor é uma ordem de grandeza inferior ($0,042 \pm 0,010$ Bq L⁻¹). Este resultado está relacionado com a concentração dos radionuclidos em solução, como p.ex. o ⁴⁰K, que, no caso do rio Zêzere, é cerca de cinco vezes inferior ao valor observado para o rio Tejo (Tabelas I.7a e I.8a) (Gomes *et al.*, 2005; Rodrigues *et al.*, 2007). O valor médio obtido para o rio Zêzere para a actividade beta residual é de $0,015 \pm 0,010$ Bq L⁻¹ (Tabela I.11a). Tal como seria espectável este valor é inferior aos valores observados para o rio Tejo (Tabelas I.7a, I.8a, I.9a e I.10a). O valor médio anual da actividade alfa total na matéria dissolvida é inferior a $0,006$ Bq L⁻¹. Verifica-se que os valores obtidos para o ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr (Tabela I.11a) são da mesma ordem de grandeza dos observados no rio Tejo, com valores inferiores a $0,8$ mBq L⁻¹ e

2,5 mBq L⁻¹ para o ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr respectivamente. Pela uniformidade dos valores obtidos para os dois rios poder-se-á inferir que a existência destes radionuclidos é devida principalmente ao “fallout”.

Na Figura I.8 estão representados os valores mensais das concentrações de actividade em ³H para os rios Tejo (V. Velha de Ródão, Barragem de Fratel, Barragem de Belver e Valada) e Zêzere (Barragem de Castelo de Bode). Da observação da Figura I.8 verifica-se que a actividade em ³H varia ao longo do ano para o rio Tejo, com um valor máximo no mês de Agosto em V. Velha de Ródão. Este comportamento é semelhante ao observado em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2006, 2007a, 2008 & 2009b) onde é notória a variação de concentração de actividade em ³H ao longo dos meses principalmente em Vila Velha de Ródão. Esta variação está relacionada com a gestão das descargas de efluentes no rio Tejo, da Central Nuclear de Almaraz localizada em Espanha. Relativamente ao rio Zêzere verifica-se que os valores de concentração de actividade em ³H variam entre 2,7±0,6 Bq L⁻¹ (valor medido no mês de Junho) e o valor da actividade mínima detectável (0,8 Bq L⁻¹), sendo cerca de uma ordem de grandeza inferiores aos obtidos para o rio Tejo.

Nas Tabelas I.12 e I.12a estão expressos os valores de actividade específica em águas de superfície colhidas no rio Guadiana (Barragem de Alqueva), no rio Mondego (Barragem da Aguieira) e no rio Douro (Barragem do Pocinho). Verifica-se que os valores obtidos para a actividade beta total, beta residual, ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr são da mesma ordem de grandeza dos observados para o rio Tejo. Os valores de concentração de actividade em ³H são, em geral, da ordem de grandeza dos observados no rio Zêzere e inferiores aos medidos no rio Tejo, o que denota a influência da Central Nuclear de Almaraz (Espanha).

Tabela I.6 – Valores do caudal afluente à Barragem de Fratel, no rio Tejo, durante a colheita das amostras de água em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	Hora da colheita	Caudal horário $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
15/01/2008	14h00	0,32
25/02/2008	15h00	287,6
24/03/2008	13h00	0
18/04/2008	14h00	235,7
14/05/2008	12h00	347,7
17/06/2008	13h00	0
22/07/2008	11h00	236
19/08/2008	15h00	294,6
18/09/2008	13h00	288,3
15/10/2008	15h00	0
13/11/2008	15h00	6,74
16/12/2008	11h00	0

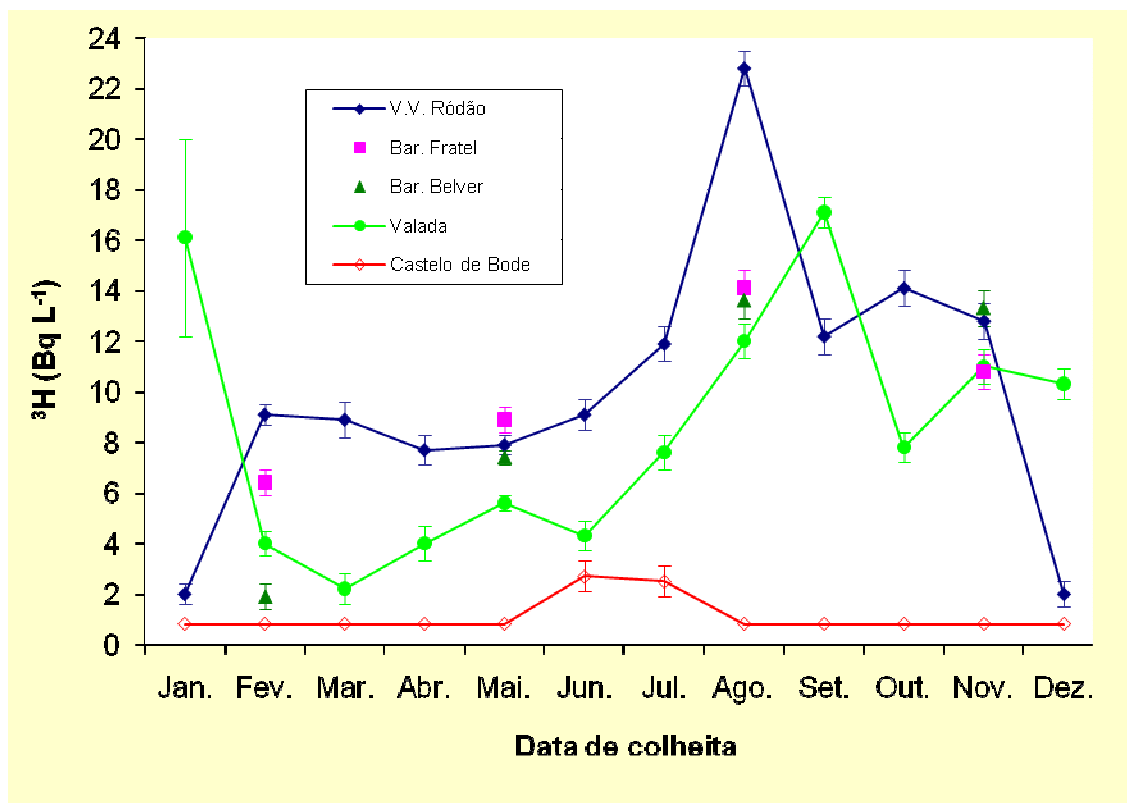


Figura I.8- Variação da concentração de actividade em ^3H (Bq L^{-1}) nos rios Tejo e Zêzere

Tabela I.7 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ³H e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Tejo (V. Velha de Ródão)

Data de colheita	³ H	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu\text{m}$	
		Concentração mg L ⁻¹	Beta total
Janeiro	2,0 ± 0,4	8,7 ± 0,1	0,017 ± 0,004
Fevereiro	9,1 ± 0,4	10,4 ± 0,1	< 0,014 (a)
Março	8,9 ± 0,7	4,6 ± 0,1	< 0,014 (a)
Abril	7,7 ± 0,6	3,7 ± 0,1	< 0,014 (a)
Maió	7,9 ± 0,4	1,6 ± 0,1	< 0,014 (a)
Junho	9,1 ± 0,6	1,6 ± 0,1	< 0,014 (a)
Julho	11,9 ± 0,7	1,3 ± 0,1	0,043 ± 0,004
Agosto	22,8 ± 0,7	2,9 ± 0,1	0,016 ± 0,003
Setembro	12,2 ± 0,7	4,1 ± 0,1	< 0,014 (a)
Outubro	14,1 ± 0,7	3,7 ± 0,1	0,024 ± 0,003
Novembro	12,8 ± 0,7	3,2 ± 0,1	< 0,014 (a)
Dezembro	2,0 ± 0,5	4,9 ± 0,1	0,015 ± 0,003
Média ± σ (n=12)	10,4 ± 5,5	4,2 ± 2,8	< 0,018

Actividade mínima detectável na actividade beta total (a)

Tabela I.7a - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, ⁴⁰K, beta total e beta residual em água de superfície (filtrada) colhida no rio Tejo (V. Velha de Ródão)

Data de colheita	Concentração em sais dissolvidos mg L ⁻¹	Concentração em K ⁺ mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	⁴⁰ K	Beta residual
Janeiro	285,9 ± 0,1	4,19 ± 0,11	< 1,0 x 10 ⁻³ (b)	< 1,6 x 10 ⁻³ (c)	0,131 ± 0,009	0,116 ± 0,058	0,015 ± 0,011
Fevereiro	341,9 ± 0,1	4,11 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,3 x 10 ⁻³ (c)	0,107 ± 0,010	0,113 ± 0,057	(d)
Março	456,4 ± 0,1	4,38 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	(2,7 ± 0,5) x 10 ⁻³	0,139 ± 0,014	0,121 ± 0,060	0,018 ± 0,015
Abril	294,7 ± 0,1	3,77 ± 0,11	< 0,7 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	0,179 ± 0,015	0,104 ± 0,052	0,075 ± 0,016
Mai	406,0 ± 0,1	4,96 ± 0,12	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,0 x 10 ⁻³ (c)	0,210 ± 0,017	0,137 ± 0,068	0,073 ± 0,018
Junho	490,3 ± 0,1	4,15 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 2,0 x 10 ⁻³ (c)	0,211 ± 0,015	0,115 ± 0,057	0,096 ± 0,016
Julho	440,8 ± 0,1	4,70 ± 0,12	(3,5 ± 0,2) x 10 ⁻³	(2,2 ± 0,4) x 10 ⁻³	0,181 ± 0,013	0,130 ± 0,065	0,051 ± 0,015
Agosto	509,3 ± 0,1	5,11 ± 0,12	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	0,347 ± 0,015	0,141 ± 0,071	0,206 ± 0,016
Setembro	573,1 ± 0,1	5,62 ± 0,10	< 1,0 x 10 ⁻³ (b)	< 1,4 x 10 ⁻³ (c)	0,303 ± 0,017	0,155 ± 0,078	0,147 ± 0,018
Outubro	565,4 ± 0,1	5,89 ± 0,10	< 0,7 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	0,158 ± 0,011	0,163 ± 0,081	(d)
Novembro	536,8 ± 0,1	5,93 ± 0,10	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,5 x 10 ⁻³ (c)	0,218 ± 0,016	0,164 ± 0,082	0,054 ± 0,017
Dezembro	737,4 ± 0,1	5,66 ± 0,10	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,3 x 10 ⁻³ (c)	0,295 ± 0,022	0,156 ± 0,078	0,138 ± 0,023
Média ± σ	470 ± 129 (n=12)	4,87 ± 0,77 (n=12)	< 1,1 x 10⁻³ (n=12)	< 1,6 x 10⁻³ (n=12)	0,207 ± 0,074 (n=12)	0,134 ± 0,011 (n=12)	0,087 ± 0,061 (n=10)

Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs (b) e ⁹⁰Sr (c); (d) não se reporta o valor porque a incerteza associada é superior a 100%.

Tabela I.8 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L^{-1}), em ^3H e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Tejo (Valada do Ribatejo)

Data de colheita	^3H	Partículas em suspensão $\text{Ø} > 0,45\mu\text{m}$	
		Concentração mg L^{-1}	Beta total
Janeiro	$16,1 \pm 3,9$	$40,8 \pm 0,1$	$0,050 \pm 0,004$
Fevereiro	$4,0 \pm 0,5$	$11,4 \pm 0,1$	$< 0,014$ (a)
Março	$2,2 \pm 0,6$	$10,5 \pm 0,1$	$< 0,014$ (a)
Abril	$4,0 \pm 0,7$	$25,1 \pm 0,1$	$0,053 \pm 0,007$
Mai	$5,6 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,1$	$< 0,014$ (a)
Junho	$4,3 \pm 0,6$	$3,9 \pm 0,1$	$< 0,014$ (a)
Julho	$7,6 \pm 0,7$	$11,9 \pm 0,1$	$0,057 \pm 0,004$
Agosto	$12,0 \pm 0,7$	$4,6 \pm 0,1$	$0,033 \pm 0,004$
Setembro	$17,1 \pm 0,6$	$7,5 \pm 0,1$	$< 0,014$ (a)
Outubro	$7,8 \pm 0,6$	$6,4 \pm 0,1$	$0,052 \pm 0,006$
Novembro	$11,0 \pm 0,7$	$2,0 \pm 0,1$	$< 0,014$ (a)
Dezembro	$10,3 \pm 0,6$	$9,0 \pm 0,1$	$0,020 \pm 0,003$
Média $\pm \sigma$ (n=12)	$8,5 \pm 4,9$	$11,4 \pm 11,0$	$< 0,029$

Actividade mínima detectável na actividade beta total (a)

Tabela I.8a - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁴⁰K, beta total e beta residual em água de superfície (filtrada) colhida no rio Tejo (Valada do Ribatejo)

Data de colheita	Concentração em sais dissolvidos mg L ⁻¹	Concentração em K ⁺ mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	⁴⁰ K	Beta residual
Janeiro	252,1 ± 0,1	3,18 ± 0,11	< 1,0 x 10 ⁻³ (b)	< 1,6 x 10 ⁻³ (c)	0,100 ± 0,008	0,088 ± 0,044	0,012 ± 0,010
Fevereiro	263,2 ± 0,1	3,59 ± 0,11	(2,5 ± 0,3) x 10 ⁻³	< 1,5 x 10 ⁻³ (c)	0,127 ± 0,008	0,099 ± 0,050	0,028 ± 0,010
Março	244,8 ± 0,1	3,31 ± 0,11	< 0,4 x 10 ⁻³ (b)	< 1,6 x 10 ⁻³ (c)	0,102 ± 0,007	0,091 ± 0,046	0,010 ± 0,009
Abril	342,9 ± 0,1	3,98 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,6 x 10 ⁻³ (c)	0,215 ± 0,017	0,110 ± 0,055	0,105 ± 0,018
Mai	364,0 ± 0,1	4,33 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	0,227 ± 0,020	0,120 ± 0,060	0,107 ± 0,021
Junho	255,4 ± 0,1	3,64 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	0,112 ± 0,008	0,100 ± 0,050	0,011 ± 0,010
Julho	411,8 ± 0,1	3,56 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	0,154 ± 0,012	0,098 ± 0,049	0,055 ± 0,013
Agosto	406,8 ± 0,1	4,56 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,299 ± 0,016	0,126 ± 0,063	0,173 ± 0,017
Setembro	505,1 ± 0,1	5,93 ± 0,10	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	(2,2 ± 0,4) x 10 ⁻³	0,327 ± 0,015	0,164 ± 0,082	0,163 ± 0,016
Outubro	545,6 ± 0,1	5,30 ± 0,10	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,3 x 10 ⁻³ (c)	0,315 ± 0,026	0,146 ± 0,073	0,168 ± 0,027
Novembro	410,6 ± 0,1	4,73 ± 0,09	< 1,0 x 10 ⁻³ (b)	(2,3 ± 0,4) x 10 ⁻³	0,162 ± 0,011	0,131 ± 0,065	0,031 ± 0,012
Dezembro	448,8 ± 0,1	4,30 ± 0,09	< 1,0 x 10 ⁻³ (b)	< 1,3 x 10 ⁻³ (c)	0,160 ± 0,013	0,119 ± 0,059	0,041 ± 0,014
Média ± σ (n=12)	371 ± 102	4,20 ± 0,83	< 1,0 x 10⁻³	< 1,5 x 10⁻³	0,192 ± 0,084	0,116 ± 0,011	0,075 ± 0,065

Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs (b) e ⁹⁰Sr (c);

Tabela I.9 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ³H e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Tejo (Barragem de Fratel)

Data de colheita	³ H	Partículas em suspensão Ø > 0,45µm	
		Concentração mg L ⁻¹	Beta total
Fevereiro	6,4 ± 0,5	4,6 ± 0,1	< 0,014 (a)
Maio	8,9 ± 0,5	1,5 ± 0,1	< 0,014 (a)
Agosto	14,1 ± 0,7	4,5 ± 0,1	< 0,014 (a)
Novembro	10,8 ± 0,7	4,0 ± 0,1	< 0,014 (a)

Tabela I.10 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ³H e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Tejo (Barragem de Belver)

Data de colheita	³ H	Partículas em suspensão Ø > 0,45µm	
		Concentração mg L ⁻¹	Beta total
Fevereiro	1,9 ± 0,5	6,9 ± 0,1	< 0,014 (a)
Maio	7,4 ± 0,3	2,1 ± 0,1	< 0,014 (a)
Agosto	13,6 ± 0,7	4,7 ± 0,1	0,054 ± 0,004
Novembro	13,3 ± 0,7	0,9 ± 0,1	< 0,014 (a)

Actividade mínima detectável na actividade beta total (a)

Tabela I.9a - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁴⁰K, beta total e beta residual em água de superfície (filtrada) colhida no rio Tejo (Barragem de Fratel)

Data de colheita	Concentração em sais dissolvidos mg L ⁻¹	Concentração em K ⁺ mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	⁴⁰ K	Beta residual
Fevereiro	290,9 ± 0,1	3,78 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,3 x 10 ⁻³ (c)	0,117 ± 0,009	0,104 ± 0,052	0,012 ± 0,011
Mai	369,5 ± 0,1	4,65 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,4 x 10 ⁻³ (c)	0,159 ± 0,013	0,128 ± 0,064	0,030 ± 0,015
Agosto	488,2 ± 0,1	5,14 ± 0,12	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	0,334 ± 0,015	0,142 ± 0,071	0,192 ± 0,016
Novembro	663,1 ± 0,1	6,12 ± 0,11	< 0,7 x 10 ⁻³ (b)	< 1,4 x 10 ⁻³ (c)	0,259 ± 0,018	0,169 ± 0,085	0,090 ± 0,019

Tabela I.10a - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁴⁰K, beta total e beta residual em água de superfície (filtrada) colhida no rio Tejo (Barragem de Belver)

Data de colheita	Concentração em sais dissolvidos mg L ⁻¹	Concentração em K ⁺ mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	⁴⁰ K	Beta residual
Fevereiro	140,0 ± 0,1	1,99 ± 0,11	< 0,7 x 10 ⁻³ (b)	< 1,7 x 10 ⁻³ (c)	0,056 ± 0,004	0,055 ± 0,027	(d)
Mai	357,6 ± 0,1	4,61 ± 0,11	< 0,7 x 10 ⁻³ (b)	< 1,1 x 10 ⁻³ (c)	0,154 ± 0,012	0,127 ± 0,064	0,026 ± 0,014
Agosto	448,7 ± 0,1	5,06 ± 0,12	< 1,0 x 10 ⁻³ (b)	< 1,1 x 10 ⁻³ (c)	0,297 ± 0,013	0,140 ± 0,070	0,157 ± 0,015
Novembro	559,6 ± 0,1	5,95 ± 0,10	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	0,237 ± 0,017	0,164 ± 0,082	0,072 ± 0,018

Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs (b) e ⁹⁰Sr (c); (d) não se reporta o valor porque a incerteza associada é superior a 100%;

Tabela I.11 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ³H e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Zêzere (Barragem de Castelo de Bode)

Data de colheita	³ H	Partículas em suspensão Ø > 0,45µm	
		Concentração mg L ⁻¹	Beta total
Janeiro	< 0,8 (a)	1,7 ± 0,1	< 0,014 (b)
Fevereiro	< 0,8 (a)	2,8 ± 0,1	< 0,014 (b)
Março	< 0,8 (a)	0,5 ± 0,1	< 0,014 (b)
Abril	< 0,8 (a)	2,9 ± 0,1	< 0,014 (b)
Maió	< 0,8 (a)	0,6 ± 0,1	< 0,014 (b)
Junho	2,7 ± 0,6	1,0 ± 0,1	(c)
Julho	2,5 ± 0,6	3,6 ± 0,1	0,033 ± 0,004
Agosto	< 0,8 (a)	1,8 ± 0,1	0,040 ± 0,004
Setembro	< 0,8 (a)	3,6 ± 0,1	< 0,014 (b)
Outubro	< 0,8 (a)	2,7 ± 0,1	< 0,014 (b)
Novembro	< 0,8 (a)	0,8 ± 0,1	< 0,014 (b)
Dezembro	< 0,8 (a)	1,7 ± 0,1	< 0,014 (b)
Média ± σ	< 1,1 (n=12)	2,0 ± 1,1 (n=12)	< 0,018 (n=11)

Actividade mínima detectável em ³H (a) e actividade beta total (b); Amostra perdida durante a análise (c)

Tabela I.11a - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁴⁰K, alfa/beta total e beta residual em água de superfície (filtrada) colhida no rio Zêzere (Barragem de Castelo de Bode)

Data de colheita	Concentração em sais dissolvidos mg L ⁻¹	Concentração em K ⁺ mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Alfa total	Beta total	⁴⁰ K	Beta residual
Janeiro	57,7 ± 0,1	0,96 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	< 1,4 x 10 ⁻³ (d)	0,006 ± 0,001	0,034 ± 0,002	0,027 ± 0,003	(g)
Fevereiro	57,5 ± 0,1	1,01 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	(2,4 ± 0,3) x 10 ⁻³	0,005 ± 0,001	0,035 ± 0,002	0,028 ± 0,003	(g)
Março	58,3 ± 0,1	0,93 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	(2,4 ± 0,3) x 10 ⁻³	< 0,005 (e)	0,034 ± 0,002	0,026 ± 0,003	0,008 ± 0,007
Abril	59,7 ± 0,1	1,06 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	< 1,8 x 10 ⁻³ (d)	0,008 ± 0,002	0,040 ± 0,002	0,029 ± 0,003	0,011 ± 0,007
Mai	61,3 ± 0,1	1,01 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	(2,0 ± 0,4) x 10 ⁻³	0,008 ± 0,002	0,040 ± 0,002	0,028 ± 0,003	0,012 ± 0,007
Junho	55,5 ± 0,1	0,87 ± 0,11	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	(3,6 ± 0,4) x 10 ⁻³	0,009 ± 0,002	0,040 ± 0,002	0,024 ± 0,003	0,016 ± 0,007
Julho	56,6 ± 0,1	1,06 ± 0,11	< 0,7 x 10 ⁻³ (c)	(2,6 ± 0,3) x 10 ⁻³	< 0,005 (e)	0,073 ± 0,003	0,029 ± 0,003	0,044 ± 0,007
Agosto	53,1 ± 0,1	1,00 ± 0,11	(f)	(2,8 ± 0,3) x 10 ⁻³	< 0,005 (e)	0,039 ± 0,002	0,028 ± 0,003	0,011 ± 0,007
Setembro	54,1 ± 0,1	0,87 ± 0,09	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	(2,7 ± 0,3) x 10 ⁻³	0,007 ± 0,002	0,038 ± 0,002	0,024 ± 0,003	0,014 ± 0,006
Outubro	53,0 ± 0,1	1,07 ± 0,09	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	(2,5 ± 0,3) x 10 ⁻³	0,006 ± 0,001	0,040 ± 0,002	0,030 ± 0,003	0,010 ± 0,005
Novembro	60,2 ± 0,1	0,86 ± 0,09	< 0,7 x 10 ⁻³ (c)	(1,9 ± 0,3) x 10 ⁻³	0,005 ± 0,001	0,043 ± 0,002	0,024 ± 0,003	0,019 ± 0,006
Dezembro	57,7 ± 0,1	0,81 ± 0,09	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	(3,8 ± 0,6) x 10 ⁻³	< 0,005 (e)	0,043 ± 0,002	0,022 ± 0,003	0,021 ± 0,006
Média ± σ	57,1 ± 2,7 (n=12)	0,96 ± 0,09 (n=12)	< 0,8 x 10⁻³ (n=11)	< 2,5 x 10⁻³ (n=11)	< 0,006 (n=12)	0,042 ± 0,010 (n=12)	0,027 ± 0,002 (n=12)	0,015 ± 0,010 (n=12)

Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs (c), ⁹⁰Sr (d) e actividade alfa total (e); Amostra perdida durante a análise (f); não se reporta o valor porque a incerteza associada é superior a 100%;(g).

Tabela I.12 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ³H e actividade beta total em águas de superfície colhidas no rio Guadiana (Barragem de Alqueva), no rio Mondego (Barragem da Aguieira) e no rio Douro (Barragem do Pocinho)

Local de Amostragem	³ H	Partículas em suspensão Ø > 0,45µm	
		Concentração mg L ⁻¹	Beta total
Rio Guadiana (Barragem de Alqueva)	< 0,8 (a)	6,5 ± 0,1	< 0,014 (b)
Rio Mondego (Barragem da Aguieira)	< 0,8 (a)	14,6 ± 0,1	< 0,014 (b)
Rio Douro (Barragem do Pocinho)	< 0,8 (a)	5,8 ± 0,1	< 0,014 (b)

Actividade mínima detectável em ³H (a) e actividade beta total (b);

Tabela I.12a - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁴⁰K, beta total e beta residual em águas de superfície (filtrada) colhidas no rio Guadiana (Barragem de Alqueva), no rio Mondego (Barragem da Aguieira) e no rio Douro (Barragem do Pocinho)

Local de Amostragem	Concentração em sais dissolvidos mg L ⁻¹	Concentração em K ⁺ mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	⁴⁰ K	Beta residual
Rio Guadiana (Barragem de Alqueva)	361,5 ± 0,1	7,15 ± 0,14	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	(5,8 ± 0,5) x 10 ⁻³	0,220 ± 0,010	0,197 ± 0,099	0,022 ± 0,013
Rio Mondego (Barragem da Aguieira)	93,8 ± 0,1	1,76 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	(3,1 ± 0,4) x 10 ⁻³	0,122 ± 0,006	0,049 ± 0,024	0,073 ± 0,009
Rio Douro (Barragem do Pocinho)	289,7 ± 0,1	3,02 ± 0,11	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	< 1,2 x 10 ⁻³ (d)	0,106 ± 0,009	0,083 ± 0,042	0,022 ± 0,011

Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs (c) e ⁹⁰Sr (d)

Sedimentos

Nas Tabelas I.13 a I.24 estão expressos os valores de actividade específica, A , (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos detectados no sedimento total (é considerado sedimento total a fracção de $\varnothing \leq 1000\mu\text{m}$ do total da amostra recolhida), na fracção areia ($250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$) e na fracção silte/argila ($\varnothing \leq 63\mu\text{m}$) colhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão, Valada, Barragens de Fratel e Belver.

Verifica-se que a actividade específica média anual relativa às famílias radioactivas naturais do ^{232}Th (medida através do ^{228}Ra e descendentes) e do ^{238}U (medida através do ^{226}Ra e descendentes) apresenta valores com um grande desvio padrão (por vezes superior a 50%) devido às grandes variações mensais. Em V. Velha de Ródão os valores médios anuais para o ^{228}Ra foram de: $69 \pm 45 \text{ Bq kg}^{-1}$ para o sedimento total, $161 \pm 114 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção areia e $445 \pm 211 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção silte/argila. Para o ^{226}Ra os valores médios obtidos foram de: $41 \pm 21 \text{ Bq kg}^{-1}$ para o sedimento total, $86 \pm 52 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção areia e $262 \pm 115 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção silte/argila. Relativamente a Valada os valores das concentrações de actividade em ^{228}Ra e ^{226}Ra são da mesma ordem de grandeza dos observados em V. Velha de Ródão. O ^{235}U apresenta valores, na grande maioria dos casos, inferiores à actividade mínima detectável para ambas as estações de amostragem. Os valores das concentrações de actividade em ^{137}Cs em V. Velha de Ródão e Valada são da mesma ordem de grandeza apresentando uma ligeira variação ao longo dos meses. Para o ^7Be , os valores situam-se abaixo dos valores de actividade mínima detectável. Os valores mais elevados de actividade mínima detectável estão relacionados com o maior intervalo de tempo que mediou entre a colheita e a medição da amostra. Isto é devido ao facto do ^7Be ter um período de semi-desintegração relativamente curto (53.12 dias) e a actividade ser geralmente próxima da actividade mínima detectável. Os valores em ^{40}K são relativamente constantes com valores médios anuais de $830 \pm 47 \text{ Bq kg}^{-1}$ para o sedimento total, $777 \pm 58 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção areia e $737 \pm 85 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção silte/argila em V. Velha de Ródão.

Os valores das concentrações de actividade em ^{235}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{40}K e ^7Be medidos nos sedimentos colhidos na barragem de Fratel (Tabelas I.19 a I.21) e na barragem de Belver (Tabelas I.22 a I.24) são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em V. Velha de Ródão e Valada.

A razão $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ é, em termos de valores médios anuais, para todos os sedimentos do rio Tejo e para todas as granulometrias, superior à unidade. Sendo o ^{228}Ra e o ^{226}Ra descendentes das séries radioactivas do ^{232}Th e ^{238}U , respectivamente, os valores mais elevados obtidos para o ^{228}Ra , podem estar relacionados com o menor grau de solubilidade e consequentemente menor mobilidade geoquímica do ^{232}Th em relação ao ^{238}U . Além disso,

poder-se-á considerar a hipótese de um teor mais elevado em Tório do que em Urânio nas rochas de onde os sedimentos são originários.

Nas Figuras I.9 e I.10 pode observar-se um aumento da concentração dos radionuclidos naturais ^{228}Ra e ^{226}Ra para a fracção silte/argila. Contrariamente, observa-se uma ligeira tendência para o decréscimo da concentração de actividade em ^{40}K para o sedimento mais fino. Este decréscimo poderá estar relacionado com a composição mineralógica da fracção silte/argila que deve ser mais pobre em minerais ricos em potássio. Este mesmo comportamento foi observado em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2006, 2007, 2008 & 2009a).

Nas Tabelas I.25 a I.27 estão expressos os valores de actividade específica, A , (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos (naturais e artificiais) detectados em sedimento totais, areia ($250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$) e silte/argila ($\varnothing \leq 63\mu\text{m}$) colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana. Pode observar-se uma tendência para o aumento da concentração de actividade em ^{228}Ra , ^{226}Ra e ^{137}Cs com a diminuição da granulometria, tal como observado para o rio Tejo. Constata-se que os valores obtidos para os radionuclidos analisados em sedimentos dos rios Tejo, Douro, Mondego e Guadiana são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2006, 2007 & 2008).

