



## Unidade de Protecção e Segurança Radiológica

Relatório UPSR-A, nº37/10

### Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2009)

**Investigadores:**

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

**Técnicos Superiores:**

Irene Lopes  
João Abrantes  
Lídia Silva  
Lubélia Torres  
Luís Portugal  
Margarida Malta

**Bolseiros:**

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

**Técnicos:**

Albertina Libânio  
Anabela Mourato  
Gabriel Silva  
João Maria Oliveira  
Luís Santos

Novembro 2010

---

---

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](mailto:dprsn.secretariado@itn.pt)

Pág. web <http://www.itn.pt>

**Ficha Técnica**

Título	<b>Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2009)</b>
Autoria	<i>M.J. Madruga, F. Carvalho, M. Reis, J. Alves, J. Corisco, R. Trindade I. Lopes, J. Abrantes, L. Silva, L. Torres, L. Portugal, M. Malta A. Libânio, A. Mourato, G. Silva, J.M. Oliveira, L. Santos A. Batista, A.R. Gomes, G. Carvalhal, H. Fonseca, J. Melo, M. Pereira</i>
Edição	Instituto Tecnológico e Nuclear Unidade de Protecção e Segurança Radiológica
Tiragem	60 exemplares
ISBN	978-989-96542-5-9
Depósito Legal	194022/03
Data da Edição	Novembro 2010
	© Copyright 2010, ITN

---

## INDÍCE

<i>Resumo</i>	3
<i>Abstract</i>	3
<b>PREÂMBULO</b>	5
<b>I. PROGRAMA A NÍVEL NACIONAL</b>	
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	58
I.5.2 <i>Resultados e Discussão</i>	58
Componentes Individuais e Refeição Completa	58
Leite	63
I.6 RADIOACTIVIDADE EM SOLOS	68
I.6.1 <i>Material e Métodos</i>	68
I.6.2 <i>Resultados e Discussão</i>	68
I.7 DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL	70
I.7.1 <i>Material e Métodos</i>	70
I.7.2 <i>Resultados e Discussão</i>	71
I.8 CONCLUSÕES	73
AGRADECIMENTOS	74
REFERÊNCIAS	75

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

II.1 INTRODUÇÃO	81
II.2 RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA	83
II.2.1 Aerossóis	83
II.2.1.1 <i>Material e Métodos</i>	83
II.2.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	83
II.2.2 Deposição Atmosférica	84
II.2.2.1 <i>Material e Métodos</i>	84
II.2.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	84
II.3 RADIOACTIVIDADE EM SOLOS	89
II.3.1 <i>Material e Métodos</i>	89
II.3.2 <i>Resultados e Discussão</i>	89
II.4 DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL	92
II.4.1 <i>Detectores Activos</i>	92
II.4.1.1 <i>Material e Métodos</i>	92
II.4.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	92
II.4.2 <i>Detectores Passivos</i>	94
II.4.2.1 <i>Material e Métodos</i>	94
II.4.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	95
II.5 MONITORIZAÇÃO NA FONTE	97
II.5.2 <i>Descargas líquidas</i>	97
II.6 CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS	99

## **III. PROGRAMA ESPECÍFICO PARA AS REGIÕES DAS MINAS DE URÂNIO**

III.1 OBJECTIVOS	103
III.1.1 Introdução	103
III.1.2 Plano de monitorização de 2009	104
III.2 MATERIAIS E MÉTODOS	106
III.2.1 Amostragem	106
III.2.2 Preparação e análise de amostras	107
III.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	108
III.3.1 Zona da Mina dos Mortórios (Concelho de Meda) e Mina Maria Dónis (Concelho de Aguiar da Beira)	108
III.3.2 Zona das minas do vale do Reboleiro (Concelho de Trancoso)	112
III.3.3 Zona das minas da Urgeiriça, Quinta do Bispo e Cunha Baixa	115
III.3.4 O sistema hidrográfico Ribeira da Pantanha-Ribeira do Castelo-Rio Mondego	119
III.4 CONCLUSÕES	120
REFERÊNCIAS	142
<b>ANEXO (Avaliação da Qualidade Analítica)</b>	<b>145</b>



## PROGRAMAS DE MONITORIZAÇÃO RADIOLÓGICA AMBIENTAL (ANO 2009)

### **Resumo**

A vigilância radiológica do ambiente em Portugal é uma das obrigações legais do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) e dá cumprimento às recomendações estipuladas 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 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ ) são muito baixas e, situam-se frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável, com excepção do rio Tejo onde os valores em  $^3\text{H}$  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 ( $^{40}\text{K}$  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 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^3\text{H}$ ) 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 ( $^{40}\text{K}$ , 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 concluded 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 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”.

Assim sendo, cada Estado Membro deverá proceder à monitorização radiológica ambiental no seu território e comunicar anualmente os resultados do programa de monitorização 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)”. Alguns desses dados são posteriormente publicados em relatórios da Comissão Europeia (EUR 23555 EN, 2009; EUR 23950 EN, 2009).

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 do Tratado EURATOM. 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 2009.

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 P. Carvalho  
Mário Reis  
João Alves  
José Corisco

### ***Técnicos Superiores***

Irene Lopes  
João Abrantes  
Lídia Silva  
Lubélia Torres  
Margarida Malta

### ***Bolseiros***

Ana Rita Gomes  
Gonçalo Carvalhal  
Heloísa Fonseca  
João Melo  
Miguel Pereira

### ***Técnicos***

Albertina Libânio  
Anabela Mourato  
Gabriel Silva  
João Maria Oliveira  
Luis Santos



## **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 foi efectuada de acordo com as recomendações da Comissão Europeia (COM/473/EURATOM, 2000) e tendo 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 e peixes) 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  $^{40}\text{K}$ ) e artificial (principalmente  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  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 como Lisboa (pontos do *Campus* do ITN) e a região correspondente ao eixo Bragança, Penhas Douradas, Castelo Branco, Portalegre e Faro. 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 2009.

**Nota 1:** 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.

**Nota 2:** Um colaborador da UPSR alterou, inadvertidamente, a temperatura da estufa onde estavam armazenadas as amostras para a determinação da actividade beta total na matéria em suspensão. O aumento de temperatura danificou uma grande quantidade de amostras tornando impossível proceder posteriormente à sua medição.