Tabela I.13 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ($\varnothing < 1\text{mm}$) colhidos no rio Tejo em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	< 3 (a)	25 ± 1	20 ± 1	1,0 ± 0,2	748 ± 33	5 ± 3
Fevereiro	5 ± 2	62 ± 2	39 ± 1	2,7 ± 0,3	811 ± 37	< 13 (a)
Março	< 3 (a)	37 ± 1	24 ± 1	0,5 ± 0,2	843 ± 38	< 5 (a)
Abril	< 4 (a)	92 ± 3	50 ± 2	0,9 ± 0,2	842 ± 44	< 4 (a)
Maió	< 4 (a)	116 ± 3	60 ± 2	0,7 ± 0,2	818 ± 37	< 8 (a)
Junho	< 4 (a)	74 ± 2	45 ± 1	1,7 ± 0,3	845 ± 38	< 7 (a)
Julho	7 ± 4	190 ± 5	98 ± 3	1,7 ± 0,3	765 ± 35	< 16 (a)
Agosto	< 3 (a)	34 ± 1	24 ± 1	1,2 ± 0,2	905 ± 40	< 6 (a)
Setembro	< 3 (a)	48 ± 1	33 ± 1	1,2 ± 0,4	863 ± 39	< 10 (a)
Outubro	< 3 (a)	27 ± 1	21 ± 1	1,6 ± 0,2	910 ± 40	< 6 (a)
Novembro	< 4 (a)	76 ± 2	45 ± 1	1,4 ± 0,2	798 ± 36	< 9 (a)
Dezembro	< 3 (a)	49 ± 1	34 ± 1	1,2 ± 0,2	811 ± 36	< 9 (a)
Média ± σ (n=12)	< 4	69 ± 45	41 ± 21	1,3 ± 0,6	830 ± 47	< 8

Tabela I.14 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ($250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$) colhida no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	< 5 (a)	77 ± 2	50 ± 1	< 0,8 (a)	635 ± 42	< 13 (a)
Fevereiro	5 ± 1	73 ± 3	47 ± 2	2,3 ± 0,3	800 ± 69	< 9 (a)
Março	< 3 (a)	78 ± 3	45 ± 2	0,7 ± 0,2	860 ± 75	< 6 (a)
Abril	7 ± 1	185 ± 7	93 ± 4	1,0 ± 0,2	787 ± 67	< 12 (a)
Maió	< 7 (a)	331 ± 6	162 ± 3	< 1,0 (a)	754 ± 29	< 16 (a)
Junho	< 8 (a)	123 ± 3	74 ± 2	< 1,3 (a)	740 ± 30	< 21 (a)
Julho	14 ± 6	451 ± 8	221 ± 4	1,7 ± 0,4	709 ± 28	< 16 (a)
Agosto	5 ± 2	173 ± 6	91 ± 4	1,6 ± 0,3	812 ± 70	< 7 (a)
Setembro	< 5 (a)	109 ± 3	63 ± 2	1,7 ± 0,4	834 ± 76	< 19 (a)
Outubro	< 5 (a)	51 ± 2	37 ± 1	2,2 ± 0,4	814 ± 32	< 13 (a)
Novembro	< 9 (a)	190 ± 4	94 ± 2	1,8 ± 0,5	786 ± 32	< 16 (a)
Dezembro	< 5 (a)	94 ± 2	56 ± 2	1,6 ± 0,3	791 ± 34	< 58 (a)
Média ± σ (n=12)	< 7	161 ± 114	86 ± 52	< 1,5	777 ± 58	< 17

(a) Actividade mínima detectável;

Tabela I.15 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ ($Bq\ kg^{-1}$), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila ($\varnothing \leq 63\ \mu m$) colhida no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	7Be
Janeiro	< 18 (a)	122 ± 6	84 ± 6	4,6 ± 1,4	747 ± 72	< 50 (a)
Fevereiro	< 25 (a)	215 ± 9	124 ± 7	< 6,8 (a)	651 ± 89	< 101 (a)
Março	18 ± 9	645 ± 23	347 ± 14	< 3,2 (a)	770 ± 89	< 56 (a)
Abril	28 ± 1	709 ± 23	387 ± 14	< 4,1 (a)	845 ± 83	< 56 (a)
Mai	< 29 (a)	802 ± 23	479 ± 15	< 6,7 (a)	806 ± 103	< 149 (a)
Junho	36 ± 19	557 ± 16	339 ± 12	< 6,0 (a)	527 ± 91	< 88 (a)
Julho	34 ± 17	530 ± 14	300 ± 10	8,4 ± 2,2	726 ± 80	< 84 (a)
Agosto	< 17 (a)	235 ± 10	168 ± 8	7,8 ± 1,7	754 ± 89	< 36 (a)
Setembro	< 27 (a)	201 ± 7	140 ± 6	6,6 ± 1,8	714 ± 79	< 123 (a)
Outubro	< 26 (a)	342 ± 12	197 ± 8	4,5 ± 1,5	730 ± 70	< 44 (a)
Novembro	< 15 (a)	531 ± 17	321 ± 12	< 3,7 (a)	832 ± 70	< 43 (a)
Dezembro	< 28 (a)	447 ± 13	262 ± 10	< 5,5 (a)	746 ± 91	< 87 (a)
Média ± σ (n=12)	< 25	445 ± 211	262 ± 115	< 5,7	737 ± 85	< 76

Tabela I.16 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ ($Bq\ kg^{-1}$), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ($\varnothing < 1mm$) colhidos no rio Tejo, em Valada do Ribatejo

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	7Be
Janeiro	< 3 (a)	30 ± 1	19 ± 1	0,7 ± 0,2	854 ± 40	< 4 (a)
Fevereiro	< 2 (a)	19 ± 1	13 ± 1	< 0,5 (a)	887 ± 37	< 6 (a)
Março	< 2 (a)	20 ± 1	15 ± 1	< 0,4 (a)	782 ± 35	< 5 (a)
Abril	< 3 (a)	60 ± 2	34 ± 1	0,7 ± 0,2	850 ± 38	< 5 (a)
Mai	< 3 (a)	29 ± 1	19 ± 1	0,9 ± 0,2	934 ± 42	< 6 (a)
Junho	< 2 (a)	16 ± 1	13 ± 1	0,7 ± 0,3	907 ± 40	< 6 (a)
Julho	< 3 (a)	37 ± 1	26 ± 1	1,2 ± 0,2	870 ± 39	< 10 (a)
Agosto	< 3 (a)	13 ± 1	11 ± 1	0,6 ± 0,2	936 ± 42	< 4 (a)
Setembro	< 3 (a)	15 ± 1	11 ± 1	< 0,3 (a)	840 ± 37	< 8 (a)
Outubro	< 3 (a)	19 ± 1	14 ± 1	1,2 ± 0,2	877 ± 39	< 0,04 (a)
Novembro	< 3 (a)	34 ± 1	24 ± 1	0,9 ± 0,3	899 ± 40	< 5 (a)
Dezembro	< 2 (a)	24 ± 1	17 ± 1	0,7 ± 0,2	964 ± 50	< 4 (a)
Média ± σ (n=12)	< 3	26 ± 13	18 ± 7	< 0,7	883 ± 50	< 5

(a) Actividade mínima detectável;

Tabela I.17 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ($250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$) colhida no rio Tejo, em Valada do Ribatejo

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	< 5 (a)	94 ± 3	51 ± 2	< 0,7 (a)	795 ± 46	< 12 (a)
Fevereiro	< 6 (a)	67 ± 2	41 ± 1	1,1 ± 0,4	849 ± 32	< 13 (a)
Março	< 6 (a)	68 ± 2	44 ± 1	< 0,8 (a)	846 ± 33	< 18 (a)
Abril	< 3 (a)	119 ± 3	63 ± 2	0,7 ± 0,2	840 ± 41	< 9 (a)
Mai	< 6 (a)	48 ± 2	32 ± 1	< 0,8 (a)	888 ± 34	< 15 (a)
Junho	< 5 (a)	48 ± 2	32 ± 1	2,1 ± 0,4	822 ± 63	< 14 (a)
Julho	< 2 (a)	52 ± 2	34 ± 1	1,2 ± 0,2	825 ± 40	< 7 (a)
Agosto	< 2 (a)	30 ± 1	23 ± 1	1,7 ± 0,2	985 ± 47	< 4 (a)
Setembro	< 5 (a)	58 ± 2	36 ± 1	< 0,8 (a)	886 ± 36	< 17 (a)
Outubro	< 4 (a)	39 ± 2	32 ± 1	3,2 ± 0,7	896 ± 34	< 11 (a)
Novembro	< 5 (a)	67 ± 2	41 ± 1	1,0 ± 0,3	821 ± 32	< 18 (a)
Dezembro	< 5 (a)	55 ± 2	36 ± 1	1,2 ± 0,3	835 ± 33	< 10 (a)
Média ± σ (n=12)	< 5	62 ± 24	39 ± 10	< 1,3	857 ± 50	< 12

Tabela I.18 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila (fracção $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$) colhida no rio Tejo, em Valada do Ribatejo

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	< 14 (a)	460 ± 17	251 ± 10	< 3,3 (a)	813 ± 96	< 55
Fevereiro	< 14 (a)	202 ± 9	120 ± 6	< 2,6 (a)	824 ± 10	< 34
Março	< 10 (a)	188 ± 8	114 ± 6	< 2,0 (a)	816 ± 84	< 44
Abril	15 ± 8	288 ± 11	166 ± 8	3,1 ± 1,2	828 ± 87	< 46
Mai	< 22 (a)	539 ± 21	289 ± 13	5,4 ± 4,2	743 ± 96	< 67
Junho	< 20 (a)	141 ± 6	92 ± 5	< 7,2 (a)	869 ± 83	< 65
Julho	< 17 (a)	217 ± 7	149 ± 7	5,6 ± 1,7	823 ± 77	< 74
Agosto	< 22 (a)	138 ± 6	102 ± 5	5,7 ± 1,4	1030 ± 78	< 48
Setembro	< 17 (a)	139 ± 6	89 ± 5	< 4,4 (a)	1090 ± 93	< 88
Outubro	< 22 (a)	146 ± 6	90 ± 4	11,9 ± 3,4	927 ± 85	< 67
Novembro	< 22 (a)	217 ± 8	131 ± 6	< 4,0 (a)	785 ± 83	< 108
Dezembro	< 15 (a)	289 ± 10	166 ± 7	< 2,6 (a)	860 ± 72	< 33
Média ± σ (n=12)	< 18	247 ± 130	147 ± 64	< 4,8	867 ± 101	< 61

(a) - Actividade mínima detectável;

Tabela I.19 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ($\varnothing < 1\text{mm}$) colhidos no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	^7Be
Fevereiro	5 ± 2	106 ± 3	64 ± 2	$1,0 \pm 0,2$	642 ± 30	< 9 (a)
Maio	< 5 (a)	105 ± 3	56 ± 2	$< 1,0$ (a)	718 ± 34	< 9 (a)
Agosto	< 5 (a)	109 ± 3	59 ± 2	$< 0,6$ (a)	695 ± 32	< 7 (a)
Novembro	< 5 (a)	125 ± 3	66 ± 2	$< 0,5$ (a)	622 ± 29	< 7 (a)

Tabela I.20 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ($250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$) colhida no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	^7Be
Fevereiro	< 6 (a)	102 ± 3	59 ± 2	$< 0,8$ (a)	660 ± 28	< 12 (a)
Maio	< 4 (a)	98 ± 3	57 ± 2	$< 1,1$ (a)	741 ± 42	< 1 (a)
Agosto	5 ± 2	102 ± 3	57 ± 2	$< 0,9$ (a)	755 ± 37	< 6 (a)
Novembro	< 6 (a)	133 ± 3	74 ± 2	$< 0,7$ (a)	676 ± 28	< 16 (a)

Tabela I.21 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila ($\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$) colhida no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	^7Be
Fevereiro	< 14 (a)	187 ± 8	102 ± 6	$< 2,4$ (a)	684 ± 76	< 38 (a)
Maio	< 7 (a)	161 ± 7	80 ± 4	$< 2,1$ (a)	688 ± 83	< 28 (a)
Agosto	< 16 (a)	240 ± 8	131 ± 6	$< 4,8$ (a)	736 ± 71	< 49 (a)
Novembro	< 21 (a)	216 ± 7	116 ± 5	$< 3,5$ (a)	722 ± 71	< 56 (a)

(a) Actividade mínima detectável;

Tabela I.22 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ ($Bq\ kg^{-1}$), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ($\varnothing < 1mm$) colhidos no rio Tejo, na Barragem de Belver

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	7Be
Fevereiro	< 3 (a)	26 ± 1	19 ± 1	$1,4 \pm 0,4$	862 ± 40	< 5 (a)
Maio	< 3 (a)	49 ± 1	28 ± 1	$1,2 \pm 0,2$	870 ± 39	< 7 (a)
Agosto	< 4 (a)	37 ± 1	24 ± 1	$1,8 \pm 0,2$	805 ± 36	< 4 (a)
Novembro	< 4 (a)	73 ± 2	45 ± 1	$1,2 \pm 0,2$	763 ± 40	< 6 (a)

Tabela I.23 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ ($Bq\ kg^{-1}$), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ($250\ \mu m \geq \varnothing > 63\ \mu m$) colhida no rio Tejo, na Barragem de Belver

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	7Be
Fevereiro	< 5 (a)	66 ± 2	42 ± 1	$2,8 \pm 0,4$	822 ± 32	< 14 (a)
Maio	< 6 (a)	146 ± 4	77 ± 2	$2,6 \pm 0,5$	812 ± 32	< 13 (a)
Agosto	< 7 (a)	87 ± 2	52 ± 1	$3,0 \pm 0,5$	756 ± 30	< 11 (a)
Novembro	< 7 (a)	185 ± 4	104 ± 2	$1,0 \pm 0,3$	742 ± 28	< 11 (a)

Tabela I.24 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ ($Bq\ kg^{-1}$), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila ($\varnothing \leq 63\ \mu m$) colhida no rio Tejo, na Barragem de Belver

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	7Be
Fevereiro	15 ± 4	375 ± 14	211 ± 9	$6,8 \pm 1,4$	741 ± 80	< 5 (a)
Maio	25 ± 6	662 ± 22	342 ± 12	$6,0 \pm 2,0$	862 ± 82	< 67 (a)
Agosto	18 ± 9	421 ± 14	236 ± 9	$8,1 \pm 1,7$	837 ± 68	< 39 (a)
Novembro	36 ± 21	1280 ± 30	677 ± 17	< 6,5 (a)	918 ± 98	< 129 (a)

(a) Actividade mínima detectável;

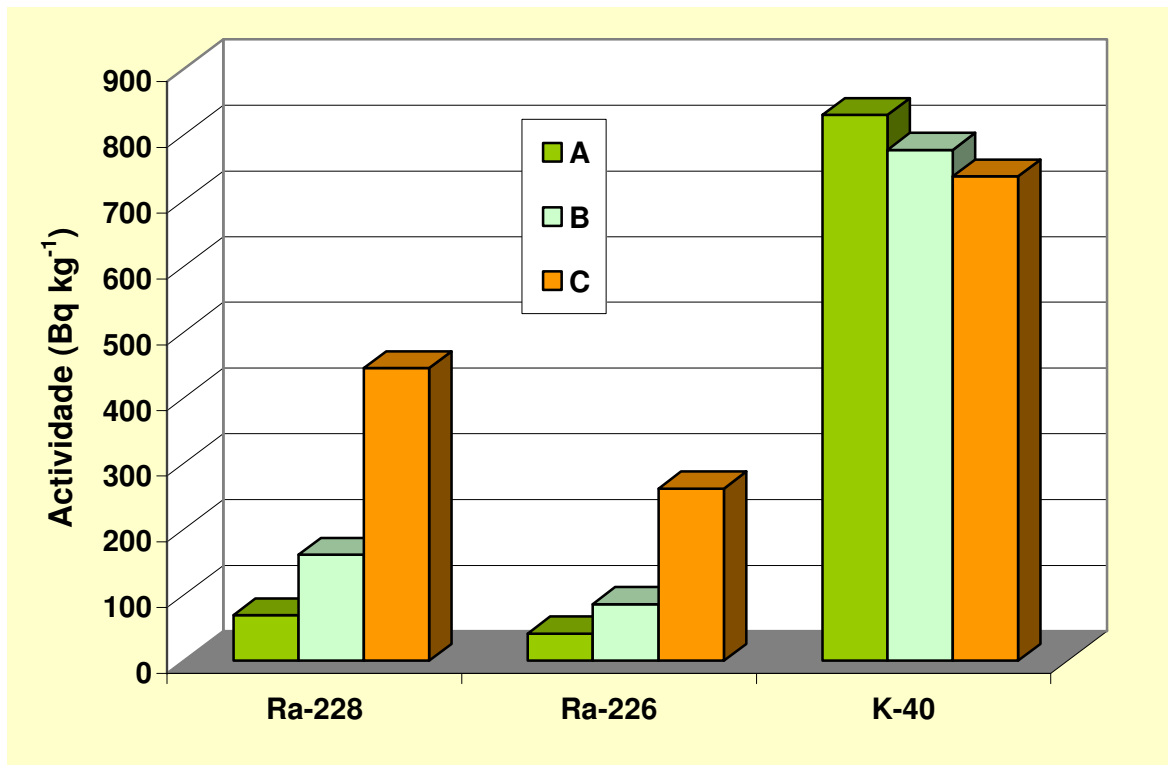


Figura I.9- Variação da actividade específica (Bq kg⁻¹) em ²²⁸Ra, ²²⁶Ra e ⁴⁰K em sedimentos colhidos no rio Tejo (Vila Velha de Ródão) para diferentes granulometrias: A (Ø < 1mm), B (250 µm ≥ Ø > 63 µm) e C (Ø ≤ 63 µm)

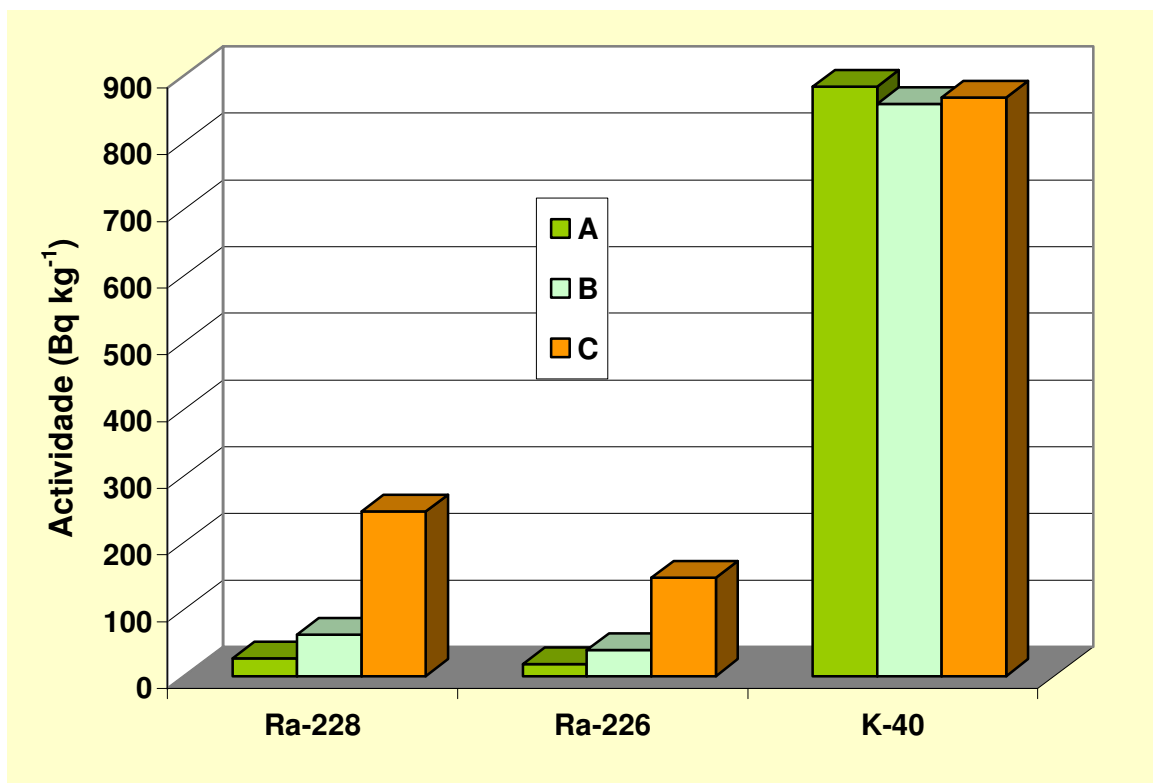


Figura I.10- Variação da actividade específica (Bq kg⁻¹) em ²²⁸Ra, ²²⁶Ra e ⁴⁰K em sedimentos colhidos no rio Tejo (Valada) para diferentes granulometrias: A (Ø < 1mm), B (250 µm ≥ Ø > 63 µm) e C (Ø ≤ 63 µm)

Tabela I.25 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ($\varnothing < 1\text{mm}$) colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana

Data de colheita	Local de amostragem	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 2 (a)	7,4±0,4	3,5 ± 0,3	< 0,4 (a)	428 ± 20	< 4 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	< 3 (a)	26 ± 1	25 ± 1	1,0 ± 0,2	712 ± 32	< 4 (a)
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	< 3 (a)	19 ± 1	18 ± 1	1,7 ± 0,2	219 ± 12	21 ± 4

Tabela I.26 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ($250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$) colhida nos rios Douro, Mondego e Guadiana

Data de colheita	Local de amostragem	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 2 (a)	17 ± 1	9 ± 1	< 0,3 (a)	452 ± 23	< 5 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	< 5 (a)	34 ± 1	35 ± 1	< 0,6 (a)	672 ± 27	< 11 (a)
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	< 4 (a)	20 ± 1	21 ± 1	1,9 ± 0,3	219 ± 12	23 ± 6

Tabela I.27 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila ($\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$) colhida nos rios Douro, Mondego e Guadiana

Data de colheita	Local de amostragem	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 5 (a)	186 ± 11	129 ± 10	< 8,1 (a)	979 ± 150	< 184 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	< 29 (a)	132 ± 6	111 ± 6	< 4,9 (a)	672 ± 89	< 59 (a)
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	< 18 (a)	69 ± 5	54 ± 5	7,6 ± 1,7	536 ± 66	99 ± 47

(a) Actividade mínima detectável;

Peixes

Na Tabela I.28 estão expressos os valores de actividade específica, A , (Bq kg^{-1} , peso de músculo fresco) de radionuclidos naturais e artificiais em peixes capturados nos rios Tejo (V. Velha de Ródão). Pela análise dos resultados verifica-se que as concentrações dos radionuclidos detectados (^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{228}Ra) são inferiores à actividade mínima detectável, com excepção do ^{40}K cujos valores se situam entre $123 \pm 5 \text{ Bq kg}^{-1}$ e $262 \pm 11 \text{ Bq kg}^{-1}$. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos observados em anos anteriores em peixes capturados nos rios Tejo e Douro (Madruga *et al.*, 2006, 2007 & 2008).

Tabela I.28 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1} , músculo fresco), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em peixe capturado no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	Espécie	^{137}Cs	^{226}Ra	^{228}Ra	^{40}K
Janeiro	<i>Cyprinus carpio</i>	< 0,2 (a)	< 0,5 (a)	< 0,3 (a)	262 ± 11
Fevereiro	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,1 (a)	< 0,1 (a)	127 ± 7
Março	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,2 (a)	< 0,2 (a)	127 ± 6
Abril	(b)	-	-	-	-
Maió	(b)	-	-	-	-
Junho	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,2 (a)	< 0,2 (a)	130 ± 7
Julho	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,2 (a)	< 0,2 (a)	129 ± 6
Agosto	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,2 (a)	< 0,1 (a)	138 ± 7
Setembro	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,3 (a)	< 0,2 (a)	123 ± 6
Outubro	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,3 (a)	< 0,2 (a)	125 ± 6
Novembro	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,3 (a)	< 0,2 (a)	123 ± 5
Dezembro	<i>Barbus bocagei L.</i>	< 0,1 (a)	< 0,1 (a)	< 0,1 (a)	137 ± 7

(a) - Actividade mínima detectável; (b) Período de defeso;

I.3.2 Mar

I.3.2.1 Material e Métodos

Procedeu-se a uma colheita anual de amostras de mexilhões em 4 locais de amostragem na Costa Atlântica e em 1 local de amostragem nos Estuários do Tejo e do Sado (Figura 2).

As amostras foram secas em estufa a 80 °C e liofilizadas (tecidos moles de mexilhão), sendo posteriormente incineradas em mufla a 450°C. A totalidade da amostra incinerada foi colocada em porta-amostras adequado e determinou-se a actividade em emissores gama, usando os sistemas de análise e calibrações, já referidos em I.2.2.1.

Para a determinação dos radionuclídeos emissores alfa, usou-se na análise uma amostra de cinzas com aproximadamente 10g, que corresponde normalmente à quase totalidade da amostra. Os radionuclídeos foram extraídos por lixiviação ácida ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$) das cinzas e posteriormente separados e purificados por cromatografia com o auxílio de resinas de troca iónica (BIO-RAD). Os radionuclídeos foram electrodepositados em discos de aço inox e posteriormente medidos por espectrometria α em sistema de medição OCTETE PLUS ORTEC, previamente calibrados, com fontes certificadas (QCRB 4021 Amersham).

I.3.2.2 Resultados e Discussão

Os resultados da actividade específica, A , (Bq kg^{-1} , peso fresco), em mexilhões colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado estão expressos nas Tabelas I.29 e I.30 para os radionuclídeos de origem artificial e natural respectivamente.

Verifica-se que os valores da actividade específica em $^{239+240}\text{Pu}$ variam entre $1,4 \pm 0,8$ mBq kg^{-1} e $4,4 \pm 0,5$ mBq kg^{-1} em mexilhões colhidos no Estuário do Tejo e no Estuário do Sado, respectivamente. Os valores de actividade específica em ^{241}Am são da mesma ordem de grandeza dos obtidos para o Plutónio. Os valores em ^{137}Cs situam-se abaixo da actividade mínima detectável ($0,1$ e $0,3$ Bq kg^{-1}). Relativamente aos isótopos do Urânio, ^{238}U , ^{235}U e ^{234}U verifica-se que as actividades são, em geral, relativamente constantes, com valores variando, por exemplo, entre $0,17 \pm 0,01$ Bq kg^{-1} e $0,42 \pm 0,03$ Bq kg^{-1} e entre $0,007 \pm 0,003$ Bq kg^{-1} e $0,023 \pm 0,006$ Bq kg^{-1} para o ^{238}U e ^{235}U , respectivamente. O valor da razão entre as concentrações dos isótopos ^{234}U e ^{238}U é aproximadamente 1, o que indica a existência de equilíbrio radioactivo secular, contrariamente ao que se verifica para os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{226}Ra , descendentes do ^{238}U . A razão $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ varia entre 1,2 (Matosinhos) e 16 (Figueira da Foz). Quando se compara os valores de concentração em ^{210}Po (variando entre $50,8 \pm 3,5$ Bq kg^{-1} e 238 ± 7 Bq kg^{-1}) com a dos outros radionuclídeos constata-se que os mexilhões acumulam o ^{210}Po em quantidades mais elevadas sendo portanto bons indicadores biológicos.

Estes resultados, quer para os radionuclídeos de origem natural, como para o plutónio, $^{239+240}\text{Pu}$, de origem artificial, são comparáveis aos resultados de anos anteriores para a costa Portuguesa (Oliveira *et al.*, 2005) e francamente mais baixos que as concentrações determinadas em espécies marinhas de outras regiões costeiras da Europa (Carvalho *et al.*, 2004a).

Tabela I.29 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, peso fresco), de radionuclidos de origem artificial em mexilhões colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado

Local de amostragem	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²³⁸ Pu	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs
Matosinhos	$(2,2 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	n.d.	$(1,7 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	< 0,3 (a)
Figueira da Foz	$(2,9 \pm 1,0) \times 10^{-3}$	n.d.	$(1,9 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	< 0,2 (a)
Estuário do Tejo (Cascais)	$(1,4 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	n.d.	$(1,8 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	< 0,2 (a)
Cabo de S. Vicente	$(1,5 \pm 1,0) \times 10^{-3}$	n.d.	$(1,9 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)
Quarteira	$(1,6 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	n.d.	$(1,6 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)
Estuário do Sado	$(4,4 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	n.d.	$(1,6 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)

(a) - Actividade mínima detectável; n.d.- não detectado

Tabela I.30 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, peso fresco), de radionuclidos de origem natural em mexilhões colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado

Local de amostragem	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	⁴⁰ K
Matosinhos	0,22 ± 0,05	0,021 ± 0,006	0,24 ± 0,05	1,0 ± 0,2	1,2 ± 0,1	54,8 ± 3,4	89,3 ± 9,0
Figueira da Foz	0,42 ± 0,03	0,023 ± 0,006	0,47 ± 0,03	0,39 ± 0,07	6,4 ± 0,4	238 ± 7	42,9 ± 4,3
Estuário do Tejo (Cascais)	0,17 ± 0,01	0,007 ± 0,003	0,18 ± 0,02	0,37 ± 0,04	0,85 ± 0,08	51,1 ± 3,6	33,1 ± 3,1
Cabo de S. Vicente	0,31 ± 0,02	0,018 ± 0,004	0,35 ± 0,02	0,88 ± 0,10	2,8 ± 0,2	97,7 ± 6,4	29,1 ± 2,8
Quarteira	0,28 ± 0,02	0,012 ± 0,002	0,31 ± 0,01	0,52 ± 0,10	1,7 ± 0,1	78,6 ± 5,0	35,6 ± 3,2
Estuário do Sado	0,41 ± 0,03	0,016 ± 0,004	0,48 ± 0,03	0,80 ± 0,20	1,8 ± 0,1	50,8 ± 3,5	36,5 ± 3,3

I. 4 RADIOACTIVIDADE EM ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Os radionuclídeos naturais presentes nas águas para consumo humano são o ^3H , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{222}Rn e descendentes, com actividades bastante variáveis. Ocasionalmente, a presença de ^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{226}Ra poderá ser devida à actividade humana (centros nucleares, actividade mineira, etc.). A determinação da radioactividade em água para consumo humano pode ser efectuada através das medições alfa e beta totais, as quais dão uma indicação dos níveis globais de actividade devida aos radionuclídeos naturais e artificiais emissores alfa e beta e/ou através da análise de radionuclídeos específicos.

I.4.1 Material e Métodos

Recolheram-se amostras de água para consumo humano em Lisboa (Figura I.1) com uma periodicidade mensal. Recolheram-se também amostras de água em localidades seleccionadas aleatoriamente de modo a abranger todas as regiões do país (Figura I.2). As amostras de água foram recolhidas em torneiras de distribuição ao público e acidificadas na altura da colheita tendo-se determinado posteriormente as actividades alfa e beta totais, beta residual e a concentração em ^3H .

As metodologias utilizadas para a determinação das actividades alfa total e beta total e da concentração em ^3H estão expressas em I.2.2.1. A actividade beta residual foi determinada de acordo com o descrito em I.3.1.1. Nas amostras de água colhidas em Lisboa procedeu-se também à determinação das actividades em ^{137}Cs e ^{90}Sr por medição beta conforme procedimento descrito em I.2.2.1.

I.4.2 Resultados e Discussão

Nas Tabelas I.31 e I.32 estão expressos os valores da actividade específica, A , (Bq L^{-1}) em ^3H e da actividade alfa total, beta total, beta residual e ^{40}K em águas para consumo humano recolhidas mensalmente em Lisboa e aleatoriamente em vários locais do país, respectivamente. Na Tabela I.31 apresentam-se ainda os valores de actividade específica em ^{137}Cs e ^{90}Sr . Como se pode observar, os valores de actividade específica em ^{137}Cs , situam-se abaixo do valor de actividade mínima detectável, sendo o valor médio anual inferior a $0,9 \text{ mBq L}^{-1}$. Relativamente ao ^{90}Sr os valores observados apresentam uma maior dispersão e são ligeiramente superiores aos obtidos para o ^{137}Cs com um valor médio anual inferior a $1,7 \text{ mBq L}^{-1}$. Valores médios anuais de actividade específica, variando entre $0,015$ e $0,18 \text{ mBq L}^{-1}$ e entre $1,4$ e 16 mBq L^{-1} para o ^{137}Cs e ^{90}Sr respectivamente, foram medidos em Espanha durante o ano 2007 (Heredia *et al.*, 2008).

Constata-se que, os valores das actividades alfa e beta totais são relativamente constantes, com valores médios anuais de $0,021 \pm 0,010 \text{ Bq L}^{-1}$ para a actividade alfa total e de $0,074 \pm 0,019 \text{ Bq L}^{-1}$ para a actividade beta total em Lisboa. Os valores de actividade em ^{40}K

calculados a partir da concentração em potássio na água são relativamente constantes para a água recolhida em Lisboa e variam de cerca de uma ordem de grandeza para as águas recolhidas aleatoriamente em todo o país o que está relacionado com as diferentes origens da água. O valor médio anual obtido para a actividade beta residual na água de Lisboa é de $0,031 \pm 0,019 \text{ Bq L}^{-1}$. Verifica-se que cerca de 50% da actividade beta total nesta água é devida à contribuição da actividade em ^{40}K (Tabela I.31). Os valores de actividade alfa e beta total observados nas amostras de água recolhidas em vários locais do país são da mesma ordem de grandeza dos medidos na água de Lisboa e inferiores aos valores paramétricos recomendados no Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto (alfa total: $0,5 \text{ Bq L}^{-1}$; beta total: 1 Bq L^{-1}).

Valores médios anuais variando entre $0,028$ e $0,522 \text{ Bq L}^{-1}$ para a actividade alfa total e entre $0,035$ e $0,431 \text{ Bq L}^{-1}$ para a actividade beta total foram observados na Irlanda (O'Keeffe *et al.*, 2006) entre 1997 e 2002. Foram reportados valores médios anuais em águas para consumo humano recolhidas nas principais cidades espanholas (Heredia *et al.*, 2008) durante o ano 2007, variando entre $0,001$ e $0,1 \text{ Bq L}^{-1}$ e entre $0,013$ e $0,640 \text{ Bq L}^{-1}$ para as actividades alfa e beta total respectivamente.

Os valores de actividade em ^3H nas amostras de água recolhidas ao longo do país (Tabela I.32) situam-se, na maioria dos casos, abaixo do valor da actividade mínima detectável ($0,8 \text{ Bq L}^{-1}$) e são ligeiramente inferiores, com excepção da água proveniente do Porto ($2,5 \pm 0,3 \text{ Bq L}^{-1}$) aos valores obtidos para a água de Lisboa (Tabela I.31). Esta diferença pode estar relacionada com a proveniência da água, que pode ser de origem subterrânea ou superficial. Estes valores são da ordem de grandeza dos observados em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2006, 2007, 2008 & 2009b) e muito inferiores a 100 Bq L^{-1} , valor paramétrico estipulado na Lei da Água (Decreto-Lei 306/2007 de 27 de Agosto). Para Espanha, foram reportados valores médios anuais em ^3H variando entre $0,4 \text{ Bq L}^{-1}$ e $1,0 \text{ Bq L}^{-1}$ e entre $0,08 \text{ Bq L}^{-1}$ e $1,4 \text{ Bq L}^{-1}$ para os anos 2006 e 2007 respectivamente (Heredia *et al.*, 2007 & 2008).

Com base nas médias anuais das actividades em ^{90}Sr , ^{137}Cs e ^3H determinadas na água de consumo colhida em Lisboa (Tabela I.31), considerando os respectivos factores de dose de $2,8 \times 10^{-8}$, $1,3 \times 10^{-8}$ e $1,8 \times 10^{-11} \text{ Sv Bq}^{-1}$ (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996) e um consumo anual *per capita* de 730 litros (WHO) obteve-se o valor de $0,072 \mu\text{Sv a}^{-1}$ para a dose efectiva de radiação devida à ingestão desta água. A maior contribuição para a dose foi devida ao ^{90}Sr (48%). Os valores de dose efectiva são idênticos aos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2007, 2008, 2009c). Na Finlândia, a dose de radiação devida à ingestão dos radionuclídeos ^{90}Sr , ^{137}Cs e ^3H através da água de consumo variou entre $0,03$ e $0,4 \mu\text{Sv a}^{-1}$ nos anos de 2006 (STUK-B 77, 2007) e 2007 (STUK-B 91, 2008).

Tabela I.31 – Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, ⁴⁰K, alfa e beta totais e beta residual em água para consumo humano colhida em Lisboa

Data de colheita	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	³ H	Alfa Total	Beta Total	Concentração em K ⁺ (mg L ⁻¹)	⁴⁰ K	Beta Residual
Janeiro	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,7 x 10 ⁻³ (c)	1,5 ± 0,5	0,021 ± 0,006	0,072 ± 0,006	2,38 ± 0,11	0,066 ± 0,003	(e)
Fevereiro	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	1,0 ± 0,5	< 0,014 (d)	0,066 ± 0,005	1,91 ± 0,11	0,053 ± 0,003	0,013 ± 0,008
Março	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,4 x 10 ⁻³ (c)	2,3 ± 0,6	< 0,012 (d)	0,049 ± 0,004	1,53 ± 0,11	0,042 ± 0,003	(e)
Abril	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,5 x 10 ⁻³ (c)	3,7 ± 0,6	0,014 ± 0,004	0,054 ± 0,004	1,31 ± 0,11	0,036 ± 0,003	0,018 ± 0,007
Maió	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	< 1,7 x 10 ⁻³ (c)	1,9 ± 0,3	< 0,023 (d)	0,080 ± 0,007	1,70 ± 0,11	0,047 ± 0,003	0,033 ± 0,009
Junho	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	< 1,2 x 10 ⁻³ (c)	2,6 ± 0,6	0,046 ± 0,007	0,087 ± 0,006	1,82 ± 0,11	0,050 ± 0,003	0,037 ± 0,009
Julho	< 1,0 x 10 ⁻³ (b)	(3,1 ± 0,5) x 10 ⁻³	< 0,8 (a)	0,022 ± 0,004	0,094 ± 0,004	0,97 ± 0,11	0,027 ± 0,003	0,067 ± 0,008
Agosto	< 1,0 x 10 ⁻³ (b)	< 1,4 x 10 ⁻³ (c)	3,9 ± 0,6	0,013 ± 0,003	0,045 ± 0,003	0,92 ± 0,11	0,025 ± 0,003	0,020 ± 0,007
Setembro	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	(1,7 ± 0,2) x 10 ⁻³	2,8 ± 0,6	0,022 ± 0,005	0,079 ± 0,006	1,84 ± 0,09	0,051 ± 0,003	0,028 ± 0,008
Outubro	< 0,8 x 10 ⁻³ (b)	(1,8 ± 0,3) x 10 ⁻³	4,0 ± 0,6	0,034 ± 0,007	0,108 ± 0,008	1,66 ± 0,09	0,046 ± 0,003	0,062 ± 0,009
Novembro	< 0,9 x 10 ⁻³ (b)	(2,0 ± 0,3) x 10 ⁻³	1,1 ± 0,6	0,019 ± 0,004	0,085 ± 0,006	2,09 ± 0,09	0,058 ± 0,003	0,027 ± 0,008
Dezembro	< 1,2 x 10 ⁻³ (b)	(2,2 ± 0,3) x 10 ⁻³	1,0 ± 0,5	< 0,011 (d)	0,073 ± 0,004	1,41 ± 0,09	0,039 ± 0,003	0,034 ± 0,006
Média ± σ	< 0,9 x 10 ⁻³ (n=12)	< 1,7 x 10 ⁻³ (n=12)	< 2,2 (n=12)	0,021 ± 0,010 (n=12)	0,074 ± 0,019 (n=12)	1,64 ± 0,43 (n=12)	0,036 ± 0,011 (n=12)	0,031 ± 0,019 (n=11)

Actividade mínima detectável em ³H (a), ¹³⁷Cs (b), ⁹⁰Sr (c) e actividade alfa total (d); não se reporta o valor porque a incerteza associada é superior a 100% (e);

Tabela I.32 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ³H, ⁴⁰K, alfa e beta totais e beta residual em água para consumo humano colhida em vários locais do país

Data de colheita	Local de Amostragem	³ H	Alfa Total	Beta Total	Concentração em K ⁺ (mg L ⁻¹)	⁴⁰ K	Beta Residual
Março	Covilhã	< 0,8 (a)	0,005 ± 0,001	0,014 ± 0,001	< 0,68 (c)	(d)	(d)
Março	Guarda	< 0,8 (a)	< 0,006 (b)	0,019 ± 0,002	< 0,68 (c)	(d)	(d)
Abril	Monsaraz	< 0,8 (a)	< 0,030 (b)	0,118 ± 0,010	4,14 ± 0,11	0,115 ± 0,003	(e)
Abril	Vendinha	1,4 ± 0,6	0,037 ± 0,010	0,116 ± 0,010	3,57 ± 0,11	0,099 ± 0,003	0,017 ± 0,012
Maiο	Portimão	< 0,8 (a)	< 0,036 (b)	0,046 ± 0,009	1,73 ± 0,11	0,048 ± 0,003	(e)
Maiο	Porto	2,5 ± 0,3	0,010 ± 0,003	0,083 ± 0,004	2,48 ± 0,11	0,069 ± 0,003	0,014 ± 0,007
Maiο	Vagos	< 0,8 (a)	0,142 ± 0,021	0,244 ± 0,016	6,12 ± 0,13	0,169 ± 0,004	0,075 ± 0,018
Setembro	Alenquer	< 0,8 (a)	0,035 ± 0,008	0,068 ± 0,007	0,93 ± 0,09	0,026 ± 0,003	0,042 ± 0,009

Actividade mínima detectável em ³H (a) e actividade alfa total (b); Limite de quantificação (c); não foi possível determinar porque a concentração em K⁺ é inferior ao limite de quantificação (d); não se reporta o valor porque a incerteza associada é superior a 100% (e)

I.5 RADIOACTIVIDADE EM COMPONENTES DA CADEIA ALIMENTAR

A avaliação do nível de radioactividade na dieta mista dá uma indicação da potencial contaminação radioactiva do Homem através dos alimentos. Essa avaliação poderá ser feita através da análise dos alimentos individualizados ou de refeições completas.

O consumo de leite e derivados constitui uma das vias mais importantes de transferência dos radionuclidos do ambiente para o Homem. O seu controlo dá uma indicação imediata da contaminação radioactiva das pastagens, originada pelas deposições atmosféricas. Em caso de contaminação os radionuclidos artificiais normalmente detectados são o ^{131}I , ^{137}Cs e ^{90}Sr . O ^{40}K sendo um radionuclido de origem natural está também presente no leite. O ^{131}I é um radionuclido de origem artificial que poderá ser libertado para o ambiente devido ao mau funcionamento de uma instalação nuclear ou após um acidente nuclear.

I.5.1 Material e Métodos

Componentes Individuais e Refeição Completa

O plano de amostragem dos diferentes componentes da cadeia alimentar consistiu na obtenção de: *i*) amostras mensais de carne, fruta, vegetal e tubérculo adquiridas ao produtor, e cuja recolha foi efectuada no Continente, pela Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE), e nas Ilhas, pela Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores e pela Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais da Madeira (Figura I.2); *ii*) uma amostra anual de carne, fruta, vegetal e tubérculo adquiridos em Nisa, na região de V. Velha de Ródão (Figura I.2); e, *iii*) uma amostra anual (carne, fruta, vegetal, farinha, peixe, marisco) adquirida em supermercados da área de Lisboa (Figura I.2). Com este plano, procurou-se que as amostragens dos diferentes componentes fossem as mais representativas possíveis da situação nacional.

As amostras de refeição completa (correspondendo ao almoço e jantar) foram recolhidas, mensalmente, na cantina da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Figura I.1). A composição de cada amostra está descrita na Tabela I.34.

As amostras de componentes da cadeia alimentar e de refeições completas foram trituradas, homogeneizadas e colocadas em porta-amostras de 1 litro com a geometria “Marinelli”. As medições de radioactividade foram efectuadas, por espectrometria gama.

Leite

Foram analisadas amostras de leite em natureza (sem qualquer tratamento) provenientes do produtor, através das cooperativas leiteiras, e recolhidas nos tanques à entrada das fábricas de transformação e distribuição de leite e produtos lácteos. Foram analisadas amostras mensais recolhidas na Lactogal (Vila do Conde) e Serraleite (Portalegre) (Figura I.1) e amostras trimestrais na Lactogal (Tocha-Contanhede) e Parmalat (Águas de Moura) (Figura

I.2). Procedeu-se também à análise de amostras semestrais de leite adquiridas directamente ao produtor, provenientes dos Açores e da Madeira (Figura I.2). Estas amostras foram também recolhidas pelas entidades referidas anteriormente para a colheita de alimentos.

Determinou-se a actividade específica em ^{137}Cs , ^{40}K e ^{90}Sr nestas amostras. Para a determinação das actividades em ^{137}Cs e ^{40}K , foi utilizada como metodologia, a análise por espectrometria gama (geometria “Marinelli”) efectuada directamente numa amostra de 1 litro de leite. Para a determinação do ^{90}Sr , procedeu-se à separação deste radionuclido de outros elementos interferentes fazendo-se passar a amostra, após a incineração e diluição em meio ácido, através de uma resina específica para o estrôncio (Eichrom). A medição beta na solução foi efectuada por cintilação líquida usando um espectrómetro Packard Tri-Card 3170 TR/SL. A actividade em ^{90}Sr foi determinada após o equilíbrio radioactivo entre o ^{90}Sr e o seu descendente ^{90}Y (Lopes and Madruga, 2009a & 2009b).

1.5.2 Resultados e Discussão

Componentes Individuais e Refeição Completa

Na Tabela I.33 estão expressos os valores das actividades específicas, A (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos artificiais (^{137}Cs) e naturais (^{40}K e ^7Be) detectados em produtos da cadeia alimentar recolhidos em várias regiões de Portugal Continental, na Madeira e nos Açores.

Da análise dos resultados constata-se que a actividade específica em ^{137}Cs se situa abaixo dos valores da actividade mínima detectável ($0,1\text{-}0,3 \text{ Bq kg}^{-1}$, dependendo das condições de medição), com excepção dos valores medidos ($0,8\pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ e $0,7\pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$) em amostras de carne provenientes dos Açores. O ^{40}K apresenta valores mais elevados, que variam entre $20\pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$ (maçã proveniente de Santana na Região Autónoma da Madeira) e $150\pm 7 \text{ Bq kg}^{-1}$ (batata proveniente de Nisa). Relativamente ao ^7Be , os valores são inferiores à actividade mínima detectável, com excepção do valor obtido para um amostra de couve ($4,4\pm 1,3 \text{ Bq kg}^{-1}$) proveniente dos Açores. A ocorrência de vestígios de ^7Be em couves está relacionada com a proveniência do ^7Be que, sendo um radionuclido de origem cósmica ao ser transportado pela água da chuva se deposita na biosfera e principalmente nos vegetais.

Os resultados em ^{137}Cs , ^{40}K e ^7Be são consistentes com as medições efectuadas em anos anteriores em produtos da cadeia alimentar (Madruga *et al.*, 2006, 2007, 2008 & 2009c).

No Reino Unido, foram observados valores médios anuais inferiores a $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ e 100 Bq kg^{-1} respectivamente para o ^{137}Cs e ^{40}K (RIFE-11, 2006; RIFE-12, 2007; RIFE-13, 2008).

Os valores da actividade específica, A (Bq kg^{-1}), em refeições completas estão expressos na Tabela I.34.

Da análise dos resultados pode constatar-se que os valores de actividade específica em ^{137}Cs e ^7Be são inferiores aos valores da actividade mínima detectável e idênticos aos obtidos para os componentes da cadeia alimentar individualizados. No que se refere ao ^{40}K os valores são relativamente constantes, variando entre 39 ± 3 e 69 ± 4 Bq kg⁻¹, situando-se na gama dos valores obtidos para os componentes da cadeia alimentar individualizados. Resultados semelhantes foram obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2006 & 2007, 2008 & 2009c).

No Reino Unido (RIFE-11, 2006; RIFE-12, 2007; RIFE-13, 2008) foram observados valores inferiores a 0,08 Bq kg⁻¹ para o ^{137}Cs em amostras de refeições completas adquiridas em cantinas, durante os anos de 2005 a 2007. Os mesmos autores reportam para o ^{40}K valores que variam entre 70 e 120 Bq kg⁻¹.

Quanto à contribuição para a dose de radiação devida à ingestão da dieta mista, e tendo em consideração que na maioria dos casos, a radioactividade referente aos radionuclídeos artificiais é inferior à actividade mínima detectável (Tabelas I.33 e I.34) a dose de radiação devida à ingestão de ^{137}Cs deverá ser inferior a 2 µSv a⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2007, 2008 & 2009c). Na Finlândia foram observados valores inferiores a 20 e 10 µSv para a dose de radiação em ^{137}Cs devida à ingestão de produtos da cadeia alimentar durante os anos de 2003 (STUK-B-TKO5, 2004) e 2004 (STUK-B-TKO6, 2005) respectivamente.

Tabela I.33 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, peso fresco), dos radionuclidos ¹³⁷Cs, ⁴⁰K e ⁷Be em produtos da cadeia alimentar

Entidade responsável pela colheita	Data de colheita	Local de colheita	Produto	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
ASAE (Região Alentejo)	Janeiro	Estremoz	Alface	<0,2 (a)	91 ± 12	<1,3 (a)
			Batata	<0,1 (a)	110 ± 7	<0,1 (a)
			Maçã	<0,1 (a)	32 ± 3	<1,0 (a)
		Sousel	Carne (Suíno)	<0,1 (a)	93 ± 5	<1,1 (a)
ASAE (Região Centro)	Janeiro	Lavos	Couve	<0,2 (a)	105 ± 14	<1,7 (a)
			Cenoura	<0,2 (a)	78 ± 10	<0,8 (a)
		Leiria	Maçã	<0,1 (a)	33 ± 2	<0,9 (a)
			Carne (Suíno)	<0,2 (a)	99 ± 13	<0,8 (a)
Direcção Regional de Agricultura da Região Autónoma da Madeira	Fevereiro	Santana	Couve	<0,1 (a)	90 ± 12	<1,1 (a)
			Batata	<0,2 (a)	131 ± 17	<0,8 (a)
			Maçã	<0,1 (a)	20 ± 3	<0,8 (a)
		S ^{ta} Cruz	Carne (Suíno)	<0,1 (a)	122 ± 5	<0,9 (a)
ASAE (Região Norte)	Fevereiro	Mindelo	Couve	<0,1 (a)	90 ± 6	<0,9 (a)
			Batata	<0,2 (a)	146 ± 7	<1,4 (a)
		Lamego Barcelos	Maçã	<0,1 (a)	37 ± 5	<1,1 (a)
			Carne (Bovino)	<0,2 (a)	107 ± 5	<1,9 (a)
ASAE (Região Algarve)	Março	Albufeira	Couve	<0,1 (a)	76 ± 5	<1,0 (a)
			Batata	<0,1 (a)	127 ± 16	<0,8 (a)
			Maçã	<0,1 (a)	31 ± 4	<0,6 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	96 ± 5	<1,0 (a)
Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores	Abril	Ilha do Pico (Açores)	Couve	<0,2 (a)	113 ± 15	<1,6 (a)
			Batata	<0,2 (a)	150 ± 7	<1,2 (a)
			Laranja	<0,2 (a)	44 ± 6	<0,7 (a)
			Carne (Bovino)	0,7 ± 0,1	95 ± 12	<0,8 (a)
ASAE (Região de Lisboa e Vale do Tejo)	Abril	Montijo	Couve	<0,1 (a)	64 ± 4	<1,1 (a)
			Batata	<0,1 (a)	106 ± 5	<1,3 (a)
			Pêra	<0,1 (a)	38 ± 5	<0,7 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	119 ± 5	<0,9 (a)
ASAE (Região Centro)	Maio	Leiria	Couve	<0,2 (a)	50 ± 5	<1,1 (a)
			Batata	<0,1 (a)	103 ± 5	<1,3 (a)
			Maçã	<0,1 (a)	39 ± 4	<1,1 (a)
			Carne (Bovino)	<0,2 (a)	107 ± 1	<0,7 (a)
Instituto Tecnológico e Nuclear	Junho	Nisa	Couve	<0,1 (a)	110 ± 6	<1,3 (a)
			Batata	<0,2 (a)	150 ± 7	<1,1 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	116 ± 6	<1,2 (a)

Actividade mínima detectável (a);

Tabela I.33: continuação

Entidade responsável pela colheita	Data de colheita	Local de colheita	Produto	^{137}Cs	^{40}K	^7Be
ASAE (Região Norte)	Junho	Porto	Alface	<0,2 (a)	75 ± 5	<1,9 (a)
			Batata	<0,2 (a)	127 ± 6	<1,0 (a)
		Braga	Maçã	<0,1 (a)	37 ± 3	<0,8 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	113 ± 10	<1,2 (a)
ASAE (Região Alentejo)	Junho	Évora	Couve	<0,1 (a)	90 ± 4	<1,0 (a)
			Batata	<0,1 (a)	140 ± 18	<1,0 (a)
		Portalegre	Laranja	<0,1 (a)	41 ± 3	<1,0 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	120 ± 7	<0,8 (a)
Instituto Tecnológico e Nuclear	Julho	Supermercado da região de Lisboa	Tomate	<0,1 (a)	76 ± 7	<0,6 (a)
			Melão	<0,1 (a)	63 ± 4	<0,8 (a)
			Farinha trigo	<0,2 (a)	55 ± 5	<1,5 (a)
			Mexilhão	<0,1 (a)	59 ± 3	<0,8 (a)
			Sardinha	<0,2 (a)	100 ± 5	<1,0 (a)
			Carne (Peru)	<0,1 (a)	119 ± 9	<0,8 (a)
Direcção Regional de Agricultura da Região Autónoma da Madeira	Setembro	Santana	Couve	<0,1 (a)	80 ± 5	<0,8 (a)
			Batata	<0,1 (a)	133 ± 10	<0,8 (a)
			Maçã	<0,1 (a)	27 ± 3	<1,2 (a)
		S ^{ta} Cruz	Carne (Suíno)	<0,1 (a)	103 ± 8	<1,0 (a)
ASAE (Região Algarve)	Setembro	Faro	Alface	<0,1 (a)	90 ± 8	<1,4 (a)
			Laranja	<0,1 (a)	46 ± 4	<0,8 (a)
			Batata	<0,1 (a)	125 ± 10	<1,1 (a)
			Carne (Bovino)	<0,2 (a)	111 ± 6	<1,2 (a)
ASAE (Região Centro)	Outubro	Coimbra	Couve	<0,2 (a)	102 ± 6	<1,3 (a)
			Batata	<0,1 (a)	105 ± 8	<0,8 (a)
			Maçã	<0,1 (a)	32 ± 3	<0,6 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	100 ± 8	<0,8 (a)
Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores	Novembro	Ilha do Pico (Açores)	Couve	<0,3 (a)	123 ± 7	4,4 ± 1,3
			Batata	<0,1 (a)	131 ± 10	<0,8 (a)
			Laranja	<0,2 (a)	39 ± 3	<1,3 (a)
			Carne (Bovino)	0,8 ± 0,1	90 ± 7	<0,8 (a)
ASAE (Região Norte)	Novembro	Póvoa de Varzim	Couve	<0,2 (a)	96 ± 8	<1,1 (a)
			Maçã	<0,1 (a)	41 ± 4	<0,9 (a)
			Cebola	<0,1 (a)	52 ± 4	<1,0 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	107 ± 5	<1,1 (a)
ASAE (Região Lisboa e Vale do Tejo)	Dezembro	Lisboa	Couve	<0,1 (a)	46 ± 4	<0,8 (a)
			Maçã	<0,1 (a)	34 ± 2	<0,5 (a)
		Setúbal	Batata	<0,2 (a)	128 ± 8	<1,4 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	88 ± 7	<1,2 (a)

Actividade mínima detectável (a);

Tabela I.34 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, peso fresco), dos radionuclidos ¹³⁷Cs, ⁴⁰K e ⁷Be em refeições completas adquiridas na cantina da Faculdade de Ciências de Lisboa

Data de Colheita	Composição das refeições	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	Sopa de legumes, carne assada com arroz, peixe estufado com batata cozida, gelatina, laranja, tostas e pão.	<0,1 (a)	66 ± 4	<0,9 (a)
Fevereiro	Sopa de legumes, peixe estufado com batata cozida, peru estufado com arroz, pudim de caramelo, pêra e pão.	<0,2 (a)	62 ± 3	<1,1 (a)
Março	Sopa de legumes, filetes de pescada com arroz, coelho com batata cozida, gelatina, maçã e pão.	<0,2 (a)	61 ± 4	<0,9 (a)
Abril	Sopa de legumes, peru com arroz, carne de vaca com massa, pudim, maçã e pão.	<0,1 (a)	40 ± 3	<1,2 (a)
Maió	Sopa de feijão com lombardo, carne de vaca estufada com arroz branco, peixe assado no forno com batata cozida, bolo, maçã e pão.	0,29 ± 0,05	58 ± 3	<0,8 (a)
Junho	Sopa Juliana, peixe assado no forno com batata cozida, carne de vaca estufada com arroz branco, molotof, maçã e pão.	<0,2 (a)	61 ± 4	<0,9 (a)
Julho	Sopa de agrião, cação com batata cozida, espetada de porco com arroz branco, arroz doce, laranja e pão.	<0,1 (a)	55 ± 4	<1,2 (a)
Agosto	Sopa Juliana, peixe assado no forno com batata cozida, coelho estufado com arroz branco, arroz doce, maçã e pão.	<0,1 (a)	58 ± 5	<0,8 (a)
Setembro	Sopa de agrião, salmão grelhado com batata cozida, entrecosto frito com arroz, bolo mármore, maçã e pão.	<0,1 (a)	69 ± 4	<1,0 (a)
Outubro	Sopa de abóbora, almôndegas com arroz, carne de porco frita com arroz, arroz doce, pêra e pão.	<0,2 (a)	39 ± 3	<1,0 (a)
Novembro	Sopa de espinafres, feijoada de carne, bifinhos com cogumelos e natas, com arroz branco, bolo, maçã e pão.	<0,1 (a)	47 ± 4	<0,4 (a)
Dezembro	Sopa Juliana, peixe estufado com batata cozida, febras fritas com arroz branco, bolo, pêra e pão.	<0,1 (a)	61 ± 5	<0,3 (a)

Actividade mínima detectável (a);

Leite

Nas Tabelas I.35 a I.39 estão presentes os valores de actividade específica, A (Bq L^{-1}) em ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{40}K em leite proveniente de várias regiões de Portugal Continental e das Ilhas.

Verifica-se que os valores de actividade específica em ^{137}Cs são, em geral, inferiores ao valor da actividade mínima detectável, 0,1-0,2 Bq L^{-1} dependendo das condições de medição. Detectou-se vestígios de ^{137}Cs , $1,2\pm 0,1 \text{ Bq L}^{-1}$, em uma amostra de leite proveniente dos Açores. Relativamente ao ^{90}Sr os valores da actividade mínima detectável, que dependem do fundo radioactivo e do rendimento químico da análise, variam entre 0,029 e 0,069 Bq L^{-1} . Valores mensuráveis foram detectados em amostras provenientes dos Açores, com valores de $0,163\pm 0,059 \text{ Bq L}^{-1}$ e $0,242\pm 0,065 \text{ Bq L}^{-1}$ em Abril e Novembro respectivamente. Os valores de actividade específica em ^{40}K , radionuclido de origem natural, são mais elevados do que os obtidos para o ^{137}Cs e ^{90}Sr e relativamente constantes variando entre $40\pm 3 \text{ Bq L}^{-1}$ e $58\pm 3 \text{ Bq L}^{-1}$. Resultados semelhantes foram obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2006, 2007, 2008 & 2009c).

No Reino Unido (RIFE-12, 2007) foram observados valores inferiores a $0,05 \text{ Bq L}^{-1}$ para o ^{137}Cs e valores entre 0,013 e $0,052 \text{ Bq L}^{-1}$ para o ^{90}Sr em amostras de leite referentes ao ano de 2006. Em 2005, valores médios anuais variando entre 0,009 e $0,064 \text{ Bq L}^{-1}$ para o ^{137}Cs e entre 0,009 e $0,109 \text{ Bq L}^{-1}$ para o ^{90}Sr , dependendo dos locais de amostragem, foram observados em Espanha (Heredia *et al.*, 2006). Valores da mesma ordem de grandeza foram reportados para o ano 2006 e 2007 (Heredia *et al.*, 2007 & 2008).

Procedeu-se ao cálculo da dose devida à ingestão de leite, com base na taxa anual de consumo de 200 litros per capita (EUR 20765 EN, 2005), nos valores de actividade mínima e máxima em ^{90}Sr e ^{137}Cs e nos factores de dose para o ^{90}Sr e ^{137}Cs (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996) aplicáveis a um adulto médio para a categoria de membro do público. Obtiveram-se valores de dose de radiação para o conjunto dos dois radionuclidos que variam entre 0,4 e $0,91 \mu\text{Sv a}^{-1}$, excluindo a contribuição do leite proveniente dos Açores. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2007b & 2008). Considerando os valores máximos das concentrações em ^{137}Cs e ^{90}Sr para o leite dos Açores o valor máximo da dose de radiação aumenta para $4,5 \mu\text{Sv a}^{-1}$. Como já referido anteriormente, este leite apresenta valores em ^{137}Cs uma ordem de grandeza superior ao leite produzido em Portugal Continental.

Estudos realizados na Finlândia (STUK-B-TKO5, 2004; STUK-B77, 2007) referem valores de dose de radiação devida à ingestão de leite entre 0,7 e $2,6 \mu\text{Sv}$ e entre 0,7 e $2,4 \mu\text{Sv}$ para os anos de 2003 e 2006 respectivamente, considerando um consumo *per capita* de 140 litros.

Tabela I.35 – Valores de actividade específica, A (Bq L^{-1}), dos radionuclidos ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{40}K em leite proveniente da Lactogal (Vila do Conde). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ)

Data de colheita	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K
Janeiro	<0,1 (a)	<0,041 (b)	48 ± 4
Fevereiro	<0,2 (a)	$0,094 \pm 0,041$	45 ± 10
Março	<0,1 (a)	<0,036 (b)	49 ± 4
Abril	<0,1 (a)	<0,030 (b)	51 ± 4
Maió	<0,1 (a)	<0,030 (b)	46 ± 6
Junho	<0,1 (a)	<0,037 (b)	47 ± 3
Julho	<0,1 (a)	(c)	52 ± 4
Agosto	<0,1 (a)	<0,042 (b)	48 ± 3
Setembro	<0,1 (a)	<0,046 (b)	49 ± 4
Outubro	<0,1 (a)	<0,044 (b)	50 ± 4
Novembro	<0,1 (a)	<0,048 (b)	52 ± 3
Dezembro	<0,1 (a)	<0,061 (b)	40 ± 4

Actividade mínima detectável em ^{137}Cs (a) e ^{90}Sr (b); (c) Amostra desprezada (rendimento químico baixo)

Tabela L.36 – Valores de actividade específica, A (Bq L^{-1}), dos radionuclidos ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{40}K em leite proveniente da Serraleite (Portalegre). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ)

Data de colheita	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K
Janeiro	<0,1 (a)	<0,038 (b)	58 ± 3
Fevereiro	<0,2 (a)	<0,040 (b)	46 ± 11
Março	<0,1 (a)	<0,034 (b)	49 ± 3
Abril	<0,1 (a)	<0,042 (b)	50 ± 3
Maió	<0,1 (a)	<0,043 (b)	48 ± 6
Junho	<0,1 (a)	<0,044 (b)	52 ± 3
Julho	<0,1 (a)	<0,029 (b)	53 ± 4
Agosto	<0,1 (a)	<0,043 (b)	52 ± 3
Setembro	<0,1 (a)	<0,043 (b)	54 ± 5
Outubro	<0,1 (a)	<0,044 (b)	49 ± 4
Novembro	<0,1 (a)	<0,042 (b)	48 ± 4
Dezembro	<0,1 (a)	<0,049 (b)	49 ± 4

Actividade mínima detectável em ^{137}Cs (a) e ^{90}Sr (b);

Tabela I.37 – Valores de actividade específica, A ($Bq L^{-1}$), dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{40}K em leite proveniente da Lactogal (Tocha). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ)

Data de colheita	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K
Janeiro	<0,1 (a)	<0,041 (b)	50 ± 7
Abril	<0,1 (a)	<0,036 (b)	50 ± 7
Julho	<0,1 (a)	(c)	53 ± 5
Outubro	<0,1 (a)	<0,055 (b)	50 ± 4

Tabela I.38 – Valores de actividade específica, A ($Bq L^{-1}$), dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{40}K em leite proveniente da Parmalat (Águas de Moura). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ)

Data de colheita	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K
Março	<0,1 (a)	<0,038 (b)	52 ± 7
Junho	<0,1 (a)	<0,038 (b)	47 ± 3
Setembro	<0,1 (a)	<0,048 (b)	49 ± 3
Dezembro	<0,1 (a)	<0,039 (b)	48 ± 4

Tabela I.39 – Valores de actividade específica, A ($Bq L^{-1}$), dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{40}K em leite proveniente das Regiões autónomas (Madeira e Açores). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para os radionuclídeos emissores gama e a um nível de confiança de 68,3% (1σ) para o ^{90}Sr .

Data de colheita	Local de colheita	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K
Fevereiro	Madeira (Sta Cruz)	<0,1 (a)	<0,069 (b)	46 ± 3
Setembro	Madeira (Sta Cruz)	<0,1 (a)	<0,045 (b)	47 ± 4
Abril	Açores (Ilha do Pico)	<0,2 (a)	$0,163 \pm 0,059$	40 ± 3
Novembro	Açores (Ilha do Pico)	$1,2 \pm 0,1$	$0,242 \pm 0,065$	56 ± 5

Actividade mínima detectável em ^{137}Cs (a) e ^{90}Sr (b); (c) Amostra desprezada (rendimento químico baixo).

I.6 RADIOACTIVIDADE EM SOLOS

I.6.1 Material e Métodos

Procedeu-se a uma amostragem anual de solos recolhidos aleatoriamente em diferentes locais no país. Realizaram-se também amostragens mensais de solos no *Campus* de Sacavém do ITN (em frente à Instalação Piloto). Os locais de amostragem estão representados na Figura I.2.

Em cada ponto de amostragem recolheram-se, com o auxílio de uma pá, 3 amostras da camada superficial (0-5 cm) do solo, que se misturaram de forma a obter uma amostra representativa. No laboratório, os solos foram secos a 110°C, desagregados e passados por um peneiro com um crivo de 1000µm de diâmetro, tendo-se retido para análise a fracção de granulometria inferior a 1000 µm. Da amostra, previamente homogeneizada, retirou-se uma alíquota que se colocou num porta-amostras hermeticamente fechado. A análise por espectrometria gama processou-se ao fim de cerca de um mês de modo a assegurar o equilíbrio radioactivo entre o Rádio (^{226}Ra e ^{228}Ra) e os seus descendentes.

I.6.2 Resultados e Discussão

Na Tabela I.40 estão presentes os valores de actividade específica, A (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos naturais e artificiais detectados em solos colhidos em várias regiões do país.

Como se pode observar os valores obtidos para o ^{235}U situam-se, em geral, abaixo dos valores da actividade mínima detectável. Os valores mensuráveis são da mesma ordem de grandeza da actividade mínima detectável, variando entre $6,1 \pm 1,3$ e 9 ± 2 Bq kg^{-1} . O ^{228}Ra , radionuclido da família radioactiva do ^{232}Th , apresenta valores que variam entre 27 ± 1 Bq kg^{-1} e 77 ± 2 Bq kg^{-1} . Os valores de actividade específica em ^{238}U (considerando-se em equilíbrio radioactivo secular com o ^{234}Th), ^{226}Ra e ^{210}Pb , radionuclidos da família natural do Urânio, são em geral baixos e da mesma ordem de grandeza, com excepção dos valores mais elevados obtidos para os solos colhidos em Nisa. Isto deve-se ao facto destes solos serem provenientes de uma região com elevado fundo radiológico devido ao substrato geológico ser de origem granítica. A razão entre as actividades $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ varia entre 0,5 e 2,6 indicando a não existência de equilíbrio radioactivo secular entre estes radionuclidos. A actividade em ^{40}K é bastante variável podendo estar relacionada com a aplicação em alguns solos de potássio como fertilizante. Os valores de actividade específica em ^{137}Cs variam de uma ordem de grandeza situando-se entre $1,9 \pm 0,2$ e $22 \pm 1,2$ Bq kg^{-1} .

Na Tabela I.41 estão expressos os valores de actividade específica, A (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos naturais e artificiais detectados em solos provenientes do *Campus* do ITN (Sacavém) em frente à Instalação Piloto.

Constata-se que os valores de actividade específica em ^{238}U , (determinado a partir da actividade em ^{234}Th considerando que estão em equilíbrio radioactivo secular), com um valor médio anual de $239\pm 95 \text{ Bq kg}^{-1}$, são mais elevados do que os observados para os solos colhidos em várias regiões do país (Tabela I.40). Resultados semelhantes tinham já sido reportados (Madruga *et al.*, 2006, 2007 & 2008) e podem ser explicados por os solos terem sido colhidos num local perto da antiga instalação piloto onde, nos anos 60 e 70 do século passado, se procedeu ao tratamento do minério de Urânio. Os valores obtidos para o ^{228}Ra e o ^{226}Ra são baixos e da mesma ordem de grandeza dos reportados na Tabela I.40. O valor da actividade específica média anual em ^{210}Pb é ligeiramente superior ao valor obtido para o ^{226}Ra , o que indica a não existência de equilíbrio radioactivo secular entre estes dois radionuclidos. Relativamente ao ^{137}Cs o valor da actividade específica média anual, $10\pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$, é da mesma ordem de grandeza dos valores obtidos em solos provenientes de várias regiões do país (Tabela I.40).

Tabela I.40 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes de várias regiões do país

Local de amostragem	²³⁵ U	²³⁸ U*	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
<i>Évora</i>	<2,9 (a)	18 ± 3	32 ± 1	21 ± 1	<11,0 (a)	1,9 ± 0,2	465 ± 24	<6,0 (a)
<i>Porto</i>	6,1 ± 1,3	56 ± 7	71 ± 2	74 ± 2	54 ± 6	12 ± 0,8	710 ± 37	<6,0 (a)
<i>Figueira da Foz</i>	<2,9 (a)	20 ± 3	30 ± 1	25 ± 1	66 ± 7	22 ± 1,2	660 ± 35	<3,4 (a)
<i>Aguieira</i>	<3,3 (a)	52 ± 6	29 ± 1	44 ± 2	62 ± 6	14 ± 1	432 ± 25	<13,5 (a)
<i>Nisa</i>	9 ± 2	113 ± 13	27 ± 1	164 ± 5	105 ± 8	6,4 ± 0,5	521 ± 29	<12,3 (a)
<i>V. V. Rodão</i>	6 ± 2	50 ± 6	77 ± 2	58 ± 2	42 ± 4	7,3 ± 0,5	921 ± 46	<7,5 (a)

(a) Actividade mínima detectável; *determinado a partir da actividade em ²³⁴Th considerando que estão em equilíbrio radioactivo secular;

Tabela I.41 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclídeos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes do *Campus* do ITN em Sacavém (em frente à Instalação Piloto)

Data de colheita	²³⁵ U	²³⁸ U*	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be	¹³¹ I
Janeiro	13 ± 2	218 ± 23	64 ± 2	48 ± 2	80 ± 7	6 ± 1	493 ± 60	<7,9 (a)	<0,7 (a)
Fevereiro	7 ± 2	113 ± 13	57 ± 2	44 ± 2	56 ± 6	10 ± 0,8	603 ± 57	<5,3 (a)	<0,7 (a)
Março	8 ± 2	162 ± 17	64 ± 2	48 ± 2	56 ± 5	8 ± 0,6	626 ± 37	<5,1 (a)	<0,6 (a)
Abril	9 ± 2	151 ± 16	59 ± 2	46 ± 2	56 ± 7	10 ± 1	570 ± 27	<7,1 (a)	<0,6 (a)
Maió	21 ± 2	316 ± 32	51 ± 2	47 ± 2	80 ± 7	11 ± 1	551 ± 50	<4,7 (a)	<0,5 (a)
Junho	11 ± 3	219 ± 23	60 ± 2	44 ± 2	98 ± 10	3 ± 1	499 ± 30	<8,3 (a)	<1,3 (a)
Julho	22 ± 3	395 ± 37	65 ± 2	55 ± 2	80 ± 9	14 ± 1	594 ± 54	<5,3 (a)	<0,7 (a)
Agosto	21 ± 3	391 ± 38	72 ± 2	56 ± 2	81 ± 9	14 ± 2	641 ± 34	<7,6 (a)	<1,0 (a)
Setembro	12 ± 2	176 ± 19	67 ± 2	46 ± 2	70 ± 6	10 ± 1	595 ± 36	<5,6 (a)	<0,9 (a)
Outubro	14 ± 3	231 ± 25	57 ± 2	49 ± 2	92 ± 8	13 ± 1	561 ± 26	<5,5 (a)	<0,8 (a)
Novembro	12 ± 3	172 ± 19	65 ± 2	48 ± 2	75 ± 10	8 ± 1	701 ± 37	<5,8 (a)	<0,7 (a)
Dezembro	18 ± 3	320 ± 32	54 ± 2	51 ± 2	119 ± 11	12 ± 1	552 ± 32	<9,9 (a)	<1,0 (a)
Média ± σ (n=12)	13 ± 6	239 ± 95	61 ± 6	48 ± 4	79 ± 19	10 ± 3	582 ± 58	<6,5	<0,8

(a) Actividade mínima detectável; * determinado a partir da actividade em ²³⁴Th considerando que estão em equilíbrio radioactivo secular;

I.7 DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL

I.7.1 Material e Métodos

Durante o ano de 2008, deu-se continuidade à avaliação da dose de radiação gama ambiental com detectores passivos termoluminescentes nos pontos de medida localizados em Bragança, Castelo Branco, Faro, Funchal, Lisboa, Penhas Douradas, Ponta Delgada, Portalegre e Vila Nova de Gaia. O valor reportado para Lisboa foi obtido a partir da média de três pontos de medida localizados no *campus* do ITN (Cap. II.4.2.2).

Com o objectivo de garantir a segurança física dos dosímetros durante os períodos de exposição de cerca de três meses, no exterior, facilitar os processos de colocação, remoção e envio dos dosímetros ao ITN para avaliação, e ainda, tendo em consideração o carácter contínuo da monitorização ambiental, escolheram-se pontos de medida localizados no interior dos parques das estações meteorológicas do Instituto de Meteorologia, em cada uma das localidades acima mencionadas. No caso de Vila Nova de Gaia, os dosímetros foram colocados no parque da estação meteorológica do Instituto Geofísico da Universidade do Porto e em Faro no Campus de Gambelas da Universidade do Algarve. Para os efeitos mencionados neste relatório estabeleceram-se colaborações com as entidades mencionadas.

Durante o ano de 2008, utilizou-se a metodologia descrita anteriormente. Realizaram-se quatro campanhas de monitorização, correspondendo aproximadamente, aos quatro trimestres do ano. Os dosímetros foram enviados para as estações de medida (e regressaram ao ITN) por correio normal, sempre acompanhados por um conjunto de dosímetros *de trânsito*, com o intuito de identificar e eventualmente corrigir, alguma exposição anómala verificada durante os trajectos. Em todos os pontos de medida, os dosímetros foram sempre expostos no ambiente exterior, a um metro do solo.

A metodologia utilizada na avaliação da dose ambiental baseia-se na metodologia seguida na dosimetria individual por termoluminescência, adaptada e optimizada aos requisitos das medidas ambientais (Alves *et al.*, 2006a & 2006b). O dosímetro termoluminescente utilizado consiste no cartão Harshaw 8814 contendo dois detectores de LiF:Mg,Ti (TLD-100) inserido no respectivo portadosímetro, adequado à medida do equivalente de dose individual $H_p(10)$, posteriormente corrigido para a grandeza equivalente de dose ambiente $H^*(10)$. Os dosímetros foram lidos nos leitores semi-automáticos Harshaw 6600 calibrados mensalmente, sendo a eficiência de cada dosímetro corrigida através da aplicação do respectivo factor de correcção individual, de acordo com metodologia anteriormente descrita (Alves *et al.*, 2004 & 2006c). Em cada ponto de medida foram colocados doze dosímetros, agrupados em três conjuntos de quatro, todos expostos durante o mesmo intervalo de tempo. O primeiro conjunto de quatro dosímetros foi irradiado a uma dose de referência antes da colocação no ponto de

medida; o segundo conjunto de quatro dosímetros foi irradiado à mesma dose de referência depois do tempo de integração; o terceiro conjunto de dosímetros não recebeu qualquer irradiação além da dose de radiação natural que se pretende avaliar. Findo o período de integração pretendido, os três conjuntos foram lidos simultaneamente. Com os dois conjuntos irradiados antes e depois do período de integração, pretende-se corrigir o *fading* (desvanecimento térmico) e/ou as alterações de sensibilidade induzidas pela temperatura ambiente e suportadas pelos dosímetros durante o tempo de integração (Alves *et al.*, 1999). Para cada medida, determinou-se o respectivo factor de correcção de *fading*, que foi aplicado ao valor de dose avaliado com os quatro dosímetros não irradiados.

Atendendo a que a grandeza adequada para exprimir as medidas de dose de radiação ambiental é o equivalente de dose ambiente, $H^*(10)$, expresso em sievert, os leitores foram calibrados em termos desta grandeza. Os resultados que se apresentam neste relatório estão todos expressos em termos do débito de equivalente de dose ambiente, $\dot{H}^*(10)$, em unidades de $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ (ou seja, nanosievert por hora).

1.7.2 Resultados e Discussão

Na Tabela I.42 representam-se os valores médios do débito de equivalente de dose ambiente medidos nos vários pontos do País nos quatro trimestres de 2008, bem como a respectiva incerteza, obtida a partir do desvio padrão das leituras. O valor apresentado para Lisboa em cada trimestre foi obtido através do valor médio das medidas realizadas nos pontos Oficinas, Administração e LMRI com períodos de integração superiores a 60 dias (Madruga *et al.*, 2006, 2007 & 2008). Na referida tabela apresentam-se também os valores médios anuais para 2008 medidos nos vários pontos do País, bem como a respectiva incerteza, calculada considerando todas as leituras individuais efectuadas nos quatro trimestres. Os mesmos valores estão graficamente representados na Figura I.11.

Os valores médios do débito de equivalente de dose avaliados nos vários pontos do País dependem fundamentalmente da constituição geológica dos solos, bem como da altitude média do ponto de medida (Amaral, 1995). De uma maneira geral, observa-se que os valores medidos em 2008 se encontram no intervalo de variação constituído pelos valores reportados para os anos de 2006 e 2007, embora ligeiramente superiores aos valores de 2007. Os valores medidos em 2008 e apresentados na Tabela I.42 podem ser considerados valores normais, compatíveis com valores anteriormente publicados para cada uma destas regiões (Amaral, 1995).

Tabela I.42 – Valores médios dos trimestres III, IV e valor médio anual do débito do equivalente de dose ambiente medido em cada uma das localidades do País (valores expressos em nSv.h⁻¹)

Ponto de medida	I	II	III	IV	Ano 2008
Bragança	53±4	53±8	35±4	59±6	50±10
Castelo Branco	102±7	87±6	74±4	134±10	99±26
Faro	41±4	31±7	23±2	41±4	34±9
Funchal	42±2	44±6	42±2	54±4	46±6
Lisboa*	77±10	70±7	66±9	76±11	72±9
Penhas Douradas	209±18	197±11	172±13	229±8	202±24
Ponta Delgada	n.d.	51±11	78±5	99±5	76±24
Portalegre	97±6	71±7	86±3	116±7	92±19
Vila Nova de Gaia	129±6	122±8	103±6	155±11	127±22

(*) média dos pontos Oficinas, Administração e LMRI, medidos no campus do ITN (Cap. II.4.2.2)

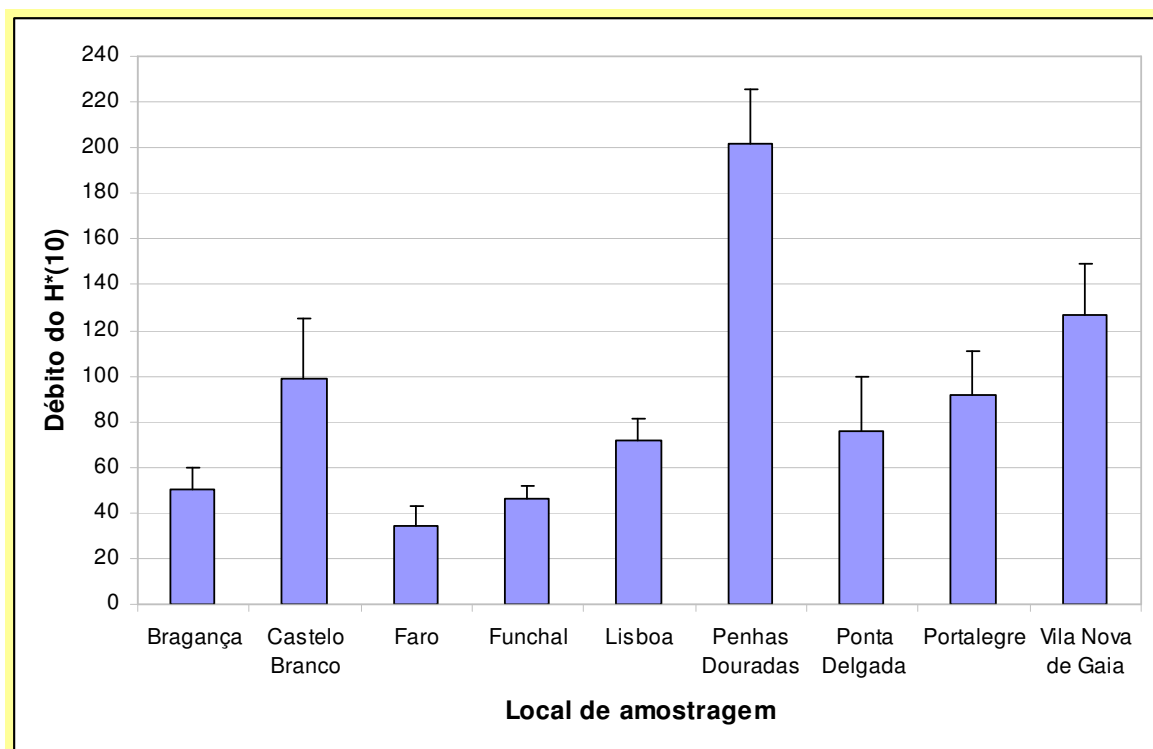


Figura I.11 – Valor médio anual para 2007 do débito de equivalente de dose ambiente medido nos vários pontos do País (valores expressos em nSv.h⁻¹)

I.8 CONCLUSÕES

Do vasto conjunto de resultados obtidos para os diferentes compartimentos ambientais (ar, água da chuva, águas de superfície, águas para consumo humano, produtos alimentares, leite, sedimentos e solos) pode concluir-se que os teores de radioactividade determinados são baixos e situam-se dentro da gama de valores obtidos em anos anteriores. As concentrações dos radionuclidos de origem natural, designadamente das famílias do Urânio, do Tório, e o ^{40}K , são valores típicos do fundo radioactivo natural, isto é, não alterado pela acção humana. As concentrações dos radionuclidos de origem artificial, designadamente do ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^3H , são muito baixas e, frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável.

O valor da dose de radiação devida à inalação e ingestão dos radionuclidos artificiais por um elemento médio da população Portuguesa é de cerca de $3 \mu\text{Sv a}^{-1}$. Este valor representa cerca de 0,3% do limite de dose para membros do público (1 mSv a^{-1}) (Directiva 96/29 EURATOM).

Os resultados do programa de 2008 mostraram que, tal como em anos precedentes, não foram detectadas substâncias radioactivas de origem artificial no ambiente em concentrações susceptíveis de causar efeitos nocivos na saúde humana. Deve assinalar-se, no entanto, a excepção do rio Tejo, onde os valores em ^3H na água são superiores ao valor do fundo radioactivo mas, apesar disso, sem significado, sob o ponto de vista dos efeitos radiológicos.

AGRADECIMENTOS

- À Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE), à Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores e à Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais da Madeira pelo apoio prestado na aquisição e envio de amostras dos produtos alimentares;
- Às Empresas Lactogal, Serraleite e Parmalat pela disponibilidade na cedência das amostras de leite;
- Aos Serviços de Acção Social da Universidade de Lisboa (SASUL) por ter autorizado a colheita de amostras de refeição completa na cantina da Faculdade de Ciências de Lisboa;
- À Petrogal por permitir a colheita de solos nas suas instalações no Parque de Sacavém;
- À Direcção Municipal de Actividades Económicas da Câmara Municipal de Lisboa por ter autorizado a colheita de amostras de água para consumo humano no Laboratório de Bromatologia em Lisboa;
- Ao Instituto de Meteorologia, por ter permitido a colocação e substituição periódica dos detectores TLD nas estações meteorológicas instaladas no Continente e nas Regiões Autónomas, bem como a instalação de um colhedor de deposição atmosférica nas instalações de Castelo Branco;
- Ao Instituto Geofísico da Universidade do Porto e à Universidade do Algarve (Campus de Gambelas), por ter igualmente permitido a colocação e substituição periódica dos detectores TLD no respectivo parque meteorológico.

REFERÊNCIAS

- Alves J.G., Muñiz J.L., Gómez Ros J.M., Delgado A. (1999). A Comparative Study on the Thermal Stability of LiF:Mg, Ti and LiF:Mg,Cu,P Detectors for Environmental Monitoring. *Radiat. Prot. Dosim.*, 85, 253-257.
- Alves J.G., Novais L., Rangel S. (2006a). Environmental gamma radiation monitoring at ITN. In Actas do 10th *International Symposium on Radiation Physics*, Coimbra (Portugal), Setembro 2006.
- Alves J.G., Novais L., Rangel S., Calado A. (2006b). Testes para a implementação da dosimetria ambiental com detectores termoluminescentes individuais. *Relatório Interno*, Novembro 2006.
- Alves J.G., Novais L., Rangel S., Flores E. (2006c). Quality assurance and quality control programme in use at the individual monitoring service of ITN-DPRSN. In Actas do 2nd *European IRPA Congress*, Paris (França), Maio 2006
- Alves J.G., Abrantes J.N., Margo O., Rangel S., Santos L. (2004). Long-Term Stability of a TLD-Based Individual Monitoring System. *Radiat. Prot. Dosim.* 120, 1-4, 289-292.
- Amaral, E.M. (1995). Exposição à Radiação Gama Natural Terrestre – relação entre as doses de radiação e os radionuclídeos primordiais existentes no solo. *Monografia* apresentada para prestação de provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar.
- Basic Safety Standards (96/29 EURATOM, Tables A and B), 1996
- Calvo A., Tovar I., Castillo C., Collantes R., Carmona A., Salvador L. (2005). Programas de Vigilância Radiológica Ambiental - Resultados 2004. Colección Informes Técnicos, 15.2005. Referencia INT-04.11, Consejo de Seguridad Nuclear, Depósito legal: M-17.978-2006.
- Carvalho F.P., Madruga M.J., Oliveira J.M., Gouveia J.M., Silva L. (2004a). Radioactivity in the Northern Seas of Europe. *Radioprotecção* 2: 118-125.
- COM/473/EURATOM- Commission Recommendation of 8 June 2000, Official Journal of the European Commission, n° 191, 27th July 2000.
- Decreto-Lei n° 306/2007 de 27 de Agosto (D.R. n°164, 1ª Série). Estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, procedendo à revisão do Decreto-Lei n°243/2001, de 5 de Setembro, que transpôs para o ordenamento jurídico interno a Directiva n° 98/83/CE, do Conselho. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Du J., Zhang J., Wu Y., (2008), Deposition patterns of atmospheric ⁷Be and ²¹⁰Pb in coast of East China sea, Shanghai, China, *Atmospheric Environment*, 42, 5101-5109.
- EUR 20765 EN (2005). Environmental Radioactivity in the European Community (1996-2000), Radiation Protection N° 141.
- Fonseca H., Reis M., (2006), Evaluating the temporal evolution of ⁷Be and ²¹⁰Pb atmospheric concentrations by using chronological series analysis techniques, *Proc. 11th International Congress of the Int. Assoc. for Mathematical Geology (IAMG2006)*, Pirard E., Dassargues A., Havenith H.S. (Eds.), Paper S11-18.
- Gomes A.R., Rodrigues F., Machado L., Sequeira M.M., Madruga M.J. (2005). Aplicação da Técnica de Troca Iónica à Determinação de Actividade Beta Residual em Amostras de Águas de Superfície. 4^o *Encontro Nacional de Cromatografia*, Universidade de Évora, 12-14 de Dezembro 2005.
- Heinrich P., Coindreau O., Grillon Y., Blanchard X., Gross P. (2007), Simulation of the atmospheric concentrations of ²¹⁰Pb and ⁷Be and comparison with daily observations at three surface sites, *Atmospheric Environment*, 41, 6610-6621.

- Heredia S., Tovar I., Castillo C., Collantes R., Carmona A., Salvador L. (2006). Programas de Vigilância Radiológica Ambiental - Resultados 2005. Colección Informes Técnicos, 17.2006. Referencia INT-04.13, Consejo de Seguridad Nuclear, Depósito legal: M-31.864-2007.
- Heredia S., Tovar I., Castillo C., Collantes R., Carmona A., Salvador L. (2007). Programas de Vigilância Radiológica Ambiental - Resultados 2006. Colección Informes Técnicos, 19.2007. Referencia INT-04.15, Consejo de Seguridad Nuclear, Depósito legal: M-31997-2008.
- Heredia S., Tovar I., Castillo C., Collantes R., Carmona A., Salvador L. (2008). Programas de Vigilância Radiológica Ambiental - Resultados 2007. Colección Informes Técnicos, 21.2008. Referencia INT-04.17, Consejo de Seguridad Nuclear, Depósito legal: M-23463-2009.
- Hernandez F., Karlsson L., Hernandez-Armas J., (2007). Impact of the tropical storm Delta on the gross alpha, gross beta, ^{90}Sr , ^{210}Pb , ^7Be , ^{40}K and ^{137}Cs activities measured in atmospheric aerosol and water samples collected in Tenerife (Canary Islands), *Atmospheric Environment*, 41, 4940-4948.
- ICRP (1996). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5- Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Publication N° 72, Vol 26, n°1.
- Ioannidou A., Papastefanou C., (2006). Precipitation scavenging of ^7Be and ^{137}Cs radionuclides in air, *Journal of Environmental Radioactivity*, 85, 121-136.
- ISO 5667-5. Water Quality-Sampling, Part 5- Guidance on Sampling of Drinking Water Used for Food and Beverage Processing, Setembro 1996.
- Jasiulionis R., Wershofen H., (2005). A study of the vertical diffusion of the cosmogenic radionuclides, ^7Be and ^{22}Na in the atmosphere, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 157-169.
- Lopes I., Madruga M.J. (2009a). Application of Liquid Scintillation Counting Technique to Determine ^{90}Sr in Milk Samples. LSC 2008, International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, Davos, Switzerland, 25-30 May 2008. *Radiocarbon (in press)*
- Lopes I., Madruga M.J. (2009b). Measurements of Strontium-90 in Portuguese Milk Samples Using Liquid Scintillation Counting Technique. *Radioprotection*, Vol 44, n°5, 217-220.
- Madruga M.J., Carvalho F.P, Reis M., Pinhão N., Alves, J.H., Sequeira M.M., Ferrador G., Gameiro M.A., Oliveira J.M, Libânio A., Pereira M. A., Silva, G., Lopes I., Abrantes J., Silva L., Machado L., Gomes A.R., Lemos A.S., Oliveira E., Rodrigues F., Carvalhal G., Fonseca H., Novais L. (2006). Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2005). Relatório DPRSN, Série A, n°30/2006, ISBN 972-8660-31-6. Depósito Legal 194022/03.
- Madruga M.J., Carvalho F.P, Reis M., Pinhão N., Alves, J.H., Oliveira J.M, Libânio A., Silva, G., Lopes I., Abrantes J., Silva L., Machado L., Gomes A.R., Lemos A.S., Oliveira E., Rodrigues F., Carvalhal G., Fonseca H., Melo J., Novais L. (2007). Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2006). Relatório DPRSN, Série A, n°31/2007, ISBN 978-972-8660-32-1. Depósito Legal 194022/03.
- Madruga M.J., Sequeira M.M., Lopes I., Gomes A.R., Rodrigues F. (2007a). Radiocésio, Radioestrôncio e Trítio em Águas de Superfície nos Rios Tejo e Zêzere. In: Um Futuro Sustentável, Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento, Editores C. Borrego et al, Vol.2, 624-630, ISBN 978-972-789-230-3.
- Madruga M.J., Lemos S., Machado L. (2007b). Determinação de Actividade de Estrôncio-90 em Leites. Avaliação da Dose de Radiação para a População Portuguesa. In: Um Futuro Sustentável, Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento, Editores C. Borrego et al, Vol.1, 141-147, ISBN 978-972-789-230-3.

Madruga M.J., Carvalho F.P, Reis M., Pinhão N., Alves, J.H., Corisco J., Trindade R., Oliveira J.M, Libânio A., Mourato A., Silva G., Portugal L., Lopes I., Abrantes J., Silva L., Torres L., Malta M., Gomes A.R., Carvalhal G., Fonseca H., Melo J., Pereira M., Batista A. (2008). Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2007). Relatório DPRSN, Série A, nº32/2008, ISBN 978-972-8660-33-8. Depósito Legal 194022/03.

Madruga M.J., Sequeira M.M., Silva L., Lopes I., Gomes A.R., Rodrigues F. (2009a). Radiological Survey in Tejo River (Portugal). *Radioprotection*, Vol 44, nº5, 171-176.

Madruga M. J., Sequeira M.M., Gomes A.R. (2009b). Determination of Tritium in Waters by Liquid Scintillation Counting. LSC 2008, International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, Davos, Switzerland, 25-30 May 2008. Book of Abstracts, 44. *Radiocarbon (in press)*.

Madruga M. J., Gomes A. R., Silva L., Abrantes J., Pinhão N. (2009c). Estimate of Effective Dose to Portuguese Population from Artificial Radionuclides in Foodchain Products. *Radioprotecção* Vol II, Nº 14-15, 44-53.

Norma Portuguesa- NP 4330, Qualidade da Água, Medida da Actividade Beta Total em Águas não Salinas, Método por Fonte Concentrada, Setembro 1996.

Norma Portuguesa- NP 4332, Qualidade da Água, Medida da Actividade Alfa Total em Águas não Salinas, Método por Fonte Concentrada, Setembro 1996.

Norma Portuguesa- NP 4362, Determinação da Concentração da Actividade em Trítio, Método de Contagem por Cintilação Líquida, Setembro 1997.

O'Keeffe M., Rehmann F-J., Coen K (2006). National Food Residue Database. Report 2006. ISBN 1 84170 462 3.

Oliveira, J. M., Libânio A., Carvalho F. P. (2005). Radioactive Contamination of the North-Atlantic Monitored along the Portuguese Coast with Bio-indicators. Proceed. do “*First International Conference on Coastal Conservation and Management in the Atlantic and Mediterranean (ICCCM'05)*”, Tavira, Portugal, 17-20 April 2005, pp. 399-405. F.V.Gomes, F.T. Pinto, L. Neves, A. Sena and O. Ferreira (eds. FEUP, Universidade do Porto (ISBN 972-752-083-9).

Reis M., Fonseca H., Silva L., (2006). Temporal variation of ^7Be and ^{210}Pb activity concentrations in aerosol particles in ground level air at Sacavém (Portugal), *Proc. 2nd European IRPA Congress on Radiation Protection*, Paris.

RIFE-11 (2006). Radioactivity in Food and the Environment, 2005. Environmental Agency, Environment and Heritage Service, Food Standards Agency, Scottish Environment Protection Agency, ISSN 1365-6414.

RIFE-12 (2007). Radioactivity in Food and the Environment, 2006. Environmental Agency, Environment and Heritage Service, Food Standards Agency, Scottish Environment Protection Agency, ISSN 1365-6414.

RIFE-13 (2008). Radioactivity in Food and the Environment, 2007. Environmental Agency, Environment and Heritage Service, Food Standards Agency, Scottish Environment Protection Agency, ISSN 1365-6414.

Rodrigues F., Gomes A. R., Sequeira, M. M., Madruga M.J., Machado L. (2007). Medidas de Actividade Beta total e Beta Residual nos Rios Tejo e Zêzere (2001 a 2005). In: Um Futuro Sustentável, Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento, Editores C. Borrego et al, Vol.4, 1516-1521, ISBN 978-972-789-230-3.

STUK-B-TKO5 (2004). Surveillance of Environmental Radiation in Finland, Annual Report 2003, R. Mustonen ed. ISBN 951-712-891-6.

STUK-B-TKO6 (2005). Surveillance of Environmental Radiation in Finland, Annual Report 2004, R. Mustonen ed. ISBN 952-478-023-2.

STUK-B77 (2007). Surveillance of Environmental Radiation in Finland, Annual Report 2006, R. Mustonen ed. ISBN 978-952-478-232-6.

STUK-B91 (2008). Surveillance of Environmental Radiation in Finland, Annual Report 2007, R. Mustonen ed. ISBN 978-952-478-379-8.

Vallés I., Camacho A., Ortega X., Serrano I., Blázquez S., Pérez S. (2009). Natural and anthropogenic radionuclides in airborne particulate samples collected in Barcelona (Spain), *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 102-107.

Zhu J., Olsen C.R., (2009). Beryllium-7 atmospheric deposition and sediment inventories in the Neponset river estuary, Massachusetts, USA, *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 192-197.

II. PROGRAMA ESPECÍFICO PARA O CAMPUS DO ITN (SACAVÉM)

Investigadores

Mário Reis
Maria José Madruga
João Alves
Romão Trindade
Nuno Pinhão

Bolseiros

Alfredo Batista
Ana Rita Gomes
Gonçalo Carvalhal
Heloísa Fonseca
João Melo
Miguel Pereira

Técnicos

Luís Portugal
Albertina Libânio
Anabela Mourato
Gabriel Silva

Avençados

João Abrantes
Lídia Silva

II.1 INTRODUÇÃO

O Programa de Monitorização Radiológica Ambiental específico para o *campus* do ITN (Sacavém) teve início em 2007, embora parte dessa monitorização já estivesse a decorrer integrada no Programa de Vigilância Radiológica a Nível Nacional.

Este Programa tem como principais objectivos: avaliar os níveis de radioactividade no ambiente exterior do *campus* do ITN, bem como a sua tendência de variação e detecção de eventuais alterações; verificar que são respeitados os limites de descarga estabelecidos e permitir a intervenção atempada caso ocorram condições não planeadas; contribuir para a obtenção de dados que permitam avaliar a exposição de membros do público e trabalhadores; estabelecer um suporte e organização de dados que facilite a informação ao público e entidades competentes.

O Programa baseia-se na monitorização ambiental da radiação externa, através da avaliação da dose gama ambiental recorrendo a medições em contínuo e medições integradas, na monitorização da radioactividade atmosférica, através da amostragem e análise de aerossóis e na monitorização da transferência de radionuclidos por deposição, através da análise de amostras de água da chuva e da análise de amostras da camada superficial do solo. Procura-se, ainda, avaliar as descargas (líquidas e gasosas) para o ambiente, através de monitorização na fonte. Os locais e tipo de amostragem são apresentados nas Figuras II.1 e II.2.

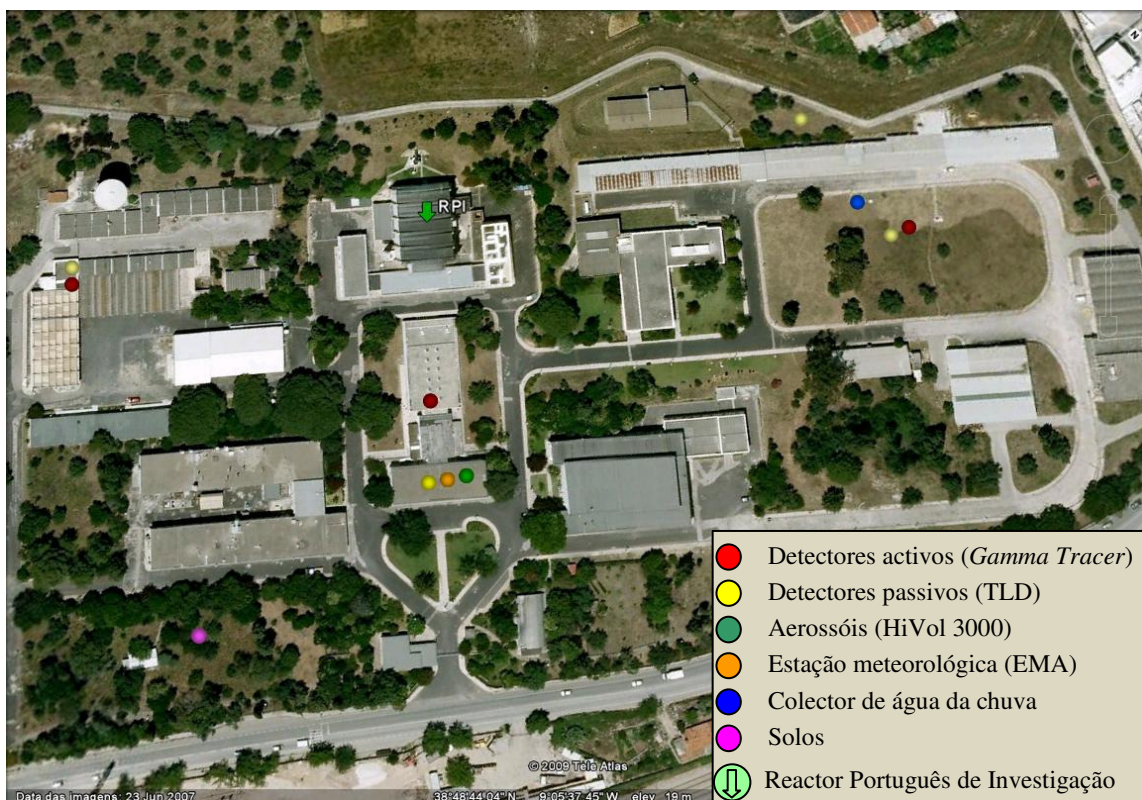


Fig. II.1 – Vista geral do *campus* do ITN, indicando a localização dos pontos de amostragem



Fig. II.2 – Vista da área envolvente ao ITN, incluindo a localização dos pontos de amostragem de solos (no exterior e no interior do *campus*).

II.2. RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA

II.2.1 Aerossóis

II.2.1.1. Material e Métodos

A monitorização da radioactividade atmosférica no *campus* do ITN foi efectuada através da amostragem contínua de partículas totais em suspensão (PTS), recorrendo a um amostrador de alto volume instalado no telhado do edifício da Administração (coordenadas: 38°48'44''N – 9°05'39''W), cerca de 10 metros acima do nível do solo, e posicionado de acordo com a direcção preferencial do vento relativamente ao RPI.

O amostrador de partículas HiVol 3000, da ECOTECH, é constituído por uma bomba de alto volume e uma cabeça de aspiração com suporte para filtros de 25×20 cm. Efectua o controlo volumétrico de fluxo através de um sistema VSD (*Variable Speed Drive*), assegurando que o caudal pré-estabelecido ($70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) se mantém constante ao longo de todo o período de amostragem. O volume total amostrado é corrigido para as condições de pressão e temperatura de referência, através de sensores de pressão e temperatura incorporados. Permite o armazenamento interno de dados que podem, posteriormente, ser descarregados via porta série RS-232C.

O processo de recolha consiste na aspiração do ar através de um filtro, onde ficam retidas as partículas de aerossol. Os períodos de amostragem têm duração de uma semana, o que corresponde, em geral, a volumes médios de ar filtrado de $10^4 \text{ m}^3/\text{semana}$. Como substrato de recolha foram utilizados filtros Pallflex tipo EMFABTX40HI20-WW. Após cada período de amostragem os filtros são dobrados, de forma a possibilitar a obtenção de uma geometria pré-definida, sendo posteriormente analisados por espectrometria γ em detector de Ge hiperpuro (BEGE, com 50% de eficiência relativa em 1332 keV, resolução de 2,2 keV FWHM em 1332 keV e 0,860 keV FWHM em 122 keV). Os espectros resultantes são analisados com o *software* Genie 2000 (Canberra). Os sistemas de medida são periodicamente calibrados com fontes padrão (Eckert & Ziegler Analytics), contendo uma mistura de radionuclídeos (^{210}Pb , ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{88}Y , ^{60}Co) que abrange toda a gama de energias de interesse. As fontes de calibração têm geometrias idênticas às das amostras a analisar.

II.2.1.2. Resultados e Discussão

Na Tabela II.1 apresentam-se os valores de concentração médios mensais e anuais para os radionuclídeos detectados em aerossóis e ainda as concentrações médias mensais de partículas totais em suspensão. Na Figura II.3 representam-se graficamente esses valores.

A concentração média mensal de partículas totais em suspensão (PTS) variou entre $24 \mu\text{g m}^{-3}$ (Janeiro) e $55 \mu\text{g m}^{-3}$ (Outubro).

A concentração de actividade média mensal em ^7Be variou entre $1,2 \pm 0,1$ e $7,1 \pm 0,4 \text{ mBq m}^{-3}$, com um valor médio anual de $4,7 \pm 1,8 \text{ mBq m}^{-3}$.

Relativamente ao ^{210}Pb , a concentração da sua actividade média mensal variou entre $0,25\pm 0,03 \text{ mBq m}^{-3}$ e $0,88\pm 0,07 \text{ mBq m}^{-3}$, com um valor médio anual de $0,49\pm 0,19 \text{ mBq m}^{-3}$.

As concentrações médias de ^7Be mais elevadas ocorreram nos meses de Agosto e Outubro. Em relação ao ^{210}Pb , a concentração média mais elevada ocorreu no mês de Outubro. Em ambos os casos, os valores máximos de concentração estão relacionados com a ocorrência de maiores concentrações de PTS, o que indica uma maior quantidade de partículas de aerossol disponíveis para sofrer adsorção.

A actividade em ^{137}Cs nas partículas de aerossol foi, durante todo o ano de 2008, inferior à actividade mínima detectável (que variou entre 3 e $4 \mu\text{Bq m}^{-3}$).

Não foram detectados nos espectros relativos a amostras de aerossóis quaisquer emissores gama de origem antropogénica, pelo que se pode concluir que não houve contaminação por partículas, com origem nas fontes existentes no *campus* do ITN, através da via atmosférica.

Tabela II.1- Valores de concentração de actividade (médias mensais $\pm 2\sigma$) em aerossóis recolhidos no Campus do ITN em Sacavém. PTS é a concentração média mensal das partículas totais em suspensão

Data de colheita	^7Be (mBq m ⁻³)	^{137}Cs ($\mu\text{Bq m}^{-3}$)	^{210}Pb (mBq m ⁻³)	PTS ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Janeiro	1,2 \pm 0,1	< 4 (a)	0,25 \pm 0,03	24
Fevereiro	3,2 \pm 0,2	< 4 (a)	0,47 \pm 0,05	40
Março	3,7 \pm 0,2	< 4 (a)	0,31 \pm 0,03	34
Abril	4,3 \pm 0,3	< 4 (a)	0,42 \pm 0,04	40
Mai	4,7 \pm 0,3	< 3 (a)	0,41 \pm 0,04	37
Junho	5,8 \pm 0,4	< 3 (a)	0,48 \pm 0,04	39
Julho	5,9 \pm 0,4	< 3 (a)	0,63 \pm 0,05	53
Agosto	7,1 \pm 0,4	< 3 (a)	0,42 \pm 0,04	42
Setembro	4,0 \pm 0,3	< 3 (a)	0,65 \pm 0,05	33
Outubro	6,6 \pm 0,4	< 3 (a)	0,88 \pm 0,07	55
Novembro	(b)	(b)	(b)	(b)
Dezembro	(b)	(b)	(b)	(b)
Média $\pm \sigma$ (n=10)	4,7 \pm 1,8	-	0,49 \pm 0,19	40 \pm 9

(a) Actividade mínima detectável em ^{137}Cs ; (b) Ausência de dados por avaria do amostrador

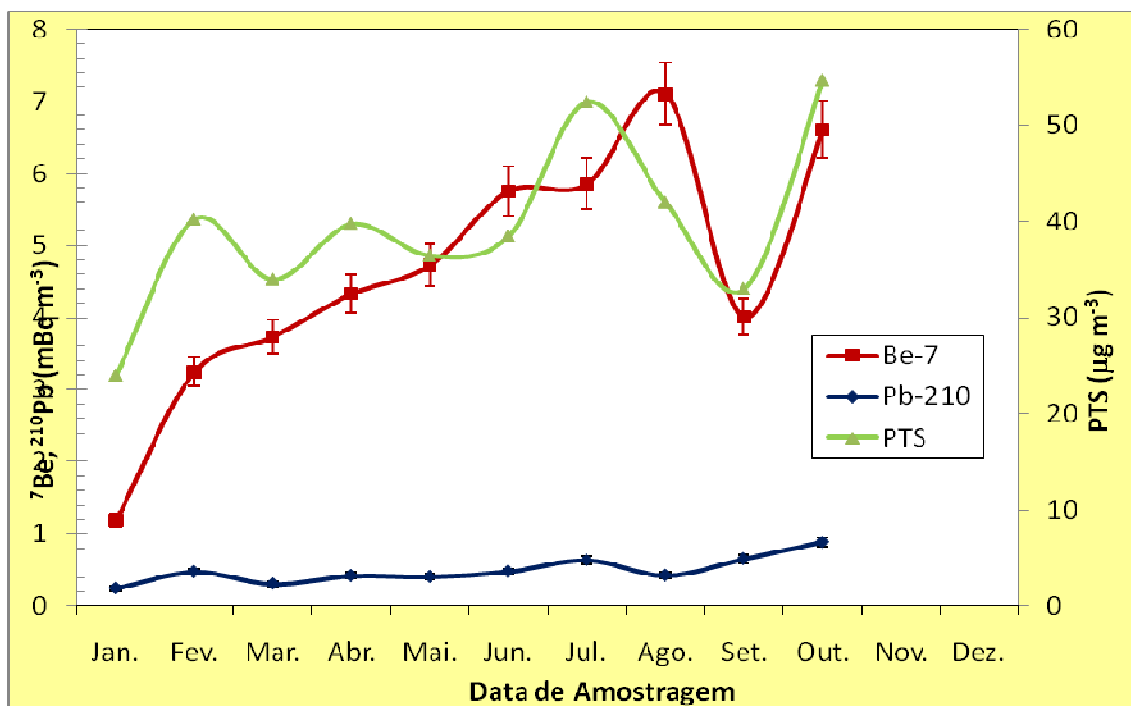


Figura II.3 - Evolução da concentração de actividade em ^7Be e ^{210}Pb (mBq m⁻³) e da concentração de partículas em suspensão ($\mu\text{g m}^{-3}$) em aerossóis recolhidos no *Campus* do ITN em Sacavém

II.2.2. Deposição Atmosférica

II.2.2.1. Material e Métodos

Os procedimentos relativos à amostragem e métodos analíticos utilizados para a determinação de radionuclídeos em água da chuva encontram-se descritos no Capítulo I.

II.2.2.2. Resultados e Discussão

Na Tabela II.2 apresentam-se os valores de actividade específica, A , dos diferentes radionuclídeos analisados em amostras de água da chuva recolhidas em Sacavém (*campus* do ITN). Na Tabela II.3 apresentam-se os respectivos fluxos mensais de deposição atmosférica. Os fluxos mensais foram obtidos multiplicando a actividade específica, em Bq L^{-1} , pela precipitação acumulada mensalmente, em mm, e correspondem a valores de deposição total (por via húmida e seca), uma vez que os colectores se encontram expostos durante a totalidade do período de amostragem, mesmo na ausência de precipitação. Na Figura II.4 estão representados graficamente os valores dos fluxos mensais de deposição em actividade alfa e beta totais, ^7Be , ^3H e os valores de precipitação acumulada mensalmente em Sacavém. Os valores de precipitação foram obtidos através de uma estação meteorológica (EMA), instalada no telhado do edifício da Administração junto ao amostrador de partículas.

Os valores de actividade específica em radionuclídeos naturais e artificiais medidos em amostras de água da chuva colhidas no campus do ITN foram baixos ao longo de todo o ano, com a maior parte dos resultados a situar-se abaixo dos valores da actividade mínima detectável. No caso do ^3H , apenas se registaram actividades mensuráveis em Maio e Setembro. Para o ^{90}Sr e o ^{137}Cs , todos os valores foram inferiores à actividade mínima detectável. Consequentemente, os fluxos de deposição de radionuclídeos artificiais foram extremamente baixos em 2008, apesar da precipitação acumulada em Sacavém ao longo do ano (1268 mm) ter sido cerca de três vezes superior à precipitação acumulada no ano anterior (Madruga *et al.*, 2008). Os fluxos de deposição anuais obtidos para a actividade alfa total e actividade beta total (24 Bq m^{-2} e 27 Bq m^{-2} , respectivamente) são também inferiores aos recentemente reportados por outros autores (Dueñas *et al.*, 2009). É de referir que os coeficientes de correlação obtidos entre os fluxos de deposição mensal de actividade alfa e beta total e a quantidade de precipitação (0,99 e 0,96, respectivamente) são significativos, indicando uma predominância da deposição por via húmida.

Tabela II.2 - Valores de actividade específica, A (Bq L⁻¹), de radionuclidos artificiais e naturais em água da chuva colhida em Sacavém (ITN). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o ⁷Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.

Data de Colheita	³ H	Água filtrada Ø ≤ 0,45 µm					Partículas em suspensão Ø > 0,45 µm
		⁷ Be	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
Janeiro	< 0,8 (a)	< 0,03	< 2,0 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,018 ± 0,001	0,015 ± 0,002	< 0,014 (d)
Fevereiro	< 0,8 (a)	< 0,2	< 1,2 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,030 ± 0,002	0,029 ± 0,002	< 0,014 (d)
Março	< 0,8 (a)	< 0,1	< 1,8 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,010 ± 0,001	0,003 ± 0,001	< 0,014 (d)
Abril	< 0,8 (a)	< 0,07	(g)	(g)	0,025 ± 0,001	0,005 ± 0,001	< 0,014 (d)
Maió	1,1 ± 0,6	0,11 ± 0,06	< 1,5 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,015 ± 0,001	0,027 ± 0,002	0,018 ± 0,005
Junho	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Julho	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Agosto	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Setembro	1,8 ± 0,6	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)
Outubro	< 0,8 (a)	< 0,05	< 1,1 x 10 ⁻³ (b)	< 0,9 x 10 ⁻³ (c)	0,021 ± 0,001	0,021 ± 0,002	0,026 ± 0,003
Novembro	< 0,8 (a)	0,19 ± 0,07	< 1,6 x 10 ⁻³ (b)	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	0,017 ± 0,001	0,005 ± 0,001	0,084 ± 0,008
Dezembro	< 0,8 (a)	0,06 ± 0,02	< 1,5 x 10 ⁻³ (b)	< 0,8 x 10 ⁻³ (c)	0,009 ± 0,001	0,024 ± 0,002	0,021 ± 0,003

Actividade mínima detectável em ³H (a), ⁹⁰Sr (b), ¹³⁷Cs (c), actividade beta total (d) e actividade alfa total (e); volume de amostra insuficiente para análise (f); amostra perdida durante a análise (g)

Tabela II.3 – Fluxos mensais de deposição atmosférica ($Bq\ m^{-2}$) em Sacavém (ITN). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o 7Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.

Data de colheita	Precipitação (mm)*	3H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\ \mu m$					Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\ \mu m$
			7Be	^{90}Sr	^{137}Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
Janeiro	146	(a)	(a)	(a)	(a)	$2,6 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,3$	(a)
Fevereiro	416	(a)	(a)	(a)	(a)	12 ± 1	12 ± 1	(a)
Março	69	(a)	(a)	(a)	(a)	$0,7 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1$	(a)
Abril	210	(a)	(a)	(c)	(c)	$5,3 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,2$	(a)
Maio	98	108 ± 59	11 ± 6	(a)	(a)	$1,5 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,5$
Junho	0,4	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Julho	0	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Agosto	0,4	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Setembro	18	32 ± 11	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Outubro	82	(a)	(a)	(a)	(a)	$1,7 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,2$
Novembro	69	(a)	13 ± 5	(a)	(a)	$1,2 \pm 0,1$	$0,35 \pm 0,07$	$5,8 \pm 0,6$
Dezembro	159	(a)	10 ± 3	(a)	(a)	$1,4 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,5$

(a) Actividade medida na água da chuva inferior à actividade mínima detectável; (b) volume de amostra insuficiente para análise; amostra perdida durante a análise (c).

* Dados obtidos através da estação meteorológica EMA, instalada no *campus* do ITN.

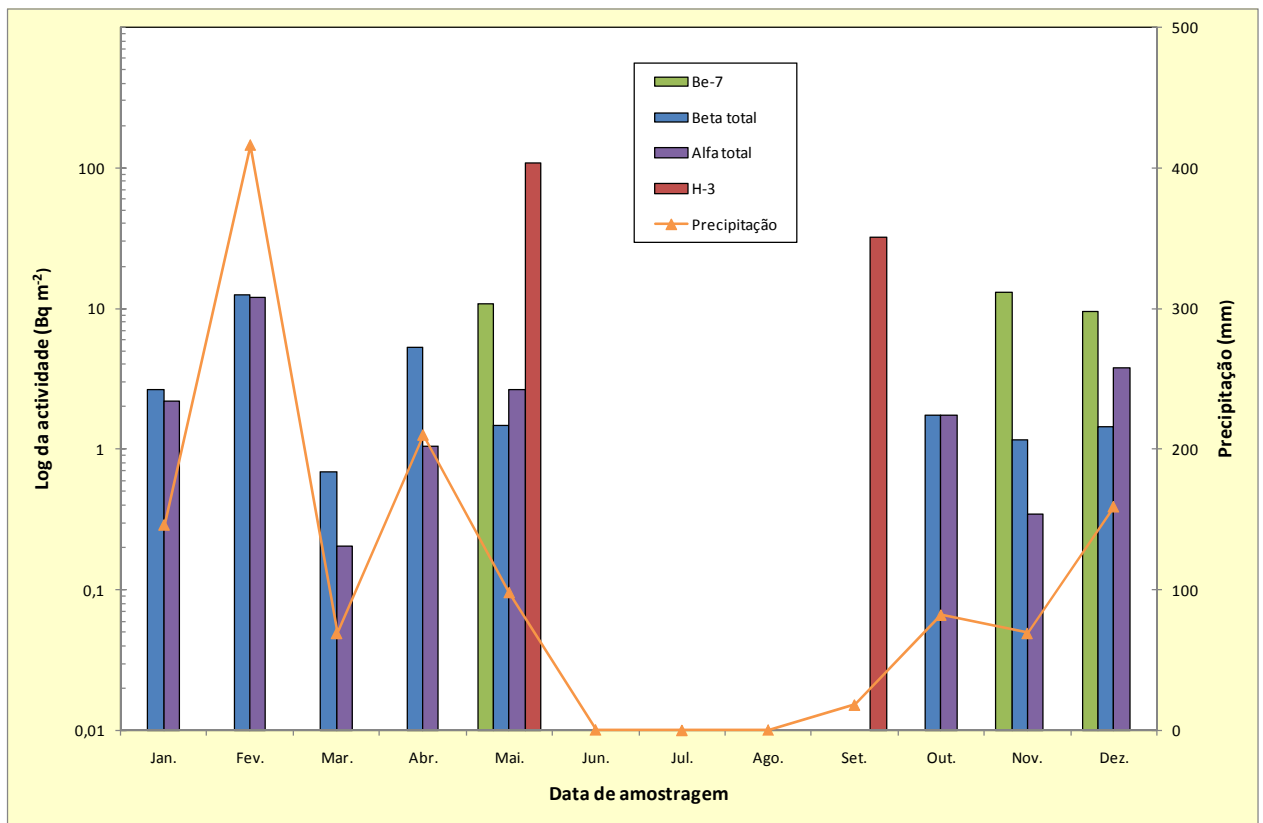


Figura II.4 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em ⁷Be, ³H, actividade beta total e actividade alfa total em Sacavém (campus do ITN).

II.3. RADIOACTIVIDADE EM SOLOS

II.3.1 Material e Métodos

No âmbito do programa de monitorização específico do *campus* do ITN, foram efectuadas colheitas mensais de amostras da camada superficial do solo em dois pontos distintos: no interior do perímetro do *campus*, em frente ao edifício da Química (Figura II.1) e no exterior do *campus* do ITN, nas instalações da Petrogal (Figura II.2).

Os procedimentos relativos à amostragem e aos métodos analíticos utilizados encontram-se descritos no Capítulo I.

II.3.2. Resultados e Discussão

Na Tabela II.4 apresentam-se os valores de actividade específica (em Bq kg⁻¹) de emissores gama naturais e artificiais detectados em amostras de solos colhidas em frente ao edifício da Química, no *campus* do ITN.

Como se pode observar na Tabela, os valores de actividade específica em ¹³⁷Cs variaram entre 2,1±0,4 e 6,4±0,7 Bq kg⁻¹ (para os meses de Janeiro, Fevereiro e Outubro os valores foram inferiores à actividade mínima detectável), correspondendo a valores vestigiais, da mesma ordem de grandeza dos obtidos em diferentes regiões do país (Capítulo I), não evidenciando qualquer indício de contaminação com origem em instalações existentes no *campus* do ITN.

Os valores de actividade específica em ¹³¹I situaram-se, ao longo de todo o ano, abaixo da actividade mínima detectável.

Na Tabela II.5, onde se apresentam os resultados obtidos para as amostras recolhidas nas instalações da Petrogal (fora do perímetro do *campus* do ITN), todos os valores da actividade específica em ¹³⁷Cs são inferiores à actividade mínima detectável para este radionuclido, à excepção dos obtidos para os meses de Julho e Agosto (0,8±0,2 e 2,2±0,7 Bq kg⁻¹, respectivamente). À semelhança do que se verificou para o ponto de amostragem situado no interior do *campus* do ITN, os valores da actividade específica em ¹³¹I foram sempre inferiores à actividade mínima detectável.

Tabela II.4 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de emissores gama naturais e artificiais em solos do *campus* do ITN (recolhidos em frente ao edifício de Química)

Data de colheita	²³⁵ U	²³⁸ U*	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be	¹³¹ I
Janeiro	<2,0 (a)	23 ± 3	54 ± 2	33 ± 2	104 ± 10	<0,8 (a)	548 ± 48	<4,2 (a)	<0,4 (a)
Fevereiro	<2,8 (a)	25 ± 3	58 ± 2	35 ± 1	34 ± 4	<0,8(a)	553 ± 32	<5,4 (a)	<0,6 (a)
Março	<2,6 (a)	26 ± 4	62 ± 2	38 ± 2	34 ± 4	2,4 ± 0,5	575 ± 28	<4,9 (a)	<0,7 (a)
Abril	<2,8 (a)	23 ± 4	57 ± 2	35 ± 1	28 ± 4	3,5 ± 0,6	586 ± 34	<5,3 (a)	<0,5 (a)
Maiο	<3,4 (a)	21 ± 4	46 ± 2	31 ± 1	50 ± 6	2,2 ± 0,5	620 ± 55	<4,5 (a)	<0,5 (a)
Junho	<3,6 (a)	59 ± 7	53 ± 2	43 ± 2	63 ± 7	5,7 ± 0,7	599 ± 36	<5,9 (a)	<0,9 (a)
Julho	<3,4 (a)	62 ± 8	41 ± 2	31 ± 1	52 ± 5	5,0 ± 0,8	515 ± 49	<7,5 (a)	<0,7 (a)
Agosto	<3,4 (a)	41 ± 6	58 ± 2	41 ± 2	76 ± 8	3,6 ± 0,8	639 ± 30	<7,4 (a)	<1,2 (a)
Setembro	<3,2 (a)	38 ± 5	48 ± 2	35 ± 1	70 ± 8	2,8 ± 0,5	503 ± 37	<5,9 (a)	<0,8 (a)
Outubro	<3,0 (a)	23 ± 3	50 ± 2	32 ± 1	65 ± 6	<0,8 (a)	537 ± 51	<5,2 (a)	<0,7 (a)
Novembro	<3,1 (a)	45 ± 6	52 ± 2	36 ± 2	61 ± 7	6,4 ± 0,7	574 ± 30	<6,6 (a)	<0,8 (a)
Dezembro	<3,4 (a)	26 ± 3	54 ± 2	36 ± 2	57 ± 4	2,1 ± 0,4	645 ± 35	<3,8 (a)	<0,6 (a)
Média ± σ (n=12)	<3,0	34 ± 14	53 ± 6	35 ± 4	58 ± 21	<3,0	574 ± 46	<5	<0,7

(a) Actividade mínima detectável; *determinado a partir da actividade em ²³⁴Th considerando que estão em equilíbrio radioactivo secular;

Tabela II.5 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de emissores gama naturais e artificiais em solos do *campus* da Petrógal

Data de colheita	²³⁵ U	²³⁸ U*	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be	¹³¹ I
Janeiro	<1,9 (a)	11 ± 2	22 ± 2	15 ± 1	52 ± 7	<0,6 (a)	449 ± 42	<4,4 (a)	<0,5 (a)
Fevereiro	<2,3 (a)	14 ± 2	29 ± 1	19 ± 1	18 ± 4	<0,1 (a)	573 ± 26	<4,7 (a)	<0,6 (a)
Março	<2,2 (a)	14 ± 2	30 ± 1	20 ± 1	15 ± 3	<0,6 (a)	550 ± 37	<4,2 (a)	<0,5 (a)
Abril	<2,6 (a)	15 ± 2	28 ± 1	19 ± 1	21 ± 4	<0,8 (a)	533 ± 36	<4,4 (a)	<0,6 (a)
Mai	<2,2 (a)	15 ± 2	30 ± 1	20 ± 1	19 ± 2	<0,6 (a)	605 ± 54	8,7 ± 2,5	<0,4 (a)
Junho	<2,4 (a)	17 ± 3	30 ± 1	20 ± 1	21 ± 3	<1,1 (a)	586 ± 29	<5,5 (a)	<1,1 (a)
Julho	<2,1 (a)	19 ± 3	34 ± 1	22 ± 1	17 ± 5	0,8 ± 0,2	647 ± 56	<3,3 (a)	<0,4 (a)
Agosto	<2,4 (a)	22 ± 3	49 ± 2	31 ± 1	25 ± 5	2,2 ± 0,7	664 ± 44	<6,8 (a)	<0,7 (a)
Setembro	<2,4 (a)	11 ± 2	26 ± 1	18 ± 1	20 ± 3	<0,7 (a)	523 ± 27	<5,1 (a)	<0,5 (a)
Outubro	<2,4 (a)	13 ± 2	27 ± 1	18 ± 1	18 ± 6	<1,0 (a)	607 ± 27	<5,8 (a)	<0,7 (a)
Novembro	<3,2 (a)	21 ± 3	44 ± 2	31 ± 1	33 ± 5	<0,8 (a)	569 ± 53	<6,6 (a)	<0,8 (a)
Dezembro	<2,4 (a)	22 ± 3	40 ± 1	28 ± 1	26 ± 3	<0,6 (a)	646 ± 25	<4,4 (a)	<0,4 (a)
Média ± σ (n=12)	<2,4	16 ± 4	32 ± 8	22 ± 5	24 ± 10	<0,8	579 ± 61	<5,3	<0,6

(a) Actividade mínima detectável; *determinado a partir da actividade em ²³⁴Th considerando que estão em equilíbrio radioactivo secular;

II.4. DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL

II.4.1. Detectores Activos

II.4.1.1. Material e Métodos

Durante o ano de 2008, o ITN efectuou o controlo contínuo da radiação gama ambiental, no interior do perímetro do seu *campus*, através de um sistema *Shortlink* composto por três sondas *GammaTracer-XL* (instaladas em Outubro de 2004) e por uma central de controlo. As sondas foram instaladas tendo em consideração a direcção preferencial do vento relativamente à localização do RPI. Uma vez que os ventos predominantes sopram de Nordeste, as sondas estão localizadas a Sul (Biblioteca), Este (UPSR) e Oeste (Oficinas) do RPI, abrangendo, desta forma, a maior área possível (ver Figura II.1).

As sondas *GammaTracer-XL* estão equipadas com um sistema de comunicação via rádio (433,5 MHz) que permite o envio de dados para a central em ciclos de tempo ajustáveis. Possuem, ainda, uma memória interna que possibilita o armazenamento de dados, permitindo salvaguardar a informação caso ocorram falhas na comunicação via rádio. O sistema *Shortlink* é baseado no princípio de rádio unidireccional, ou seja, a sonda envia informação para a central sem receber qualquer tipo de confirmação, o que permite prolongar a vida das baterias. A distância máxima para a transmissão de dados é de 5 km. Para a programação e manutenção das sondas é utilizado um servidor de rede portátil, *DataGATE*, com uma porta de infravermelhos que estabelece a interface com um PC (Madureira & Portugal, 2006).

Cada sonda é constituída por dois detectores de radiação Geiger-Müller, cada um deles com um canal independente, tendo um maior sensibilidade para baixas doses e outro maior sensibilidade para altas doses, funcionando em simultâneo para doses intermédias. As sondas são sensíveis para uma gama de energias entre 45 e 2000 keV e para débitos de dose ambiente na gama dos 10 nSv h⁻¹ aos 10 Sv h⁻¹. Os valores de débito de dose e parâmetros relacionados são registados minuto a minuto. Para prolongar a vida das baterias, as sondas encontram-se configuradas para, em situação normal, enviar dados para a central a cada 60 minutos. O primeiro nível de alarme encontra-se actualmente definido para os 300 nSv h⁻¹, diminuindo a periodicidade de envio dos dados para cada 10 minutos. O segundo nível de alarme está definido para 1 µSv h⁻¹, sendo o envio dos dados efectuado minuto a minuto (Madureira & Portugal, 2006).

II.4.1.2. Resultados e Discussão

O débito de equivalente de dose ambiente variou, durante o ano de 2008, entre 84 e 130 nSv h⁻¹ no ponto localizado no telhado do edifício Biblioteca, entre 89 e 132 nSv h⁻¹ no ponto localizado junto às Oficinas, e entre 142 e 230 nSv h⁻¹ no ponto localizado frente à UPSR. Os valores médios anuais foram, respectivamente, 94 nSv h⁻¹, 100 nSv h⁻¹ e 165 nSv h⁻¹. Na Figura II.5 apresenta-se a variação dos valores médios mensais ao longo do ano de 2008.

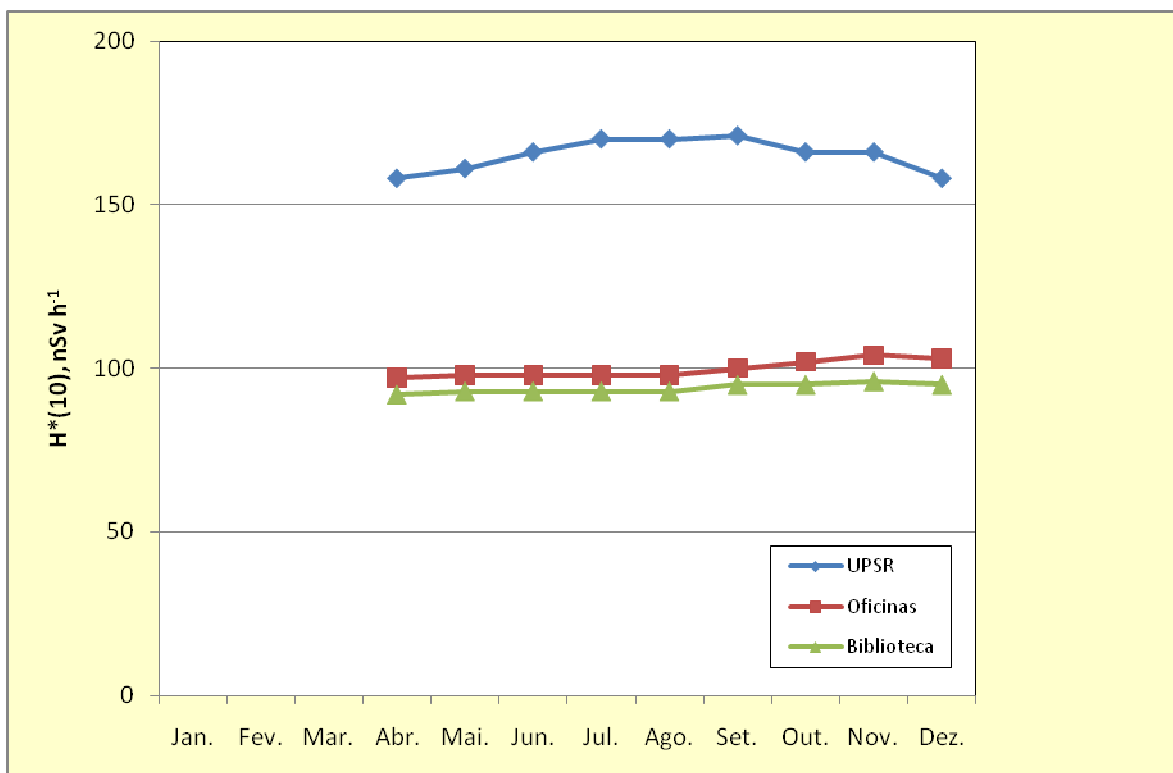


Figura II.5 – Variação dos valores médios mensais do débito de equivalente de dose ambiente nos três locais de medição do *campus* do ITN (valores expressos em nSv h⁻¹)

A ausência de valores para os meses de Janeiro, Fevereiro e Março deve-se ao envio das sondas para o fabricante, para operações de manutenção e calibração. Pode-se observar, através do gráfico, que os valores do débito de equivalente de dose ambiente registados pelas sondas localizadas na Biblioteca e junto às Oficinas são muito semelhantes (cerca de 100 nSv h⁻¹) e apresentam pequenas variações ao longo do ano. Por outro lado, os valores do débito de equivalente de dose ambiente no ponto localizado junto à UPSR são significativamente superiores aos registados nos outros locais (média anual de 165 nSv h⁻¹) apresentando uma maior variação ao longo do ano. A persistência na ocorrência de valores mais elevados neste ponto de medição, à semelhança do que se tem vindo a verificar em anos anteriores, deve-se, provavelmente, ao facto da sonda estar localizada na proximidade do pavilhão de armazenamento temporário de resíduos radioactivos de média e baixa actividade do ITN.

Em termos relativos, os resultados apresentados são consistentes com os obtidos através de detectores passivos (ver II.4.2), não indiciando a ocorrência de qualquer emissão acidental.

II.4.2. Detectores Passivos

II.4.2.1. Material e Métodos

Durante o ano de 2008, a dose de radiação gama ambiental no *campus* do ITN em Sacavém, foi monitorizada em quatro pontos de medida, designados: Administração, Oficinas, LMRI e Anemómetro, com o mesmo tipo de dosímetros usados nas medidas realizadas no resto do País (Madruga *et al.*, 2005, 2006 e 2007). O ponto LMRI, localizado a Este do Reactor

Português de Investigação e do Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes, constitui um novo ponto de amostragem; o ponto Administração substitui o anteriormente designado ITN Biblioteca, está localizado no topo do edifício da Administração; e o ponto Anemómetro que se mantém na mesma posição que o anterior ITN DPRSN, tendo-se alterado unicamente a respectiva designação. Os dosímetros foram colocados a um metro do solo, em suportes que não oferecem resistência ao vento, construídos para o efeito. Nestes suportes, colocaram-se vários conjuntos de dosímetros que permaneceram expostos durante intervalos de tempo correspondentes a períodos de integração sucessivamente crescentes, variando de 60 até cerca de 140 dias, fazendo coincidir o último conjunto avaliado em cada trimestre com o último dosímetro devolvido pelas estações de monitorização espalhadas no País. Os dosímetros identificados como LMRI e Anemómetro estão de facto posicionados a um metro do solo, enquanto que nos outros dois locais de medida, se encontram também a um metro, mas nos terraços dos edifícios da Administração e das Oficinas. Em média, durante cada trimestre do ano, realizaram-se cerca de quatro avaliações em cada ponto de medida.

A metodologia utilizada na avaliação da dose ambiental baseia-se na metodologia seguida na dosimetria individual por termoluminescência, adaptada e optimizada aos requisitos das medidas ambientais (Alves *et al.*, 2006). O dosímetro termoluminescente utilizado consiste no cartão Harshaw 8814 contendo dois detectores de LiF:Mg,Ti (TLD-100) inserido no respectivo porta-dosímetro, adequado à medida do equivalente de dose individual $H_p(10)$, posteriormente corrigido para a grandeza equivalente de dose ambiente $H^*(10)$. Os dosímetros foram lidos nos leitores semi-automáticos Harshaw 6600 calibrados mensalmente, sendo a eficiência de cada dosímetro corrigida através da aplicação do respectivo factor de correcção individual, de acordo com metodologia anteriormente descrita (Madruga *et al.*, 2006; Alves *et al.*, 1999). Para cada período de integração, em cada ponto de medida, colocaram-se doze dosímetros, agrupados em três conjuntos de quatro, todos expostos durante o mesmo intervalo de tempo. O primeiro conjunto de quatro dosímetros foi irradiado a uma dose de referência antes da colocação no ponto de medida; o segundo conjunto de quatro dosímetros foi irradiado à mesma dose de referência depois do tempo de integração; o terceiro conjunto de dosímetros não recebeu qualquer irradiação além da dose de radiação natural que se pretende avaliar. Findo o período de integração pretendido, os três conjuntos foram lidos simultaneamente. Com os dois conjuntos irradiados antes e depois do período de integração, pretende-se corrigir o *fading* (desvanecimento térmico) e/ou as alterações de sensibilidade induzidas pela temperatura ambiente e suportadas pelos dosímetros durante o tempo de integração (Alves *et al.*, 1999). Para cada medida, determinou-se o respectivo factor de correcção de *fading*, que foi aplicado ao valor de dose avaliado com os quatro dosímetros não irradiados. No caso dos dosímetros

colocados no ITN, os dosímetros foram todos distribuídos pelos respectivos pontos de medida no dia em que foram preparados (*reset*) e foram processados (lidos) também no mesmo dia em que foram removidos.

Atendendo a que a grandeza adequada para exprimir as medidas de dose de radiação ambiental é o equivalente de dose ambiente, $H^*(10)$, expresso em sievert, os leitores foram calibrados em termos desta grandeza. Os resultados que se apresentam neste relatório estão todos expressos em termos do débito de equivalente de dose ambiente, $\dot{H}^*(10)$, em unidades de nSv.h^{-1} (ou seja, nanosievert por hora).

II.4.2.2. Resultados e Discussão

Na Tabela II.6 representam-se os valores médios do débito de equivalente de dose ambiente medido nos quatro pontos localizados no *campus* do ITN nos quatro trimestres de 2008, calculados a partir das medidas efectuadas com período de integração superior a 60 dias. A respectiva incerteza foi obtida a partir do desvio padrão das leituras. Na mesma tabela apresentam-se também os valores médios anuais para 2008, calculados a partir dos valores trimestrais, bem como a respectiva incerteza, determinada considerando todas as medidas efectuadas. Estes valores estão também representados na Figura II.6.

Tabela II.6 – Valores médios do débito do equivalente de dose ambiente medido em cada ponto de medida do *campus* do ITN em cada trimestre e respectivo valor médio anual (valores expressos em nSv.h^{-1})

Ponto de medida	I	II	III	IV	Ano 2008
Oficinas	77±6	69±9	62±5	70±4	70±6
Administração	67±7	64±10	60±6	69±4	65±4
LMRI	88±9	77±10	77±6	89±6	83±7
Anemómetro	127±10	129±9	110±8	141±6	126±13

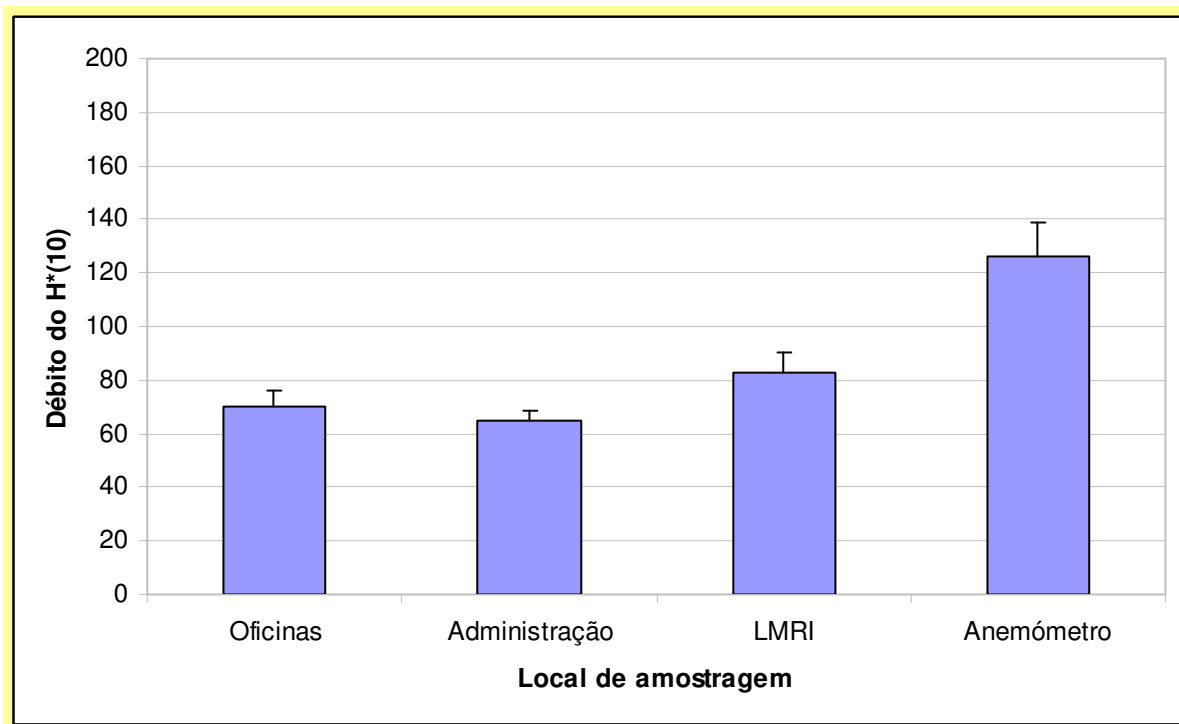


Figura II.6 – Valores médios anuais para 2008 do débito de equivalente de dose ambiente medido nos quatro pontos de medida do *campus* do ITN (valores expressos em nSv.h⁻¹)

Tal como em anos anteriores, observa-se que os valores médios do débito de equivalente de dose ambiente medidos nos pontos Oficinas e Administração são muito próximos entre si, e que os valores medidos no ponto Anemómetro são sistematicamente mais elevados do que os outros dois. Pela primeira vez, no ano de 2008 apresentam-se valores para o ponto LMRI que são intermédios relativamente aos obtidos para os outros dois conjuntos. Apesar das medidas terem sido sempre realizadas a um metro do solo, nas duas primeiras localizações os dosímetros encontram-se no topo de edifícios, construídos provavelmente com o mesmo tipo de materiais, dando origem a valores de dose semelhantes também. No caso dos pontos LMRI e Anemómetro, os dosímetros encontram-se a um metro do solo, mas tal como sugerido em relatórios anteriores, este último ponto de medida localiza-se próximo do pavilhão de armazenamento de resíduos radioactivos de média e baixa actividade do ITN, e provavelmente, por esta razão os valores medidos são sistematicamente mais elevados do que os registados nos outros locais (ponto LMRI e nos outros dois). De uma maneira geral, observa-se que os valores trimestrais e o valor médio anual, registados em cada ponto de medida são semelhantes aos de anos anteriores (Madruga *et al.*, 2005, 2006 e 2007). Os valores medidos em 2008 e apresentados na Tabela II.6 são valores considerados normais, compatíveis com valores anteriormente publicados (Amaral, 1995).

Tomou-se como valor representativo para a região de Lisboa o valor médio das medidas realizadas nos pontos Oficinas, Administração e LMRI, com períodos de integração superiores a 60 dias, em cada trimestre.

II.5. MONITORIZAÇÃO NA FONTE

II.5.1. Descargas Líquidas

Durante o ano de 2008, o controlo dos níveis de radioactividade nos efluentes líquidos recebidos na Estação de Controlo de Descargas dos Efluentes Líquidos Radioactivos (ECoDELiR) e descarregados para a ETAR foi efectuado através de amostragem discreta, uma vez que o sistema de monitorização através da medição em contínuo com detector de iodeto de sódio, foi desactivado para remodelação integral da estação. As análises às amostras de efluentes foram realizadas no Laboratório de Espectrometria Gama (LEG).

Na Figura II.7 são apresentadas as actividades totais descarregadas, por tanque, ao longo do ano (as referências TC1, TC2, TC3 e TC4 correspondem a Tanque Central 1,2,3,e 4, respectivamente).

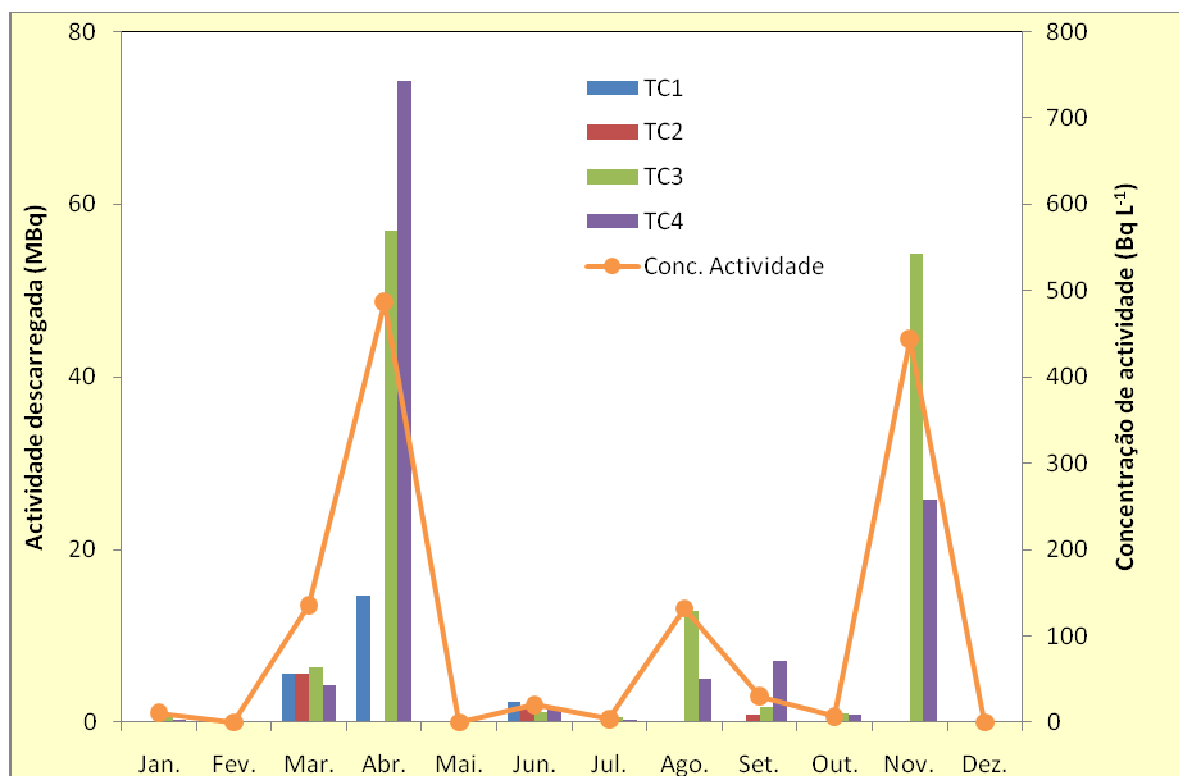


Figura II.7 – Variação mensal da actividade descarregada por tanque durante o ano de 2008 e variação mensal da concentração de actividade total para o mesmo período.

A actividade total descarregada ao longo do ano foi de 286 MBq para um volume total de 2015 m³. Nos meses de Fevereiro, Maio e Dezembro não se registaram descargas. Como se pode observar na Figura II.7, a concentração de actividade variou entre 4 Bq L⁻¹ (no mês de Julho) e 487 Bq L⁻¹ (no mês de Abril), tendo sido sempre inferior ao limite de descarga em vigor no ITN (740 Bq L⁻¹).

II.5. CONCLUSÕES

Os resultados do Programa de Monitorização relativo ao ano de 2008, mostram que os níveis de radioactividade de origem antropogénica no ambiente exterior do *campus* do ITN são baixos. As concentrações de ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I e ^3H mantiveram-se, na maior parte dos casos, abaixo da actividade mínima detectável ou em níveis sem significado do ponto de vista da protecção radiológica.

A dose de radiação gama ambiental, monitorizada através de detectores passivos e detectores activos (rede de detecção gama em contínuo), manteve-se ao longo de todo o ano em valores considerados normais, não indiciando a ocorrência de qualquer anomalia ou emissão accidental. Os valores mais elevados obtidos com as sondas comparativamente aos TLD devem-se provavelmente à diferente dependência energética dos equipamentos.

As concentrações de actividade nos efluentes líquidos descarregados para a ETAR, situaram-se sempre abaixo do limite de descarga em vigor no ITN.

REFERÊNCIAS

C. Dueñas, M.C. Fernández, S. Cañete, J.J. Pérez Barea, M. Pérez, (2009), Effects of collector types in sampling of atmospheric depositional fluxes, *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 198-202.

Madruga M.J., Carvalho F.P, Reis M., Pinhão N., Alves J., Corisco J., Trindade R., Oliveira J.M, Libânio A., Mourato A., Silva G., Portugal L., Lopes I., Silva L., Abrantes J., Torres L., Malta M., Gomes A.R., Carvalhal G., Fonseca H., Melo J., Pereira M., Baptista A., (2008). *Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2007)*. Relatório UPSR, Série A, nº32/08, ISBN 978-972-8660-33-8, Depósito Legal 194022/03.

Madureira, L., Portugal, L., (2006), Rede de Detecção de Radiação Gama Ambiente no ITN, Trabalho apresentado no âmbito do Mestrado em Engenharia Física Tecnológica – Segurança e Protecção Radiológica, IST.

E.M. Amaral, (1995), Exposição à Radiação Gama Natural Terrestre – relação entre as doses de radiação e os radionuclídeos primordiais existentes no solo. Monografia apresentada para prestação de provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar.

J.G. Alves, J.L. Muñiz, J.M. Gómez Ros and A. Delgado, (1999), A comparative study on the thermal stability of LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P detectors for environmental monitoring. *Radiat. Prot. Dosim.*, 85, 253-257.

J.G. Alves, L. Novais, S. Rangel, A. Calado, (2006), Testes para a implementação da dosimetria ambiental com detectores termoluminescentes individuais. Relatório Interno.

J.G. Alves, L. Novais, S. Rangel, (2006), Environmental gamma radiation monitoring at ITN. In *Actas do 10th International Symposium on Radiation Physics*, Coimbra (Portugal).

III. PROGRAMA ESPECÍFICO PARA AS REGIÕES DAS MINAS DE URÂNIO

Investigador

Fernando Carvalho

Técnico

João Maria Oliveira

Avençado

Margarida Malta

III.1 OBJECTIVOS

III.1.1 Introdução

Em Portugal entre 1908 e 2001 foram explorados 60 depósitos de minério de urânio para a produção de rádio e de urânio. Com o encerramento das actividades da Empresa Nacional de Urânio (ENU-SA) o património desta empresa pública, incluindo a responsabilidade pelos antigos sítios mineiros, foi transferido para a Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM), holding mineira sob a tutela do Ministério da Economia. Os trabalhos de requalificação ambiental dos antigos sítios mineiros foram cometidos de início à EXMIN, empresa concessionária única criada pela EDM, sob a supervisão de uma Comissão de Acompanhamento da Concessão instituída pelo Decreto-Lei 198A/2001. Mais tarde a EXMIN viria ser extinta e a actividade de remediação ambiental dos antigos sítios mineiros transferida para a EDM (Nero et al., 2005; Santiago Baptista, 2005).

Ao ITN incumbe *«proceder à vigilância ambiental na área de influência de explorações mineiras de minério radioactivo, incluindo as fases de exploração, encerramento e requalificação»*, conforme o estabelecido no Dec. Lei nº 165/2002, Artº14, alínea o). Para este efeito foi elaborado em 2006 e iniciado em 2007, um programa regular de monitorização radiológica ambiental na zona das antigas minas de urânio, procedendo-se à determinação das concentrações dos radionuclidos da família do urânio no ambiente. Este programa de monitorização foi apresentado e debatido com a Missão de Verificação do Artigo 35 do Tratado EURATOM, que visitou Portugal em Novembro 2006, e com a EDM.

O Programa de Monitorização das Antigas Zonas Mineiras de Urânio, não constitui, no entanto, o início dos trabalhos do Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear do ITN neste domínio (Carvalho, in press). Na realidade foi precedido de trabalhos de monitorização ambiental efectuados no decurso das duas décadas anteriores e, em particular, do trabalho de identificação e caracterização dos sítios com resíduos mineiros (projecto financiado pela IAEA, 2001-2003) (Carvalho 2003a; 2003b). Seguiu-se a investigação efectuada no âmbito do Projecto «Estudo dos efeitos dos resíduos das minas de urânio na saúde da população» (Projecto “MinUrar”, 2003-2006), financiado pelo Ministério da Saúde no seguimento da Recomendação da Assembleia da República nº 34/2001. O projecto “MinUrar” permitiu um estudo mais aprofundado de áreas perto de antigas minas de urânio e a investigação da contaminação ambiental e dos efeitos sobre a saúde pública. Constatada nessas áreas a ocorrência de exposição a radiações ionizantes acima do fundo radioactivo natural, as recomendações efectuadas pelo Projecto “MinUrar” incluíram a monitorização ambiental periódica das áreas mais afectadas pelos resíduos da extracção e do tratamento do minério de urânio, bem como o acompanhamento do impacto radiológico das obras de remediação e, após

conclusão dos trabalhos de remediação ambiental, a monitorização mais espaçada para assegurar o controlo da exposição radiológica das populações a longo termo (Falcão et al., 2005, 2006, 2007).

A execução do plano de remediação ambiental da zona da Urgeiriça foi iniciado em 2005 e concluído em 2007 pela EDM. Os trabalhos consistiram na transferência de várias escombrelas de menor volume existentes na área da Urgeiriça e sua recolocação sobre os resíduos acumulados na Barragem Velha. Após redistribuição dos volumes para redução dos declives da escombrela, esta foi recoberta com camadas de diversos materiais (membrana geotextil, argila, cascalho) para reduzir a dose de radiação externa e a exalação de radão para a atmosfera (EDM, 2007).

O programa de monitorização radiológica das zonas das antigas minas de urânio tem por finalidade permitir a determinação da radioactividade no ambiente e detectar eventuais situações de exposição da população a doses elevadas de radiações ionizantes resultantes da exposição aos resíduos das minas de urânio, a fim de permitir a sua correcção.

III.1.2 Plano de Monitorização de 2008

Para 2008 foi elaborado um plano de monitorização ambiental que incluiu quatro áreas localizadas na província uranífera das Beiras, onde se situa a maioria das minas de rádio e urânio exploradas, incluindo as áreas de deposição de resíduos mineiros e do tratamento do minério de urânio. Não seria possível monitorizar os 60 sítios das antigas explorações de urânio, aliás muitos deles de pequena dimensão e sem resíduos abandonados no local, pelo que se estabeleceram prioridades e seleccionaram as áreas a monitorizar.

As áreas seleccionadas foram:

- a) Beira Alta, minas principais a Norte da cidade da Guarda
- b) Zona da antiga Fábrica de Sais de Rádio
- c) Zona das minas da Urgeiriça, Quinta do Bispo e Cunha Baixa
- d) Bacia hidrográfica do Rio Mondego

Em 2008 foram amostradas a zonas envolventes de várias antigas explorações de rádio e urânio na Beira Alta que não tinham sido monitorizadas em anos recentes, nomeadamente as antigas minas de A do Cavalo, Senhora das Fontes, Mortórios, Freixinho, Pêra do Moço, Barroco D. Frango e a zona da antiga Fábrica de Sais de Rádio na aldeia de Barracão, perto da Guarda (Figura III.1).



Figura III.1 - Principais minas de Urânio na Beira Alta. Sítios monitorizados em 2008.

A zona da Mina da Urgeiriça (Canas de Senhorim, Nelas), onde se concentram os principais resíduos do tratamento químico do minério de urânio, foi também monitorizada (Figura III.2).



Figura III.2 - Antigas minas de urânio na bacia hidrográfica do Rio Mondego monitorizadas em 2008.

A zona das antigas minas da Quinta do Bispo, Cunha Baixa e Espinho (Mangualde) foi detalhadamente monitorizada para a radioactividade na água, solos e produtos hortícolas. De igual modo a bacia hidrográfica da Ribeira da Pantanha, da Ribeira do Castelo, afluentes da margem direita do Mondego, e o Rio Mondego foram amostrados (Figura III.2).

O primeiro grupo de minas não fora ainda incluído neste programa de monitorização da radioactividade ambiental pelo que, com o presente trabalho, se expande a cobertura dos antigos sítios de exploração de minérios radioactivos no País e o conhecimento da exposição à radioactividade e do risco radiológico nestas áreas (Carvalho et al., 2007a, 2007b, 2007c). A presente monitorização da antiga Fábrica de Sais de Rádio, situada na mesma região, foi apenas precedida de um estudo efectuado pelo DPSR há mais de 20 anos (Bettencourt et al., 1988), e desde então parte dos resíduos foi removida do local pela ENU-SA. A monitorização da região da Urgeiriça e de outras minas próximas, bem como das bacias hidrográficas recipientes das escorrências, foi efectuada em anos anteriores (Carvalho et al., 2006a; 2006b; 2006c) e repetiu-se em 2008 por se tratar das zonas de remediação ambiental recentemente

efectuada pela EDM e com trabalhos ainda em curso com assinalável importância para a contenção e controlo destes resíduos mineiros radioactivos.

III. 2 MATERIAIS E MÉTODOS

III.2.1 Amostragem

A monitorização ambiental efectuada pelo ITN assenta na recolha de amostras para a determinação das concentrações dos radionuclidos nas áreas seleccionadas. Esta amostragem incluiu a recolha em cada área, na medida do possível, de escombros mineiros, solos, água dos cursos de água superficiais e de poços ou furos, produtos hortícolas, e de pecuária. Esta amostragem está sempre condicionada pela existência de actividades agrícolas ou pecuárias na zona, que por vezes são inexistentes. A água das redes públicas de abastecimento de água de beber foi sempre amostrada para análise nas povoações mais próximas dos sítios mineiros.

Em cada ponto de amostragem foram registadas as coordenadas GPS do local, as características das amostras e, no caso das amostras de água, foram efectuadas no local as determinações dos principais parâmetro físico-químicos. A amostragem na totalidade dos locais aqui descritos foi efectuada em três missões de campo, com a duração de uma semana cada, realizadas em Junho, Setembro e Dezembro.

III.2.2 Preparação e análise das amostras

As amostras de água de linhas de água e poços foram filtradas no local, através de filtros de membrana com 0.45 µm de poro para a análise separada das concentrações na fase solúvel e na fase particulada. As amostras de água filtradas foram acidificadas com HNO₃ a pH<2 e transportadas em bidões de polietileno para o laboratório.

As amostras de solos e de escombros foram secas a 60° C, e peneiradas através de crivos com 63 µm de malha para separar os materiais mais grosseiros e utilizar apenas a fracção inferior a 63 µm para a análise. As poeiras em suspensão no ar de superfície foram recolhidas com amostradores de ar de grande caudal (Andersen) e filtros de celulose Whatman, com registo do volume de ar filtrado e determinação da concentração de poeiras. As amostras de produtos hortícolas, couves, alfaces, frutos, ou outros, foram obtidas com a colaboração da população nas hortas de cada região, de acordo com os produtos cultivados. Estas amostras foram lavadas e descascadas como se faria para consumo e, seguidamente, liofilizadas.

Após homogeneização, das amostras foram retiradas alíquotas para análise às quais se adicionaram traçadores isotópicos dos elementos a analisar (²³²U, ²²⁹Th, ²²⁴Ra, ²⁰⁹Po e Pb estável). Procedeu-se à dissolução total das alíquotas em HNO₃, HCl e HF, seguida de separação radioquímica e purificação dos radioelementos a determinar. Os radioelementos foram electrodepositados em discos metálicos, de aço ou prata, e a radioactividade determinada por espectrometria alfa com detectores de superfície de barreira e implantados, utilizando

espectrómetros OctetePlus (ORTEC EG&G). As técnicas de separação radioquímica e de espectrometria alfa utilizadas foram testadas e descritas na literatura científica (Carvalho et al., 2005; Oliveira e Carvalho, 2006; Carvalho e Oliveira, 2007).

A determinação em contínuo da concentração de radão (^{222}Rn) no ar de superfície foi efectuada durante cerca de 3 meses com analisadores de detector de barreira de silício (Sarad) colocados a 2 m acima do solo, sob alpendres de casas nas proximidades das escombreira da Barragem Velha e em Canas de Senhorim.

O controlo de qualidade analítica das análises efectuadas foi regularmente efectuado através de análise de Materiais de Referência com concentrações conhecidas e através da participação em exercício de intercomparação laboratorial organizados pela Agencia Internacional de Energia Atómica (IAEA) e pelo Institute of Reference Methods and Materials (IRRM) do Joint Research Centre da EU (Pham et al, 2006; Richter et al., 2006; Povinec et al, 2007).

III.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Minas da Beira –Alta

A **Mina de A do Cavalo**, Concelho de Trancoso, apresenta ainda uma cratera (ou “céu aberto”), profundamente encaixada na serra (Figura III.3). A cratera está actualmente preenchida por uma lagoa de origem pluvial, que ocasionalmente transborda para a Ribeira do Aldeão. Ao lado da cratera, os montículos dos escombros mineiros cobrem cerca de 0.5 hectare e são acessíveis, tal como a cratera mineira, por uma estrada de terra batida. Os escombros mineiros têm teor variável de radionuclidos da série do urânio, com um máximo de 6150 Bq/kg de ^{238}U , mais elevado que o campo lavrado anexo (trigo), situado também em terrenos da concessão mineira, com 3788 Bq/kg de ^{238}U . O sedimento do leito da Ribeira do Aldeão, próximo da aldeia do Carvalhal, apresenta teores mais baixos, com 915 Bq/kg de ^{238}U (Tabela III.1). A concentração de radionuclidos na fase solúvel das águas da cratera mineira, do poço existente no campo lavrado e da Ribeira do Aldeão indicam concentrações entre 24,9 e 201 mBq/L (Tabela III.2), com actividades específicas muito elevadas nas partículas em suspensão, alcançando 10,7 kBq/kg (Tabela III.3). A concentração de radionuclidos na matéria em suspensão é também razoavelmente semelhante nos vários locais, e na realidade mais elevada na água do poço que na água da cratera mineira (Tabela III.3). Estas concentrações medidas na água do poço podem ser devidas a escombros existentes no campo lavrado, onde em tempos foi aberta a primeira cratera mineira desta exploração e posteriormente preenchida e recoberta com solo. Na fase actual, a água da cratera mineira não parece ser uma fonte de contaminação significativa para a Ribeira do Aldeão, mas a lixiviação dos escombros depositados em superfície e no campo anexo poderá ser uma fonte de radionuclidos mais importante para as

águas de superfície e subterrâneas na zona. Não há hortas cultivadas nas proximidades desta antiga mina.



Figura III.3 - Cratera da Mina de A do Cavallo.

A Mina da Senhora das Fontes, próxima de Santa Eufémia, Concelho de Pinhel, foi uma importante exploração de urânio provida com instalações de moagem e de tratamento químico do minério no local. A extracção foi feita por lavra subterrânea e os poços de acesso à mina estão actualmente selados. Os resíduos sólidos resultantes do tratamento do minério estão acumulados à superfície, na zona das antigas instalações de apoio à mina. A análise de materiais recolhidos nas escombrelas da mina indica a existência de escombros mineiros com baixo teor de urânio parcialmente misturados com resíduos da extracção, apresentando os radionuclidos descendentes do ^{238}U com ligeiro sobre-equilíbrio radioactivo em relação ao progenitor, e a existência de resíduos da extracção química de urânio com concentrações de ^{230}Th , ^{226}Ra e de ^{210}Po e ^{210}Pb cerca de 10 vezes mais elevadas que o urânio (Tabela III.1).

Não há drenagem superficial e visível de águas da mina, mas o curso de água próximo, a Ribeira de Santa Eufémia, drena as encostas da zona da mina para a povoação com o mesmo nome e recebe as escorrências superficiais dos escombros mineiros.

A meia encosta, a Ribeira de Sta Eufémia passa ao lado da nascente conhecida por Fonte do Concelho, situada a cota mais elevada que a aldeia, e cuja água é utilizada para consumo humano pela população da aldeia de Sta Eufémia. A água da Fonte do Concelho tem radioactividade muito baixa, 10,7 mBq/L de ^{238}U , mas a água da ribeira, com concentração de ^{238}U cerca de 30 vêzes mais elevada, é usada para a irrigação de várias hortas na mesma povoação (Tabela III.2). Os produtos das hortas regadas com água da ribeira, em especial as

alfaces, apresentam concentrações de ^{226}Ra mais elevadas que as hortas regadas com água de furos, atingindo 379 mBq/kg (peso fresco) (Tabela III.4).

As concentrações medidas na fase solúvel das águas de furos, poços e fontes são, geralmente, baixas (Tabela III.2), indicando reduzida contaminação radioactiva dos recursos hídricos na zona, exceptuando a ribeira. Aquelas águas podem ser usadas para os animais e até para consumo humano, se os outros parâmetros de qualidade para além da radioactividade, estiverem também em conformidade com a Lei da água.

Os escombros da antiga mina têm concentrações muito elevadas, por vezes superiores a 1Bq/g, o que de acordo com as normas internacionais requer que seja tida em conta a sua radioactividade e considerados como resíduo radioactivo (IAEA, 1996).

A **Mina de Mortórios** fica no concelho de Marialva, a leste e próxima da estrada municipal de Carvalhal-Marialva, e em região pedregosa e com pouca aptidão agrícola. A extracção do minério de urânio foi efectuada a céu aberto e a cratera mineira tem uma dimensão considerável (Figura III.4). O seu contorno é quase oval, com cerca de 245 e 68 metros de comprimento dos eixos principais e 22 metros de profundidade máxima. Está preenchida por uma lagoa permanente, alimentada pela chuva. O pH da água é quase neutro e a lagoa tem flora e fauna aquática, incluindo uma população abundante de peixes ciprinídeos, introduzidos há vários anos, e que atraem pescadores que deles fazem frequente consumo alimentar. Do lado oeste da estrada ficam as escombrelas da extracção mineira, que até há poucos anos funcionou como pedreira de abastecimento de areão, brita e pedra para empreiteiros da região. A escombrela-pedreira está assinalada com uma placa com o letreiro «Escombros mineiros eventualmente contaminados» e actualmente não há venda dos materiais. No entanto, estes estão facilmente acessíveis.

A Ribeira de Marialva, que corre de Sudoeste para Nordeste, passa a uns escassos 30 a 50 m destas escombrelas e no passado provavelmente recebeu as descargas das águas residuais da mina, continuando no presente a receber as escorrências superficiais das escombrelas durante o período das chuvas. Ao longo da Ribeira de Marialva e em ambas as margens existem várias hortas de dimensão muito variável que são regadas com água da ribeira ou de poços situados na margem da ribeira.



Figura III.4 - Vista aérea da Zona da Mina de Murtórios. Os números indicam estações de colheita de amostras.

A análise de radionuclídeos nos sedimentos da Ribeira de Marialva indica um ligeiro aumento das concentrações de urânio e descendentes na proximidade da Mina dos Mortórios e a jusante (para Norte) da mina. Não é no entanto mais que um aumento de 10 a 20% da radioactividade. Os solos das hortas implantadas nas margens da Ribeira têm concentrações mais baixas que os sedimentos do leito da Ribeira e são valores de concentrações banais em regiões graníticas (Tabela III.2). As concentrações na fase dissolvida da água da Ribeira e dos poços das hortas, bem como na matéria em suspensão, são geralmente baixas (Tabela III.3). Outro tanto não sucede com a água da cratera mineira, cuja concentração em ^{238}U é de 19,9 Bq/L embora apresente valores muito mais baixos de ^{226}Ra e outros descendentes do urânio (Tabela III.2). Este resultado (reconfirmado com a análise de novas amostras) sugere que no terreno da cratera mineira ficou ainda urânio que, gradualmente, a água da chuva dissolveu. Não existe comunicação entre a lagoa da cratera mineira e a Ribeira de Marialva, pelo que aquela água permanece confinada à cratera.

A elevada concentração de urânio na água da cratera mineira reflecte-se na acumulação deste radioelemento bem como de ^{226}Ra , e sobretudo de ^{210}Pb e ^{210}Po nos peixes, tanto no filete como nos outros tecidos e órgãos internos, numa distribuição que resulta do metabolismo destes radionuclídeos (Carvalho e Oliveira, 2008). O consumo de peixe desta lagoa não deve pois ser permitido, embora isto não obste a uma possível prática de pesca desportiva

na lagoa com a devolução dos peixes à água. Note-se que na região há escassez de água e de lagoas e a procura desta lagoa pela população, embora não autorizada e com o acesso dificultado por uma vedação de arame, é compreensível.

A irrigação dos campos de cultivo com água da Ribeira de Marialva e água dos poços das hortas, dadas as concentrações baixas ali medidas, não conduz a acumulação de radionuclídeos nos vegetais e frutas significativamente acima da radioactividade ambiente. Na realidade as amostras de hortícolas como alface e batatas, e frutos como peras, nas hortas situadas ao longo da ribeira e mais próximas da mina dos Mortórios, não apresentam elevação significativa das concentrações quando comparadas com produtos idênticos da aldeia do Carvalho situada a montante da mina. Contudo, os vegetais cultivados a jusante da mina, isto é, perto de Marialva, apresentam as concentrações mais elevadas (Tabela III.5). A utilização de água da cratera mineira para a rega de hortas deverá ser desencorajada pois, com o decorrer dos anos essa prática poderá levar à transferência significativa de urânio para os solos agrícolas. Este aspecto seria merecedor de uma avaliação mais aprofundada para tentar reduzir o teor de urânio na água e avaliação dos usos possíveis para a água da cratera.

A **Mina do Freixinho** fica perto da povoação do Lamegal e foi também uma extracção de urânio a céu aberto. A cratera está hoje preenchida com uma lagoa, mantida pela precipitação atmosférica, e a água é regularmente usada para irrigação de hortas muito próximas (Figura III.5). Os materiais rochosos da escombreira mineira e da própria cratera têm concentrações de urânio e seus descendentes que são razoavelmente elevadas (Tabela III.1). Contudo, a água da lagoa tem pH perto da neutralidade e apresenta concentração baixa de urânio, tal como a água da Ribeira das Cabras que recebe as escorrências superficiais provenientes dos escombros mineiros.

Os produtos das hortas próximas, designadamente batatas e alfaces foram analisados e as concentrações medidas são razoavelmente semelhantes às de produtos hortícolas de zonas mais afastadas. A única excepção foi a amostra de marmelos recolhidos numa horta situada ao lado da escombreira da mina, que apresentou concentrações elevadas de ^{226}Ra .



Figura 5 - Aspecto da lagoa da Mina do Freixinho e escombreira visível no lado Sul da cratera mineira. Hortas do lado Norte da cratera, irrigadas com água da lagoa.

A **Mina Barroco D. Frango**, perto da vila do Freixo, foi uma exploração a céu aberto, estando a cratera preenchida por uma lagoa. A lagoa tem fauna piscícola, introduzida, e é usada para irrigação de horta e de pasto próximo, através de bombas submersas instaladas em permanência na lagoa. Os materiais da escombreira existente ao lado da mina, e o sedimento acumulado no fundo da lagoa, têm concentrações de urânio que excedem 1Bq/g de ^{238}U . O solo da horta mais próxima e sedimentos do leito da Ribeira das Cabras não indicaram a existência de contaminação ou de dispersão significativa de radionuclidos provenientes do minério de urânio. A análise da água da cratera mineira, da Ribeira e de produtos hortícolas da zona não indicaram também a presença de concentrações elevadas e preocupantes para a segurança da população.

A **Mina de Pêra do Moço** fica perto de Rapoula, Guarda. Resta hoje uma cratera mineira, inundada sazonalmente pela água da chuva, e que é utilizada para a rega das hortas circundantes. A análise da água da cratera e do sedimento da mesma indicam concentrações dos radionuclidos da série do urânio relativamente baixas (Tabelas III.1 e III.2).

b) Fábrica de Sais de Rádio no Barracão

A Fábrica de Sais de Rádio funcionou na aldeia de Barracão, perto da Guarda desde 1912 até meados dos anos 40. Ali processava-se minério de urânio para extrair Rádio (^{226}Ra), sendo o urânio e outros radioelementos desprezados nos resíduos da extracção química. As escombreyras, com materiais muito radioactivos, permaneceram no terreno da Fábrica até cerca de 1988, altura em que após um estudo efectuado ao local pelo Departamento de Protecção e Segurança Radiológica do LNETI (hoje ITN) a ENU procedeu à remoção da maior parte dos

escombros radioactivos. No presente, a área da Fábrica continua delimitada com uma vedação e está assinalada como área contaminada. A análise de terras abandonadas no interior dos tanques de pedra no pátio da Fábrica (possivelmente minério abandonado) indicou que são muito radioactivas, com 6,9 kBq/kg de ^{238}U , 26,8 kBq/kg de ^{230}Th , e 4.6 kBq/kg de ^{226}Ra (Tabela III.1). O desequilíbrio entre estes radionuclidos da série do urânio sugere que o material poderá ter sido originalmente um minério de urânio do qual chegou a ser extraído algum urânio e rádio para posteriormente servir para a produção de ^{226}Ra .

A análise do solo de hortas próximas da Fábrica, do lado Oeste, indicou mistura com materiais radioactivos provenientes da actividade da Fábrica. O solo de outras hortas mais distantes e os sedimentos da Ribeira de Noeime, que terá recebido as descargas de efluentes líquidos da Fábrica, não apresentam contaminação assinalável. O solo da horta mais próxima da Fábrica tem 2,8 kBq/kg de ^{238}U , o que é cerca de metade da concentração de ^{238}U medida nos escombros existentes na Fábrica, e representa 5 vezes a concentração de ^{238}U no solo de hortas mais afastadas. Produtos hortícolas daquele solo apresentam concentrações de ^{226}Ra elevadas, sobretudo as alfaces, cenouras e milho. As concentrações de ^{226}Ra mais elevadas determinadas em produtos desta zona foram 15,6 kBq/kg em amoras silvestres que cresceram espontaneamente sobre os escombros de minério dentro do perímetro da Fábrica.

A povoação de Barracão tem abastecimento de água canalizada. A análise desta água (Tabela III.2) mostrou que as concentrações de radionuclidos são baixas e cumprem as normas de qualidade radiológica da água para consumo humano. Um poço de rega próximo da Fábrica apresentou concentrações relativamente elevadas de ^{226}Ra . A existência de poços de rega em várias hortas na zona e a solubilidade dos sais de rádio aconselham a uma monitorização futura e sistemática dos poços para averiguar a contaminação das águas subterrâneas na zona envolvente da antiga Fábrica de Sais de Rádio.

c) Zona das minas da Urgeiriça, Quinta do Bispo e Cunha Baixa

A escombreira da Urgeiriça foi recoberta com solo e outros materiais para selar os resíduos radioactivos da zona da Urgeiriça num aterro que permanece como área de acesso restrito. Não houve ainda acções de remediação ambiental nas antigas minas de Quinta do Bispo e da Cunha Baixa, e estas áreas permanecem vedadas e assinaladas.

Na zona entre Urgeiriça e Cunha Baixa houve duas outras explorações urânio, as minas de Valinhos e de Espinho, de pequena dimensão. Estas duas zonas foram objecto de intervenção recente da EDM para a recuperação ambiental. Em ambas foram mantidas as lagoas que preencheram as antigas crateras mineiras. As áreas foram limpas, transformadas em sítios de lazer (parque e plano de água) e equipadas com algumas infra estruturas para usufruto da população.

Os materiais das escombrelras da Quinta do Bispo têm concentrações muito elevadas de ^{238}U e radionuclidos descendentes. O mesmo sucede na área da Mina da Cunha Baixa com sinais de mistura de alguns escombros radioactivos com solo das hortas mais próximas (Tabela III.1).

As águas dos poços situados perto da Mina da Cunha Baixa apresentam concentrações de radionuclidos elevadas e pH baixo (Tabela III.2 e Tabela III.3). Estas concentrações elevadas devem-se à infiltração das águas ácidas da mina da Cunha Baixa no aquífero local. Os produtos hortícolas das hortas situadas ao longo da linha de água apresentam concentrações significativamente elevadas dos radionuclidos da série do urânio. Os vegetais com concentrações mais altas são as alfaces, particularmente em ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po . Estes parecem ser os radionuclidos, com destaque para o ^{226}Ra , com maior transferência do solo e água de rega para os vegetais e destes para os consumidores (Carvalho et al., 2009)

A mina da Urgeiriça está situada numa zona com alguma produção agrícola e pecuária, em particular nas margens da Ribeira da Pantanha. Verificou-se a existência de concentrações de urânio e rádio ligeiramente acima do fundo radioactivo natural no pasto criado nas margens desta Ribeira devido à proximidade das escombrelras da Urgeiriça. A análise de pasto, leite e queijo de ovelha indicou, no entanto, uma fraca transferência destes radionuclidos do pasto para os produtos da pecuária (Tabela III.4). Não há pois, através do consumo destes produtos, um aumento da dose de radiação para a população.

As poeiras em suspensão no ar analisadas para os principais radionuclidos emissores alfa, indicam valores razoavelmente baixos, com excepção apenas do ^{210}Pb (Tabela III.5). Não sendo acompanhado por outros radionuclidos da família do urânio, este ^{210}Pb pode não ser proveniente dos escombros mineiros. As concentrações de radão são em média mais baixas no ar exterior devido à cobertura da Barragem Velha (Tabela III.6). As concentrações de radão no interior das casas não parecem ter sido significativamente reduzidas o que decorre de o radão na atmosfera interior ser sobretudo devido à exalação de radão do solo e infiltração nas casas. A análise de radão no ar de superfície e dos radionuclidos associados às poeiras em suspensão indicam que nas zonas de habitação mais próximas da Barragem Velha a qualidade do ar melhorou no plano radiológico em comparação com anos anteriores (Relatório da Vigilância Radiológica das Minas, 2007).

d) O sistema hidrográfico Ribeira da Pantanha-Ribeira do Castelo-Rio Mondego

A Ribeira da Pantanha e a Ribeira do Castelo são dois pequenos afluentes da margem direita do Rio Mondego (Figura III.6). A Ribeira da Pantanha passa na Urgeiriça e durante anos recebeu os efluentes líquidos não tratados das instalações de processamento Químico de Minério de Urânio da Urgeiriça. Na actualidade, a Ribeira da Pantanha recebe as águas

residuais das escombrelras e da mina da Urgeiriça após tratamento para neutralização do ácido e remoção dos radionuclidos em solução e suspensão, e, após um curto percurso, conflui no Mondego na localidade de Caldas da Felgueira. A Ribeira do Castelo passa em Mangualde – Cubos, recebe as águas das escorrências das minas e escombrelras da Quinta do Bispo e da Cunha Baixa, e desagua no Rio Mondego em Póvoa de Luzianes. Na região do Vale do Mondego ficam ainda as antigas minas de Mondego Sul e Vale de Abrutiga, na margem esquerda do Rio Mondego, mas que não têm descargas de águas residuais para ao Rio. Vários quilómetros a jusante destas Ribeiras e das antigas minas de urânio, o Rio Mondego está represado pela Barragem da Agueira cuja água é a principal fonte de abastecimento de água de consumo para a região de Coimbra e centro do país. O controlo da qualidade radiológica desta bacia é pois de grande importância.

As análises de sedimentos do leito das ribeiras e do Rio Mondego mostram que houve uma elevação das concentrações de radionuclidos a jusante das descargas das minas, sobretudo na Ribeira da Pantanha. Esta elevação na Ribeira da Pantanha foi devida às concentrações elevadas nas descargas de efluentes da Oficina de Tratamento de Minério da Urgeiriça, e são hoje um remanescente ambiental da passada actividade industrial de produção de urânio. As concentrações dos radionuclidos da família do urânio nos sedimentos, água e matéria em suspensão são também acima do fundo radioactivo ambiental na Ribeira da Pantanha e na Ribeira do Castelo. Contudo, essas concentrações decrescem rapidamente para jusante e, já no Rio Mondego, descem para os níveis ambientais normais na região.

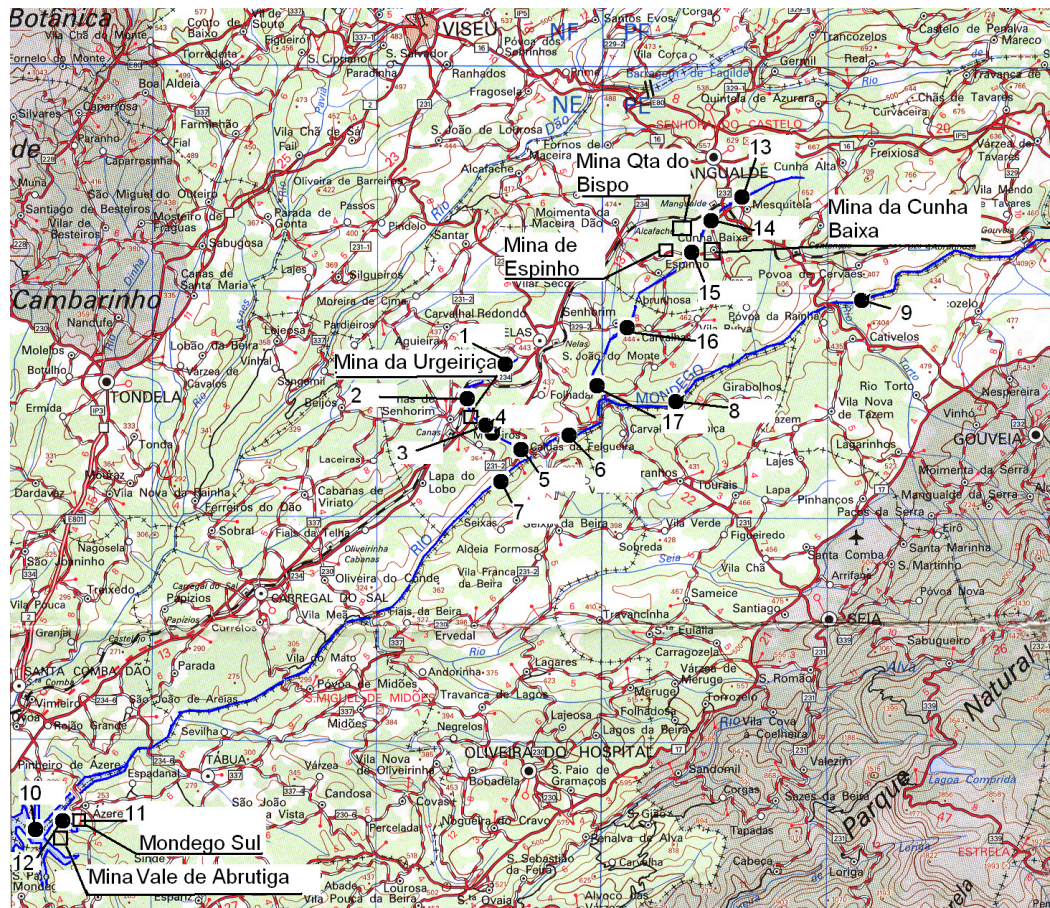


Figura 6 - Bacia hidrográfica do Rio Mondego e antigas minas de urânio. Círculos e números indicam as estações de amostragem na Ribeira da Pantanha, Ribeira do Castelo e Rio Mondego

Os resultados de 2008 são comparáveis aos de anos anteriores apesar das grandes obras de transporte de resíduos para concentração e selagem dos resíduos desta zona na chamada Barragem Velha (Relatório da Vigilância Radiológica das Minas, 2007). Não se detectou contaminação radioactiva significativa na Barragem da Aguieira.

As análises de produtos hortícolas das zonas das margens destas Ribeiras e do Mondego, afastados das zonas mineiras da Cunha Baixa e Quinta do Bispo, apresentam concentrações de radionuclídeos semelhantes ao fundo radioactivo natural.

III.4 CONCLUSÕES

Nas zonas das antigas minas de urânio na Beira Alta foram medidas concentrações de radionuclídeos elevadas em escombros do antigo tratamento de minério, como é o caso da Mina da Senhora das Fontes (Pinhel). Embora os escombros não tenham sido dispersados e causado uma elevação de radioactividade na zona, incluindo o curso de água Ribeira de Sta Eufémia que recebe as escorrências superficiais da zona mineira, esses escombros deverão merecer toda a atenção para evitar a dispersão por processos naturais (vento, chuva, etc.) ou o uso pelas populações enquanto se aguarda a sua deposição final e selagem.

As escombeiras e lagoas existentes nas crateras das minas de Freixinho e Barroco D. Frango (Guarda), embora contenham radioactividade mais elevada que as zonas envolventes, não parecem causar especial preocupação do ponto de vista da exposição radiológica.

A lagoa que preenche a cratera da mina de Mortórios (Marialva) apresenta elevadas concentrações de urânio dissolvido. Este urânio, e outros radionuclídeos como o ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po , são significativamente concentrados pela fauna piscícola ali introduzida. O acesso ao sítio deve permanecer vedado e o consumo do peixe deve ser desencorajado. Entretanto, e porque apesar da vedação é prática comum na zona pescar e consumir aquele peixe, deverá ser completada a avaliação do risco radiológico para eventuais consumidores. O uso da água desta cratera mineira para rega de hortas ou pasto deve ser desencorajado também.

O sítio da antiga Fábrica de Sais de Rádio, no Barracão (Guarda), contem ainda escombros ou resíduos da actividade de produção de rádio com elevada radioactividade específica e que por isso devem futuramente ser tratados como resíduos. Há hortas próximas cujo solo poderá ter sido contaminado no passado por materiais radioactivos provenientes da Fábrica, pelo que a produção hortícola deverá ser monitorizada. A eventual infiltração de rádio (^{226}Ra) no lençol freático, que a existir poderá remontar à época de laboração da Fábrica, deverá ser investigada através da amostragem de poços na zona envolvente. Note-se, no entanto, que a generalidade dos poços é usada apenas para rega, pois a povoação é hoje abastecida com água de rede de distribuição de qualidade controlada.

As minas da Cunha Baixa e Quinta do Bispo (Mangualde) têm escombeiras e libertam águas ácidas com elevadas concentrações de radionuclídeos que continuam a exigir atenção e tratamento para evitar a contaminação radioactiva do ambiente. As hortas situadas mais próximas das linhas de água provenientes destas minas, devido à existência de água de rega com contaminação ácida e radioactiva com origem nas minas, deverão continuar a merecer aturada monitorização, tal como a zona da Urgeiriça que foi já objecto de um projecto de remediação ambiental e selagem dos resíduos sólidos. Nas hortas e pastos situados nas

zonas mais afastadas destas minas não há indícios de contaminação radioactiva com significado.

A bacia hidrográfica do Rio Mondego, vital para o abastecimento de água da região centro, apesar da existência de várias antigas explorações de urânio, não recebeu durante o ano de 2008 descargas significativas de contaminantes radioactivos provenientes das antigas minas monitorizadas e, do ponto de vista da radioactividade, a água da albufeira é inteiramente potável.

Tabela III.1 – Radioactividade em escombros das explorações mineiras, solos de hortas e sedimentos do leito de ribeiras (Bq kg⁻¹ peso seco).

Local	Amostra	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb= ²¹⁰ Po	²³² Th
Zona da Mina A do Cavalo									
Mina A do Cavalo	Solo	#2	3788±106	179±7	4431±124	2457±153	1840±168	1564±38	152±10
Rib. ^a do Aldeão	Sed.	#3	915±26	44±3	966±27	367±17	491±38	621±16	129±6
Mina A do Cavalo	Esc.	#4a	6150±278	284±18	6180±279	6087±472	2414±229	3267±165	170±14
Zona da Mina dos Murtórios									
Rib. ^a de Marialva, Carvalhal	Sed.	#7	787±25	37±3	832±26	358±20	679±68	571±15	128±8
Horta do Carvalhal	Solo	#7	468±11	20±1	478±11	434±25	523±42	417±11	142±8
Horta de Marialva	Solo	#8	406±10	19±1	408±10	358±17	374±24	352±9	157±8
Rib. ^a de Marialva, Marialva	Sed.	#8	881±26	44±3	896±26	671±38	659±44	710±24	132±8
Rib. ^a de Marialva, Mina	Sed.	#9	1153±26	53±2	1184±26	764±40	680±43	785±21	168±9
Horta de Marialva	Solo	#9	402±10	19±1	420±10	344±18	428±31	388±10	178±10
Mina dos Murtórios	Esc.	#10	3858±103	181±7	3820±102	4972±320	3395±264	4068±99	204±14
Zona da Mina Sra. das Fontes									
Mina Sra. das Fontes	Solo	#4b	1282±36	58±3	1300±37	664±35	445±30	312±11	61±4
Mina Sra. das Fontes	Esc.	#5	1511±43	68±3	1559±44	2528±105	2053±148	2858±150	68±3
Mina Sra. das Fontes	Esc.	#6	2597±68	119±5	2897±76	14645±659	9312±646	24666±1201	64±4
Horta Sta. Eufémia	Solo	#12	229±8	8±1	240±9	311±15	299±39	174±8	69±4
Horta Sta. Eufémia	Solo	#13	174±5	8±1	181±5	298±21	319±27	168±7	78±6
Local	Amostra	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb= ²¹⁰ Po	²³² Th

Rib. ^a de Sta. Eufémia	Sed.	#15	132±5	6±1	129±5	146±11	298±29	104±5	56±5
Rib. ^a de Sta. Eufémia	Sed.	#16	2759±76	125±5	2614±72	651±36	137±9	402±15	37±3
Horta Sta. Eufémia	Solo	#16	2561±66	127±5	2432±63	1003±61	450±41	497±17	48±4
Zona da Mina do Freixinho									
Mina do Freixinho, cratera	Sed.	#19	1036±24	45±2	1035±24	1182±62	829±60	1047±35	256±14
Mina do Freixinho	Solo	#20	387±9	17±1	397±9	442±24	461±35	453±12	209±12
Mina do Freixinho	Esc.	#21	2980±78	130±5	2916±76	2546±162	2186±160	1752±88	148±11
Rib. ^a da Pêga, montante	Sed.	#22	379±13	14±2	373±13	546±36	746±57	408±15	260±18
Mina do Freixinho	Solo	#23	475±15	18±2	446±14	470±32	620±52	382±15	340±24
Rib. ^a da Pêga, jusante	Sed.	#24	453±15	22±2	470±15	503±26	573±45	413±15	125±7
Zona da Mina Barroco D. Frango									
Mina Barroco D. Frango, cratera	Sed.	#25	2951±82	150±7	2920±81	2373±159	2688±230	2066±63	92±7
Mina Barroco D. Frango	Solo	#26	478±14	21±1	500±14	596±33	682±48	603±20	136±8
Mina Barroco D. Frango	Esc.	#27	2655±71	131±5	2588±70	2666±190	2412±214	2867±88	98±8
Rib. ^a das Cabras, montante	Sed.	#28	478±14	21±2	486±15	320±21	543±50	506±17	123±9
Rib. ^a das Cabras, jusante	Sed.	#29	446±12	20±1	447±12	306±25	688±74	623±23	75±7
Zona da Fábrica de Sais de Rádio									
Horta Barracão	Solo	#10	2832±76	129±5	2930±78	1034±64	1478±91	1082±41	100±7
Rib. ^a Noeime, montante	Sed.	#12	522±16	23±2	537±16	439±28	969±104	645±22	99±7
Rib. ^a Noeime, jusante	Sed.	#13	778±22	33±2	779±22	875±48	1146±89	897±31	165±10
Local	Amostra	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb= ²¹⁰ Po	²³² Th

Fábrica de Rádio	Esc.	#16	5891±256	267±18	6022±262	26847±1537	4624±316	19109±895	89±6
Horta Barracão	Solo	#17	526±14	24±2	543±14	550±29	738±54	489±16	163±9
Zona da Mina Pera do Moço									
Mina Pera do Moço	Solo	#14	8196±393	384±25	8242±395	7214±334	6131±376	8383±250	87±5
Zona das Minas Urgeiriça, Qta. Do Bispo, Cunha Baixa									
Mina da Quinta do Bispo	Esc.	#1	2254±61	101±5	2740±74	8706±487	13024±951	8307±423	102±7
Mina da Quinta do Bispo	Esc.	#2	13873±585	637±35	14280±602	71332±4419	134635±9192	39886±1950	157±11
Horta Adelino	Solo	#3	697±20	30±2	673±19	818±50	925±65	620±21	171±11
Horta C. Baixa	Solo	#4	1400±38	68±3	1393±38	960±55	2028±159	848±26	190±12
Horta C. Baixa	Solo	#5	5438±150	239±9	5222±144	2716±175	2882±242	2337±82	182±13
Horta C. Baixa	Solo	#6	383±12	16±1	373±11	498±27	732±59	483±19	284±16
Horta C. Baixa	Solo	#8	444±13	20±2	424±13	441±24	517±43	534±19	166±9
Cubos, horta	Solo	#18	350±9	15±1	349±9	386±17	565±33	451±18	148±7
Horta Urgeiriça	Solo	#19	558±14	27±2	576±15	453±22	367±27	306±11	214±11
Horta Urgeiriça	Solo	#21	360±10	16±1	367±10	365±22	342±24	345±12	296±18
Valinhos, nova cobertura da lagoa	Solo		645±21	32±2	660±22	434±51	654±91	563±19	204±25
Horta de Caldas da Felgueira	Solo	#23	1218±35	61±3	1194±34	452±25	299±21	313±11	152±9
Horta de Caldas da Felgueira	Solo	#24	3180±94	150±7	3214±95	836±54	185±27	293±10	210±14
Aldeia de Agueira, horta de ref. ^a	Solo	#22	211±7	10±1	201±7	128±6	140±8	227±8	117±6
Local	Amostra	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb= ²¹⁰ Po	²³² Th

Bacia hidrográfica do Rio Mondego

Rib. ^a da Pantanha	Sed.	#1	2107±47	99±3	2136±48	923±48	403±27	312±13	171±9
Escorrências, BV, Urgeiriça	Sed.	#2	1109±26	49±2	1200±27	2752±154	2211±140	3366±107	108±7
Rib. ^a da Pantanha	Sed.	#3	1951±44	91±3	1923±43	484±33	593±48	379±13	276±19
Rib. ^a da Pantanha	Sed.	#4	4106±102	178±6	4193±104	2892±189	1141±100	1165±37	132±10
Rib. ^a da Pantanha, C. Felgueira	Sed.	#5	5422±150	244±9	5584±154	2312±127	1733±77	3736±117	169±10
R. Mondego, montante, C. Felgueira	Sed.	#6	508±13	25±1	511±13	470±28	534±44	493±18	593±35
R. Mondego, jusante, C. Felgueira	Sed.	#7	827±20	39±2	842±20	1302±88	797±70	665±23	440±30
R. Mondego, C. Louça	Sed.	#8	453±12	19±1	463±12	411±19	674±50	443±11	407±19
R. Mondego, P. Cervães	Sed.	#9	414±13	20±2	431±13	298±19	366±35	495±12	162±11
Barragem Aguieira	Sed.	#10	95±5	3,2±0,7	98±5	96±6	85±8	96±3	50±3
Mina Mondego Sul, cratera	Sed.	#11	6467±178	296±11	6117±169	1911±107	2327±109	3022±152	37±3
Barragem Aguieira, Ázere	Sed.	#12	1865±55	78±4	1950±57	2025±83	1741±76	1839±96	56±3
Rib. ^a do Castelo, Mesquitela	Sed.	#13	714±21	31±2	699±21	518±22	740±52	658±16	98±5
Rib. ^a do Castelo	Sed.	#14	339±11	13±1	310±10	258±14	388±31	312±8	164±9
Rib. ^a do Castelo, Cunha Baixa	Sed.	#15	1399±38	66±3	1370±37	648±27	907±55	685±17	195±8
Rib. ^a do Castelo, Carvalhas	Sed.	#16	332±11	18±2	329±11	484±21	378±27	394±10	136±6
Rib. ^a do Castelo, P. Luizianes	Sed.	#17	908±28	44±3	910±28	529±33	1242±101	543±20	293±19

Solo- solo de horta; Sed. – sedimento do leito da Ribeira; Esc. – escombros da mina.

Tabela III.2 – Concentração de radionuclídeos dissolvidos na água (mBq L⁻¹).

Designação	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Zona da Mina A do Cavalo									
Mina A do Cavalo, cratera	#1	40,3±1,4	1,9±0,2	42,9±1,5	1,6±0,2	11,8±2,0	4,4±0,2	5,4±0,2	<0,2
Mina A do Cavalo, poço campo	#2	201±6	10±0,5	236±7	1,1±0,1	26,3±1,3	74,6±3,0	42,5±1,8	0,13±0,04
Rib.ª Aldeão, jusante	#3	24,9±1,0	0,86±0,15	24,7±1,0	4,0±0,3	34,0±2,8	6,2±0,3	9,1±0,4	0,23±0,07
Zona da Mina Murtórios									
Rib.ª de Marialva, montante	#7	30,4±1,2	1,5±0,2	30,1±1,2	5,1±0,4	11,0±1,4	6,4±0,3	5,6±0,3	0,17±0,06
Rib.ª de Marialva, jusante	#8	96,2±2,7	4,6±0,3	97,0±2,7	1,7±0,2	8,8±2,4	2,5±0,1	8,0±0,2	0,05±0,05
Rib.ª de Marialva, junto à mina	#9	354±9	16,7±0,6	353±9	2,8±0,2	13,7±1,7	4,5±0,2	9,3±0,2	0,34±0,08
Mina de Murtórios, cratera	#10	19890±520	853±30	19288±504	2,8±0,3	34,8±3,5	2,1±0,1	5,8±0,2	0,13±0,05
Mina de Murtórios, cratera (Dez 2008)	#18	17567±1120	870±83	17592±1122	2,8±0,3	196±10	5,7±0,2	4,2±0,2	0,13±0,05
Zona da Mina Sra. das Fontes									
Sta. Eufémia, poço horta	#12	60,0±1,4	3,0±0,1	58,9±1,3	0,67±0,09	30,9±3,0	27,1±1,5	0,63±0,02	0,07±0,04
Sta. Eufémia, poço horta	#13	34,5±2,6	2,6±0,6	29,7±2,4	1,4±0,2	16,8±2,2	29,2±1,8	16,0±0,7	0,02±0,02
Sta. Eufémia, furo horta	#14	27,0±0,9	1,2±0,1	31,8±1,0	0,98±0,09	45,1±3,1	16,4±0,7	4,5±0,2	0,11±0,03
Rib.ª de Sta. Eufémia	#16	317±8	15,5±0,6	301±8	2,6±0,2	24,8±1,0	13,8±0,6	10,2±0,4	0,15±0,04
Fonte do Concelho, nasc.	#17	10,7±0,8	0,64±0,18	12,2±0,8	0,88±0,09	6,3±0,5	41,3±1,3	7,1±0,3	0,02±0,01
Sta. Eufémia, furo	#18	12,8±1,4	0,77±0,38	18,1±1,8	0,63±0,1	25,1±4,9	8,0±0,3	7,0±0,3	0,11±0,05
Zona da Mina do Freixinho									
Mina do Freixinho, cratera	#19	30,0±1,8	2,6±0,4	27,1±1,7	1,2±0,2	10,5±2,5	<0,06	2,8±0,1	<0,2

Designação	Id.	^{238}U	^{235}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th
Rib. ^a da Pêga, montante	#22	12,1±0,6	0,28±0,09	13,3±0,7	1,5±0,2	7,0±0,7	<0,06	6,7±0,3	0,12±0,07
Lamegal, poço horta	#23	18,8±0,7	1,0±0,1	20,5±0,8	0,74±0,11	8,9±0,5	3,9±0,2	11,4±0,4	0,11±0,04
Rib. ^a da Pêga, jusante	#24	10,6±0,5	1,0±0,1	10,2±0,5	4,3±0,6	4,3±0,4	2,2±0,2	7,4±1,0	0,79±0,26
Zona da Mina Barroco D. Frango									
Mina Barroco Frango, cratera	#25	15,9±0,6	0,65±1,0	15,8±0,6	7,1±0,6	2,4±0,5	2,3±0,2	3,2±0,2	1,1±0,2
Rib. ^a das Cabras, montante	#28	8,9±0,4	0,31±0,07	8,2±0,4	<0,5	2,8±0,3	1,5±0,1	5,0±0,2	<0,6
Rib. ^a das Cabras, jusante	#29	11,6±0,5	0,56±0,09	11,6±0,5	1,2±0,2	4,0±0,3	4,0±0,3	5,6±0,2	0,17±0,08
Zona da Fábrica de Sais de Rádio									
Barracão, poço horta	#10	549±14	26,6±0,9	579±14	0,13±0,03	59,7±4,3	105±4	37,8±0,9	0,04±0,02
Barracão, chafariz	#11	21,1±0,6	0,93±0,08	19,4±0,5	0,10±0,02	40,7±1,8	142±5	<0,08±0,3	0,09±0,04
Rib. ^a de Noeime, montante	#12	120±3	5,5±0,2	151±3	1,0±0	33,3±1,3	20,8±1,0	98,7±2,6	0,07±0,03
Rib. ^a de Noeime, jusante	#13	36,1±0,9	1,7±0,1	37,6±0,9	0,6±0,1	14,8±1,2	42,1±1,6	9,8±0,3	0,03±0,02
Barracão, furo	#15	437±12	19,7±0,8	663±17	0,44±0,08	16,2±0,8	81,8±3,1	5,0±0,2	0,07±0,03
Zona da Mina Pera do Moço									
Mina Pera do Moço, cratera	#14	251±7	11,4±0,6	251±7	1,8±0,2	27,8±2,0	5,3±0,3	14,1±0,6	0,02±0,01
Zona das Minas Urgeiriça, Qta do Bispo e Cunha Baixa									
Mina Cunha Baixa, cratera	#1	46743±2466	2310±153	44904±2370	513±30	1373±66	371±12	3,1±0,1	2,0±0,2
Poço horta Adelino	#3	1464±41	65,9±2,2	1428±40	2,8±0,2	329±24	93,0±3,4	2,9±0,1	0,16±0,04
Poço horta Figueiredo	#4	4152±122	204±12	4016±118	1,2±0,1	732±53	257±9	5,1±0,2	0,24±0,05
Poço horta M.Gomes	#5	2302±70	86,4±7,0	2190±68	2,2±0,5	566±55	110±4	1,5±0,1	0,10±0,04

Designação	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Poço, Pomar do Pisão	#6	169±8	12,2±1,2	174±9		34,7±4,7	10,6±0,6	12,5±0,5	
Mina C. Baixa, efluente tratado	#7	447±13	22,0±0,9	432±12	0,37±0,06	44,8±6,8	3,2±0,2	1,8±0,1	0,05±0,02
Qta. Oliveirinha, furo	#8	999±29	46,9±1,7	2064±60	1,5±0,2	819±42	412±14	2782±150	0,10±0,06
Qta. Oliveirinha, poço	#9	199±12	9,1±0,1	218±13		81,7±6,0	760±24	56,9±1,8	
Cubos - Mangualde, poço da horta	#18	71,9±2,0	3,4±0,2	80,02,2	2,4±0,2	88,9±3,2	89,7±3,1	34,6±1,3	<0,2
Urgeiriça, Poço horta Batoquinho	#19	54,3±1,6	2,7±0,2	61,8±1,8	0,32±0,07	34,5±1,8	13,1±0,6	8,9±0,4	<0,2
Urgeiriça, poço horta Bento	#21	150±4	7,1±0,4	166±5	0,50±0,08	159±7	102±4	8,7±1,3	0,02±0,01
A. de Aguieira, poço horta de ref. ^a	#22	76,9±2,4	3,1±0,2	75,9±2,4	0,36±0,05	133±6	23,9±1,1	8,9±0,04	0,09±0,03
Mina de Espinho, cratera (Dez 2008)	#19	140±3	6,9±0,2	146±3		81,4±6,2	3,4±0,2	10,0±0,3	
<i>Bacia hidrográfica do Rio Mondego</i>									
Ribeira da Pantanha, Nelas	#1	81,7±2,9	3,4±0,3	82,2±3,0	2,3±0,2	33,3±2,6	11,8±0,7	3,6±0,2	0,15±0,05
Escorrências, B. Velha	#2	48867±2642	2387±157	47243±2556	565±41	364±49	44,1±2,8	87,7±3,6	13,1±0,3
Rib. ^a da Pantanha, ponte	#3	1885±100	87,2±5,65	1914±101	2,3±0,2	56,5±5,7	12,6±0,5	5,0±0,2	0,11±0,04
Rib. ^a da Pantanha, ovil	#4	1992±85	91,0±4,6	2009±86	8,7±0,5	59,3±3,7	7,7±0,3	4,3±0,2	0,34±0,07
Rib. ^a da Pantanha, C. Felgueira	#5	298±9	13,8±0,7	310±9		69,4±7,7	12,9±0,7	8,6±0,04	
R. Mondego, montante C. Felgueira	#6	28,8±0,8	1,4±0,1	29,9±0,8	2,8±0,2	1,4±0,2	3,1±0,1	5,3±0,2	0,21±0,04
R. Mondego, jusante C. Felgueira	#7	20,0±0,6	1,0±0,1	20,2±0,6	3,9±0,3	29,2±5,5	6,3±0,2	5,0±0,2	0,29±0,06
R. Mondego, Carvalhal	#8	32,6±0,9	1,5±0,1	33,6±0,9	2,9±0,2	18,0±3,0	1,22±0,05	7,0±0,2	0,27±0,06
R. Mondego, P. Cervães	#9	22,0±0,6	0,96±0,07	22,4±0,6	4,7±0,4	44,8±5,4	3,8±0,2	5,9±0,2	0,20±0,07
Barragem Aguieira, “Lagoa Azul”	#10	9,2±0,3	0,51±0,06	8,8±0,3	1,5±0,1	17,7±1,9	4,3±0,3	5,3±0,2	0,08±0,04

Designação	Id.	^{238}U	^{235}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th
Mina Mondego Sul, cratera	#11	1322±54	58,3±3,0	1218±50	1,8±0,1	408±42	151±5	4,0±0,1	0,03±0,02
Barragem Aguieira, Ázere	#12	71,2±1,6	3,3±0,1	66,9±1,5	1,2±0,1	66,8±4,5	182±6	6,5±0,3	0,03±0,02
Rib. ^a do Castelo, Mesquitela	#13	16,1±0,4	0,64±0,05	16,8±0,4	3,0±0,2	23,4±1,3	11,0±0,5	25,0±0,9	0,07±0,03
Rib. ^a do Castelo	#14	29,3±0,7	1,42±0,08	29,6±0,7	5,6±0,6	32,2±3,6	9,6±0,4	4,6±0,2	0,06±0,05
Rib. ^a do Castelo, Cunha Baixa	#15	19,0±0,5	0,84±0,05	19,1±0,5	4,4±0,4	46,3±4,6	8,7±0,4	7,1±0,2	0,31±0,09
Rib. ^a do Castelo, Carvalhas	#16	28,9±0,8	1,4±0,1	28,2±0,7	6,1±0,4	18,6±1,8	3,9±0,2	3,0±0,1	0,23±0,05
Rib. ^a do Castelo, P. Luzianes	#17	18,3±0,6	0,91±0,08	18,6±0,6	4,7±0,3	21,7±2,2	2,3±0,1	4,0±0,1	0,24±0,05
Águas de consumo (rede pública)									
Canas de Senhorim	#20	5,3±0,2	0,25±0,05	6,6±0,3	2,9±0,2	6,6±0,7	1,62±0,09	1,16±0,05	0,13±0,3
Cunha Baixa	#21	4,5±0,2	0,16±0,04	5,4±0,2	1,9±0,2	16,9±1,5	31,7±1,5	4,0±0,2	0,03±0,01

Tabela III.3 – Actividade específica de radionuclídeos nas partículas em suspensão (Bq kg⁻¹ peso seco).

Designação	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Zona da Mina A do Cavalo									
Mina A do Cavalo, cratera	#1	5365±185	243±24	5396±186	1599±141	4000±682	5297±41	5647±202	54,7±18,4
Mina A do Cavalo, poço campo	#2	10697±316	487±34	11779±344	2022±109	3668±889	84755±2352	38364±1236	60,1±10,6
Rib. ^a Aldeão, jusante	#3	7948±339	400±52	7909±339	2172±104	5759±632	7316±278	5784±226	116±13
Zona da Mina Murtórios									
Rib. ^a de Marialva, montante	#7	6928±169	327±19	6893±168	1169±68	3141±460	2598±116	2658±106	104±13
Rib. ^a de Marialva, jusante	#8	2680±72	120±9	2664±72	956±52	1571±226	1084±44	2578±65	54,3±7,0
Rib. ^a de Marialva, junto à mina	#9	4984±152	241±17	4897±149	1179±72	1398±126	662±26	1706±44	53,5±7,1
Mina de Murtórios, cratera	#10	7076±179	329±179	6953±176	2459±127	4423±293		6506±159	124±16
Mina de Murtórios, cratera (Dez 2008)	#18	7046±200	297±25	6867±195	2601±110	11158±491	12884±409	8793±296	66,0±6,9
Zona da Mina Sra. das Fontes									
Sta. Eufémia, poço horta	#12	2997±107	151±17	2890±104	630±41	866±89	1523±56	1477±41	44,3±8,5
Sta. Eufémia, poço horta	#13	1668±73	92±14	1669±73	1122±79	894±97	6945±221	1968±49	54,7±13,1
Sta. Eufémia, poço horta	#14	2914±109	115±17	2960±110	816±97	2210±258	8430±347	6016±148	116±31
Rib. ^a de Sta. Eufémia	#16	6408±228	278±35	6185±222	1938±136	2498±205	3169±138	3157±138	180±27
Fonte do Concelho, nasc.	#17	1735±170	194±51	1866±178	640±53	1154±128	8833±319	4093±150	101±19
Sta. Eufémia, furo	#18	3953±101	179±14	4134±105	1698±89	1910±107	4733±186	3389±132	85,8±13,5
Zona da Mina do Freixinho									
Mina do Freixinho, cratera	#19	3312±75	154±8	3354±76	1474±71	1424±93	2080±81	2530±89	82,7±8,7

Designação	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Rib. ^a da Pêga, montante	#22	1694±50	91,9±8,8	1750±51	449±27	668±33	794±47	1635±66	26,2±6,2
Lamegal, poço horta	#23	2208±53	111±6	2334±55	846±39	992±40	7308±262	5098±166	80,5±6,4
Rib. ^a da Pêga, jusante	#24	1430±44	67,6±7,4	1488±46	539±27	673±58	720±38	1316±48	52,3±6,1
Zona da Mina Barroco D. Frango									
Mina Barroco Frango, cratera	#25	3072±86	139±11	2891±82	545±27	694±37	2170±104	1996±77	30,9±4,4
Rib. ^a das Cabras, montante	#28	935±27	60±5	931±27	299±16	605±34	546±35	1532±57	31,6±4,6
Rib. ^a das Cabras, jusante	#29	1717±48	80±6	1748±49	340±16	460±23	506±28	1111±42	28,2±2,9
Zona da Fábrica de Sais de Rádio									
Barracão, poço horta	#10	46023±1216	2206±106	47853±1261	14669±783	6252±614	154830±8364	24401±1269	342±38
Barracão, chafariz	#11	2933±86	143±10	3223±94	1859±89	763±43	8357±285	4962±257	55,1±5,6
Rib. ^a de Noeime, montante	#12	7859±253	339±32	7364±240	7844±402	3376±280	18182±671	5054±129	217±8
Rib. ^a de Noeime, jusante	#13	1299±41	63,6±5,8	1286±41	1882±104	2925±227	3297±125	2909±70	45,1±5,0
Barracão, furo	#15	4202±120	196±17	4572±128	11756±22	7620±827	33715±1231	10953±278	291±22
Zona da Mina da Pera do Moço									
Mina Pera do Moço, cratera	#14	2349±56	94,6±6,0	2475±59	4260±165	2419±133	4461±177	2264±59	124±8
Zona das Minas Qta. Bispo e Cunha Baixa									
Mina Cunha Baixa, cratera	#1	4957±110	236±10	4890±108	3324±181	3612±159	3425±141	8770±288	30,3±6,3
Poço horta Adelino	#3	1480±32	70,4±2,8	1449±32	92,7±7,5	196±20	330±16	275±12	5,1±1,9
Poço horta Figueiredo	#4	5927±137	290±15	5788±134	387±35	623±51	1594±85	2340±95	59,8±13,9
Poço horta M.Gomes	#5	46069±1308	2100±102	44225±1259	1307±125	4345±206	2810±129	3123±118	71±26

Designação	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Poço, Pomar do Pisão	#6	1005±28	47,3±3,4	986±27	146±8	1351±92	639±30	544±20	15,6±1,9
Mina C. Baixa, efluente tratado	#7	827±26	32,5±3,2	802±25	80,9±4,3	536±31	690±30	333±14	11,4±1,2
Qta. Oliveirinha, furo	#8	81592±2244	3857±183	151808±4060	3213±140	35632±1758	901348±45440	489690±22360	17,6±4,3
Qta. Oliveirinha, poço	#9	13079±346	576±38	14252±373	1629±105	4312±248	543349±26137	79137±4104	47,8±15,6
Cubos - Mangualde, poço horta	#18	3513±105	169±18	3557±106	12126±432	17943±1567	19262±748	8551±223	350±23
Urgeiriça, poço horta Batoquinho	#19	3513±95	160±14	3602±97	28042±1304	12733±1004	10295±466	5159±147	647±52
Bacia hidrográfica do Rio Mondego									
Ribeira da Pantanha, Nelas	#1	17717±422	763±45	18124±430	3110±170	3772±203	19712±402	23731±930	328±43
Escorrências, B. Velha	#2	2818±80	126±7	2836±81	1957±87	3168±124	2786±97	5294±291	24,9±2,1
Rib. ^a da Pantanha, ponte	#3	41996±1444	1992±77	43260±1487	1173±63	211±48	820±34	948±37	34,7±3,0
Rib. ^a da Pantanha, ovil	#4	29514±1356	1488±83	31199±1433	1845±90	480±41	1047±44	1103±44	74,9±4,9
Rib. ^a da Pantanha, C. Felgueira	#5	22116±726	1019±80	23274±759	5433±319	2049±260	6943±345	9055±422	225±29
R. Mondego, montante C. Felgueira	#6	4538±155	179±20	4849±163	1311±86	755±199	1640±121	2008±96	74,0±13,3
R. Mondego, jusante C. Felgueira	#7	4688±120	218±13	4833±124	1207±53	950±86	1699±94	2239±115	62,7±6,1
R. Mondego, Carvalhal	#8	3603±106	164±14	3656±108	812±60	1037±120	1428±58	1822±100	35,5±7,7
R. Mondego, P. Cervães	#9	5880±190	291±31	6111±196	1879±22	2248±264	2332±100	3361±168	139±22
Barragem Aguieira, “Lagoa Azul”	#10	3251±118	147±18	3255±118	1194±81	1782±265	1985±89	2406±136	75,9±13,2
Mina Mondego Sul, cratera	#11	43668±1172	2026±97	41087±1108	3653±206	6706±647	13107±399	36965±1304	119±18
Barragem Aguieira, Ázere	#12	5024±126	200±13	4949±124	1640±94	1356±87	5379±176	3183±146	60,8±9,6
Rib. ^a do Castelo, Mesquitela	#13	6314±166	312±22	6513±171	1618±108	598±213	3209±127	4745±188	141±22

Designação	Id.	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Rib. ^a do Castelo	#14	747±19	29,2±2,3	743±19	209±9	458±36	358±16	504±21	19,3±1,6
Rib. ^a do Castelo, Cunha Baixa	#15	1765±48	85,5±6,8	1771±48	864±36	2031±198	873±44	1542±60	49,1±4,2
Rib. ^a do Castelo, Carvalhas	#16	7496±181	355±20	7344±178	2827±112	6033±439	2961±152	5059±196	161±12
Rib. ^a do Castelo, P. Luzianes	#17	2010±173	158±52	2204±194	938±43	1726±119	869±46	1556±75	74,5±7,4

Tabela III.4 –Concentrações dos radionuclídeos em vegetais e outros alimentos (mBq kg⁻¹ peso fresco).

Designação	Id.	PS/PH	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Zona da Minda Sra. das Fontes										
Marmelos, horta da mina	#4	0,294	103±5	3,2±0,8	95,6±4,9	103±10	1939±118	111±5	1928±11	13,8±3,0
Peras, horta da mina	#5	0,275	1,8±0,3	0,08±0,01	0,78±0,12	2,6±0,4	372±32	48,5±3,6	955±64	1,9±0,4
Batatas	#12	0,195	7,9±0,7	0,36±0,17	9,4±0,8	25,7±1,7	70,0±6,2	32±3	15±2	1,4±0,4
Alfaces	#12	0,036	77,1±3,9	3,7±0,8	71,4±3,7	92,9±6,1	352±18	184±7	144±15	26,0±2,5
Batatas	#13	0,252	5,1±0,7	0,77±0,40	8,3±0,9	15,4±1,1	91,1±10,6	19,6±2,0	2,6±0,3	0,21±0,08
Alfaces	#13	0,024	55,9±3,3	4,7±0,9	58,4±3,3	55,5±3,9	126±5	69±3	45±6	16,1±1,8
Batatas	#16	0,185	6,0±0,7	0,11±0,09	6,0±0,7		86,8±8,4	4,3±0,8	3,6±0,6	
Alfaces	#16	0,026	1012±25	414±24	945±24	393±23	379±20	148±9	49,0±5,9	24,0±2,5
Zona da Mina dos Murtórios										
Batatas	#7	0,182	86,2±3,9	3,5±0,8	86,0±3,9		1686±144	31±3	40±3	
Alfaces	#7	0,027	178±6	9,1±0,1	201±6	120±6	296±14	89±5	59±9	84,5±4,4
Batatas	#8	0,159	109±5	4,2±0,7	109±5		1156±102	20±2	6±1	
Alfaces	#8	0,04	1361±36	62,8±4,5	1373±36	1055±68	1717±130	1279±27	1117±63	417±29
Batatas	#9	0,184	9,7±1,6	0,8±0,8	19,6±2,0	24,7±1,7	181±14	230±2	8,9±1,8	0,6±0,2
Alfaces	#9	0,019	92,8±3,0	4,4±0,5	96,8±3,0	59,0±6,6	545±21	50±2	25±4	32,0±4,2
Peras	#9	0,15	3,1±0,3	0,39±0,11	3,0±0,3	27,9±3,5	1247±71	3106±65	2468±198	<4,0
Peixe Murtórios, músculo		0,205	2938±64	136±6	2845±62		2228±215	1670±71	60999±2145	
Peixe Murtórios, restos		0,279	76000±2099	3656±156	73918±2045		46178±1850	105049±2763	445261±22753	

Designação	Id.	PS/PH	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Peixe Murtórios, fígado								5470±130	558990±22640	
Peixe Murtórios, gónadas								2081±73	258054±15011	
Zona da Mina do Freixinho										
Batatas	#20	0,201	16,8±1,4	0,70±0,23	16,8±1,3		321±24	17±1,0	2,0±0,2	
Marmelos	#21	0,316	9,9±0,9	0,49±0,24	8,1±0,7	17,2±2,3	7476±500	119±4	603±47	3,8±1,0
Batatas	#23	0,185	6,9±0,7	0,91±0,28	4,0±0,4	29,6±2,0	105±5	18±2	2,0±1,0	2,2±0,4
Zona da Mina Barroco D. Frango										
Batatas	#26	0,192	9,4±0,9	0,73±0,28	9,2±0,8	26,7±1,9	357±24	22,1±1,9	7,9±1,5	2,4±0,5
Alfaces	#26	0,048	2679±78	101±8	2674±77	2783±229	2356±134	34,6±2,8	4109±146	921±80
Zona da Fábrica de Sais de Rádio										
Alfaces, Barracão	#10	0,05	2034±52	87,5±5,2	2063±52,4	732±43	2183±110	429±15	431±15	58,9±5,7
Tomate, Barracão	#10	0,06	67,2±4,8	2,3±1,1	64,3±4,9	24,7±2,0	179±11	24,7±2,1	8,9±0,6	1,3±0,3
Maçaroca milho, Barracão	#10	0,4	24,7±1,4	0,95±0,27	24,2±1,4	14,9±2,1	499±34	120±16	71±9	< 2,5
Folha de milho, Barracão	#10	0,19	367±9	14,8±1,1	354±9	229±13	838±52	880±37	550±18	23,0±2,1
Cenouras, Barracão	#10	0,12	383±11	18,7±1,5	398±11	64,6±5,0	3096±138	623±15	204±5	4,7±1,0
Maçã, Barracão	#10	0,17	5,4±1,2	1,3±0,8	8,7±1,4	4,7±0,9	464±35	53,9±6,2	103±4	0,35±0,16
Cebolas, Barracão	#15	0,17	0,09±0,01	0,006±0,004	0,10±0,01	0,09±0,03	3,3±0,3	49,0±4,7	47,4±3,9	0,08±0,02
Batatas, Barracão	#15	0,24	0,035±0,003	0,002±0,001	0,022±0,002	0,16±0,02	1,02±0,08	15,0±1,8	3,2±0,2	0,026±0,007
Amoras, Barracão	#16	0,25	686±20	32,3±2,9	662±20	324±23	15672±815	1520±40	3202±66	5,6±1,7
Tomate, Barracão	#17	0,06	3,5±0,8	<3,6	3,1±1,0	6,5±1,1	131±9	44,3±3,2	17,3±1,0	< 2,2

Designação	Id.	PS/PH	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Cebolas, Barracão	#17	0,1	2,9±0,3	0,25±0,09	3,2±0,3	4,2±0,7	216±18	20,1±1,8	4,1±0,5	< 1,0
Cenouras, Barracão	#17	0,11	1,30±0,07	0,05±0,01	1,38±0,07	0,59±0,06	8,6±0,5	423±16	157±6	0,07±0,02
Zona das Minas da Urgeiriça, Quinta do Bispo e Cunha Baixa										
Alfaces, Quinta do Bispo	#3	0,09	520±19	21,8±2,8	507±18	248±21	1220±85	1081±33	544±16	36,5±6,2
Tomate, Quinta do Bispo	#3	0,08	15,4±5,4	< 2,0	9,3±3,8	16,3±3,0	230±20	71,1±5,6	52,2±1,8	1,2±0,7
Maçã, Quinta do Bispo	#3	0,19	6,3±0,8	0,31±0,31	5,2±0,6	10,7±2,0	597±36	32±3	48,8±2,5	4,6±1,4
Cebolas, Quinta do Bispo	#3	0,12	12,7±0,8	0,54±0,14	12,0±0,7	3,9±0,8	229±15	31,9±2,0	4,2±0,3	1,4±0,5
Alfaces, Cunha Baixa	#4	0,06	1386±37	70,4±5,0	1376±37	579±36	2459±142	1288±39	970±18	48,9±5,4
Tomate, Cunha Baixa	#4	0,08	7,2±0,9	2,2±0,7	8,7±1,0	56,2±47,3	342±33	19,9±1,7	39±2	27,3±27,3
Cenouras , Cunha Baixa	#4	0,12	652±16	31,7±2,0	633±16	153±13	2511±154	838±32	497±11	12,0±2,6
Tomate, Cunha Baixa	#5	0,07	38,3±3,0	1,9±0,9	40,2±3,1	16,1±3,1	308±21	21,2±1,7	11,5±0,8	0,62±0,38
Maçã, Cunha Baixa	#5	0,16	28,4±1,6	0,97±0,27	27,5±1,6	14,6±1,3	1200±57	48,5±5,6	91±5	0,03±0,01
Marmelos, Cunha Baixa	#5	0,23	22,9±2,1	< 3,0	20,3±2,0	4,2±0,7	2526±118	53,4±3,6	1687±53	<2,2
Cenouras , Cunha Baixa	#5	0,11	1004±31	47,2±4,0	966±30	235±15	7936±72	1478±34	752±14	3,2±0,9
Cebolas, Cunha Baixa	#5	0,09	17,2±1,0	0,51±0,18	15,8±1,0	10,5±1,8	1922±114	76,3±4,0	36,3±1,2	0,08±0,07
Pepinos , Cunha Baixa	#5	0,05	63,0±3,9	2,5±0,7	62,7±3,9	26,4±2,0	388±22	30,9±2,7	27,1±1,7	0,27±0,14
Feijão frade, Cunha Baixa	#5		2,6±0,1	0,12±0,04	2,6±0,1	1,6±0,2	24,5±1,4	184±16	108±4	0,05±0,02
Maçã, Cunha Baixa	#6	0,2	7,0±0,6	0,63±0,22	5,7±0,6	9,1±1,0	295±17	45±4	47,4±2,0	2,7±0,6
Pera, Cunha Baixa	#6	0,18	3,3±0,3	0,08±0,04	3,0±0,3	4,2±2,1	641±31	25,8±2,1	83,1±2,9	2,7±2,0
Alfaces, Quinta do Bispo	#8	0,09	514±18	31,2±3,2	522±18	236±23	2950±176	1272±37	533±14	45,8±7,6

Designação	Id.	PS/PH	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
Tomate, Cunha Baixa	#8	0,07	2,7±0,7	<3,0	2,9±0,9	3,0±1,0	97,0±5,7	34,6±2,1	17,5±0,9	0,8±0,3
Pepino, Cunha Baixa	#8	0,04	2,4±0,5	0,30±0,27	1,2±0,3	7,9±1,2	76,4±7,2	7,3±0,9	5,9±0,4	1,0±0,4
Alfices; Mesquitela	#18	0,08	252±11	12,1±2,2	265±11	202±17	1108±64	854±33	370±11	47,7±6,7
Tomate, Urgeiriça	#18	0,06	5,2±0,5	< 1,2	5,8±0,6	7,0±2,9	105±5	12,5±1,3	25,7±1,4	3,9±2,6
Maçã, Urgeiriça	#18	0,18	8,4±0,8	0,72±0,25	5,6±0,6	10,7±1,0	316±15	39,0±3	37,7±2,4	1,4±0,3
Alfices, Urgeiriça	#19	0,13	654±24	26,6±3,7	680±25	481±41	1840±107	1770±98	1113±26	227±23
Tomate, Urgeiriça	#19	0,09	5,6±1,2	1,1±0,7	3,6±0,9	3,9±0,7	82,1±5,9	20,0±1,4	17±1	0,30±0,12
Folha de milho, Urgeiriça	#20	0,16	555±29	25,9±5,1	574±30	355±19	1768±140	970±42	177±6	65,4±5,4
Maçaroca milho, Urgeiriça	#20	0,14	4,4±0,4	0,22±0,10	2,0±0,2	3,2±1,0	274±23	32,1±4,4	10,5±0,9	2,4±0,9
Pasto, Urgeiriça	#20	0,1	1000±26	44,0±3,4	998±26	807±40	944±52	466±21	199±7	163±10
Alfices, Urgeiriça	#21	0,04	100±6	5,2±1,2	100±6	113±9	360±24	343±20	157±6	48,6±4,8
Tomate, Urgeiriça	#21	0,1	1,4±0,5	< 4,0	5,2±1,5	14,8±2,6	53,3±6,9	11,9±0,8	6,8±0,3	0,34±0,17
Pepino, Urgeiriça	#21	0,04	2,9±0,3	0,12±0,07	1,6±0,2	22,5±2,4	17,7±1,7	16,4±2,7	18,4±5,4	3,7±1,1
Cenouras, Urgeiriça	#21	0,11	54,9±8,2	< 5,5	65,3±9,5	80,2±8,4	631±46	99,1±3,8	35,2±1,6	30,4±5,1
Alfices, Aldeia ref. ^a ,Aguieira	#22	0,07	197±9	8,1±1,7	164±8	147±15	674±45	470±11	612±22	100±11
Tomate, Aldeia ref. ^a ,Aguieira	#22	0,06	7,8±1,2	< 2,5	5,9±1,2	19,8±4,1	66,4±6,5	17,3±1,2	0,06±0,003	0,42±0,38
Cenouras, Aldeia ref. ^a ,Aguieira	#22	0,12	25,0±2,8	< 5,4	27,4±3,0	29,7±4,1	906±59	116±6	57,8±2,7	9,3±2,3
Nabiças, C. Felgueiras	#23	0,06	1270±41	58,6±5,2	1239±40	430±23	623±32	652,9±34,5	537±17	136±8

Tabela III.5 – Canas de Senhorim, radioactividade em aerossóis.

Local	^{238}U	^{235}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th
Bq kg⁻¹								
1 a 5 de Setembro de 2008								
Quinta Abetos	172±5	8,7±0,7	175±5	150±12	123±22	7640±394	2022±120	63,4±5,9
Casal de São José	132±4	6,2±0,6	142±4	110±8	111±20	16586±894	2342±128	39,4±3,6
µBq m⁻³								
Quinta Abetos	7,4±0,2	0,38±0,03	7,6±0,2	6,5±0,5	5,3±1	331±17	87±5	2,7±0,2
Casal de São José	5,7±0,2	0,27±0,02	6,1±0,2	4,8±0,3	4,8±0,9	716±39	101±6	1,7±0,2

Tabela III.6 – Canas de Senhorim, concentração de radão (^{222}Rn) no ar exterior, cerca de 2 m acima do solo.

Local	Quinta dos Abetos (NW da Barragem Velha)	Casal São José (Sul da Barragem Velha)	Vale Escuro (Sul da Barragem Velha)	Centro de Canas de Senhorim Largo dos Bombeiros
Data 16 -09-2008 a 9-12-2008				
Média	65±0,5	55±0,5	65±0,5	41±1
Mínimo – Máximo (Bq m ⁻³)	15 – 120	10 – 227	3 – 214	9 – 107

REFERENCIAS

- BETTENCOURT, A.O., TEIXEIRA, M.M.G.R., MADRUGA, M.J., FAÍSCA, M.C., (1988). Dispersion of ^{226}Ra in a contaminated environment. *Radiation Protection Dosimetry* 24:101-108.
- CARVALHO, F. P. (2003 a). O Urânio em Portugal: o fim da exploração mineira e a contaminação ambiental. *Industria & Ambiente*, Nº 30: 7-11.
- CARVALHO, F.P. (2003 b) Environmental remediation of old uranium mining sites and radioprotection goals. *Radioprotecção*, vol II-III, 159-165.
- CARVALHO, F.P. (*in press*). Past Uranium Mining In Portugal: Legacy, Environmental Remediation and Radioactivity Monitoring. Uranium Mining Regulatory Exchange Group, UMREG Monograph. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- CARVALHO, F.P., J.M. OLIVEIRA, A. LIBÂNIO, I. LOPES, G. FERRADOR, M.J. MADRUGA (2005). Radioactivity in Public Water Supplies in the Uranium Mining Regions in Portugal. Proceed. of an *International Workshop on Environmental Contamination from Uranium Production Facilities and Remediation Measures*, held in Lisbon 11-13 Feb 2004, pp.41-51. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- CARVALHO, F.P., J.M., OLIVEIRA, M.J. MADRUGA, I.LOPES, A.LIBANIO, L. MACHADO (2006 a). Contamination of hydrographical basins in uranium mining areas of Portugal. In: *Uranium in the Environment: Mining Impacts and Consequences*. B.J. Merkel and A. Hasche-Berger Editors, pp 691-702. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Publ.
- CARVALHO, F.P., J. M. OLIVEIRA, I. LOPES (2006 b) O complexo mineiro da Urgeiriça: 1- Radioactividade na Ribeira da Pantanha. (The mining complex of Urgeiriça:1- Radioactivity in the stream “Ribeira da Pantanha”). *Actas do VII Congresso Nacional de Geologia*, Vol II, 455-458. Universidade de Évora, Portugal (ISBN:972-778-093-8).
- CARVALHO, F. P., JOÃO M. OLIVEIRA, IRENE LOPES (2006 c). O complexo mineiro da Urgeiriça: 2. Radioactividade no sistema hidrogeológico sub-superficial. (The mining complex of Urgeiriça: 2. Radioactivity in the sub superficial hydro-geological system). *Actas do VII Congresso Nacional de Geologia*, Vol II, 459-462. Universidade de Évora, Portugal (ISBN:972-778-093-8).
- CARVALHO, F.P., J.M. OLIVEIRA (2007). Alpha emitters from uranium mining in the environment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 274: 167-174.
- CARVALHO, F.P., J. M. OLIVEIRA, I. LOPES, A. BATISTA (2007 a). Radionuclides from past uranium mining in rivers of Portugal. *Journal of Environmental Radioactivity* 98:298-314.
- CARVALHO, F.P., M.J. MADRUGA, M.C. REIS, J.G. ALVES, J.M. OLIVEIRA, J. GOUVEIA AND L. SILVA (2007 b). Radioactivity in the environment around past radium and uranium mining sites of Portugal. *Journal of Environmental Radioactivity* 96: 39-46.
- CARVALHO, F. P., J. M. OLIVEIRA, I. LOPES, A. BATISTA (2007 c). Radioactividade nos Principais Rios da Beira-Alta. *Recursos Hídricos* Vol. 28 (1): 43-51.
- CARVALHO F. P., OLIVEIRA, J. M. (2008). Radioactivity in Marine Organisms from Northeast Atlantic Ocean. In: *The Natural Radiation Environment (NRE VIII)*. A. S. Paschoa and F. Steinhäusler (Eds.) AIP Conference Proceedings 1034, pp 387-392. American Institute of Physics, Melville, New York, USA.
- CARVALHO, F. P., J. M. OLIVEIRA, O. NEVES, M. M. ABREU, E. M. VICENTE (2008). Soil to plant (*Solanum tuberosum* L.) radionuclide transfer in the vicinity of an old uranium mine. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 9: 275-278.
- EDM (2007). Relatório e Contas 2006. EDM, Empresa de Desenvolvimento Mineiro. Lisboa.
- FALCÃO J.M., F.P. CARVALHO, M.M. LEITE, M. ALARCÃO, E.CORDEIRO, J. RIBEIRO, et al. (2005). MinUrar-Minas de Uranio e seus Resíduos.Efeitos na Saúde da

- População. Relatório Científico I (Julho de 2005). Publ. INSA, INETI, ITN.(available from WWW.ITN.pt).
- FALCÃO, J.M., F.P. CARVALHO, M.M. LEITE, M. ALARCÃO, E. CORDEIRO, J. RIBEIRO, et al. (2007). MinUrar-Minas de Urânio e seus Resíduos.Efeitos na Saúde da População. Relatório Científico II (Fevereiro 2007). Publ. INSA, INETI, ITN(available from WWW.ITN.pt).
- FALCÃO,J.M., FERNANDO P. CARVALHO, MÁRIO MACHADO LEITE, MADALENA ALARCÃO, EUGÊNIO CORDEIRO, JOÃO RIBEIRO, E. MACEDO PINTO, N. FERREIRA (2006). MINURAR – Minas de Urânio e seus Resíduos: efeitos na Saúde da População. Estudo da distribuição dos Metais e outros Contaminantes Químicos no Ambiente.(MINURAR- Uranium mines and their residues: health effects in a Portuguese Population. Metals and other chemical contaminants distributions). *Actas do VII Congresso Nacional de Geologia*, Vol II, 347-350. Universidade de Évora, Portugal (ISBN:972-778-093-8).
- IAEA (1996). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series N° 115. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- NERO, J.M., J.M. DIAS, A.J. TORRINHA, L.J. NEVES, J.A. TORRINHA (2005). Environmental evaluation and remediation methodologies of abandoned radioactive mines in Portugal. In: Proceed. of an *International Workshop on Environmental Contamination from Uranium Production Facilities and Remediation Measures*, held in Lisbon 11-13 Feb 2004, pp.145-158. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- OLIVEIRA, J.M., F.P. CARVALHO (2006). A Sequential Extraction Procedure for Determination of Uranium, Thorium, Radium, Lead and Polonium Radionuclides by Alpha Spectrometry in Environmental Samples. (Proceedings of the 15th Radiochemical Conference). *Czechoslovak Journal of Physics* 56 (Suppl. D): 545-555.
- PHAM M.K., SANCHEZ-CABEZA J.A., POVINEC P.P., ARNOLD D., BENMANSOUR M., BOJANOWSKI R., CARVALHO F.P., KIM C.K., ESPOSITO M., GASTAUD J., GASCÓ C.L., HAM G.J., HEDGE A.G., HOLM E., JASKIEROWICZ D., KANISCH G., LLAURADO M., LA ROSA, J., LEE S.-H., LIONG WEE KWONG L., LE PETIT G., MARUO Y., NIELSEN S.P., OH J.S., OREGIONI B., PALOMARES J., PETTERSON H.B.L., RULIK P., RYAN T.P., SATO K., SCHIKOWSKI J., SKWARZEC B., SMEDLEY P.A., TAJAÁN S., VAJDA N., WYSE E. (2006). Certified reference material for radionuclides in fish flesh sample IAEA-414 (mixed fish from the Irish Sea and North Sea). *Applied Radiation and Isotopes* 64: 1253-1259.
- POVINEC, P.P., M. PHAM, G. BARCI-FUNEL, R. BOJANOWSKI, T. BOSKOVA, W. BURNETT, F.P. CARVALHO, ET AL. (2007). Reference material for radionuclides in sediment, IAEA-384 (Fangataufa Lagoon sediment). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 273:383-393.
- RELATORIO DA VIGILÂNCIA RADIOLÓGICA DAS ZONAS DAS ANTIGAS MINAS DE URANIO (2007). In: Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano de 2007). Relatório UPSR Série A N°32/2008. Instituto Tecnológico e Nuclear; Sacavém.
- RICHTER, S, ALONSO, A., TRUYENS, J., KUHN, H., VERBRUGGEN, A., WELLUN, R. (2006). REIMEP18: Inter Laboratory Comparison for the Measurement of Uranium Isotopic Ratios in Nitric Acid Solution. European Commission, Joint Research Centre, EUR Report 22529, 28 pp.
- SANTIAGO BAPTISTA A. (2005). The programme for remediation of contaminated sites: its regulation and follow-up in Portugal. Proceed. of an *International Workshop on Environmental Contamination from Uranium Production Facilities and Remediation Measures*, held in Lisbon 11-13 Feb 2004, pp.223-232. International Atomic Energy Agency, Vienna.

ANEXO

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ANALÍTICA

A UPSR procede regularmente à avaliação externa da qualidade analítica participando periodicamente em exercícios internacionais de intercomparação analítica para a determinação de radionuclídeos artificiais e naturais em amostras ambientais (aerossóis, águas, solos, leite, etc.) (Shakhashiro *et al.*, 2007a & 2007b; Watjen *et al.*, 2007 & 2008; Report IRSN/DEI/STEME/2008-09; LARUEX-07-01). Estes exercícios são organizados por várias entidades, tais como, Organização Mundial de Saúde, Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA), Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Comissão Europeia, etc.

Em 2008, a UPSR participou nos seguintes exercícios:

- determinação de radionuclídeos naturais e artificiais em água e fosfogesso (IAEA-CU-2008-03) organizado pela IAEA no âmbito da rede ALMERA;
- determinação de radionuclídeos emissores alfa e gama em fosfogesso e análises de dosimetria ambiental organizados pelo CSN (Espanha);
- determinação da concentração de ^{131}I em água e determinação das actividades alfa/beta totais e beta residual em água de profundidade organizados pela Universidade de Cáceres (Espanha);
- determinação da concentração de radionuclídeos naturais emissores alfa em água de consumo, organizado pela Comissão Europeia (IRMM), no âmbito do Artigo 35 do Tratado Euratom;
- determinação de emissores gama em água, organizado pelo National Physics Laboratory (NPL), UK;
- determinação das actividades alfa/beta total, trítio e concentração em potássio em água de consumo, organizado pelo Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), França.

Os resultados da participação da UPSR nestes exercícios de intercomparação, já publicados em relatórios ou, comunicados informalmente, foram em geral aceitáveis.

- Shakhashiro A., Sansone U., Trinkl A., Makarewicz M., Yonezawa C., Kim C.K., Kis-Benedek G., Benesch T., Schorn R. (2007a). Report on the IAEA-CU-2006-03 World-Wide Open Proficiency Test on the Determination of Gamma Emitting Radionuclides. IAEA/AL/170, April 2007.
- Shakhashiro A., Sansone U., Trinkl A., Makarewicz M., Yonezawa C., Kim C.K., Kis-Benedek G., Benesch T., Schorn R. (2007b). Report on the IAEA-CU-2006-03 World-Wide Open Proficiency Test on the Determination of Gamma Emitting Radionuclides. IAEA/AL/171, May 2007.
- Watjen U., Szántó Zs., Altitzoglou T., Sibbens G., Keightley J., Van Ammel R., Hult M., De Cort M. (2007). Evaluation of EC measurement comparison on simulated airborne particulates- ^{137}Cs in air filters. EUR 22926 EN, ISBN 978-92-79-06962-8.
- Watjen U., Spasova Y., Altitzoglou T., Emteborg H., Pommé S. (2008). Evaluation of EC measurement comparison for ^{137}Cs , ^{40}K and ^{90}Sr in milk powder. EUR 23270 EN, ISBN 978-92-79-08500-0.
- Report IRSN/DEI/STEME/2008-09, Results of the proficiency test 93 SH 300, Measurement of Gross α and β activities, tritium activity and potassium content in a water sample.
- LARUEX-07-01, Ejercicio de Intercomparación entre Laboratorios, Código: LARUEX-08-01. Laboratorio de Radiactividad Ambiental, Universidad de Extremadura, Cáceres, Julho 2008
- Intercomparación de técnicas de medida de radiactividad ambiental 2007-2008. CSN-C-SRA-08-150, Nov.2008.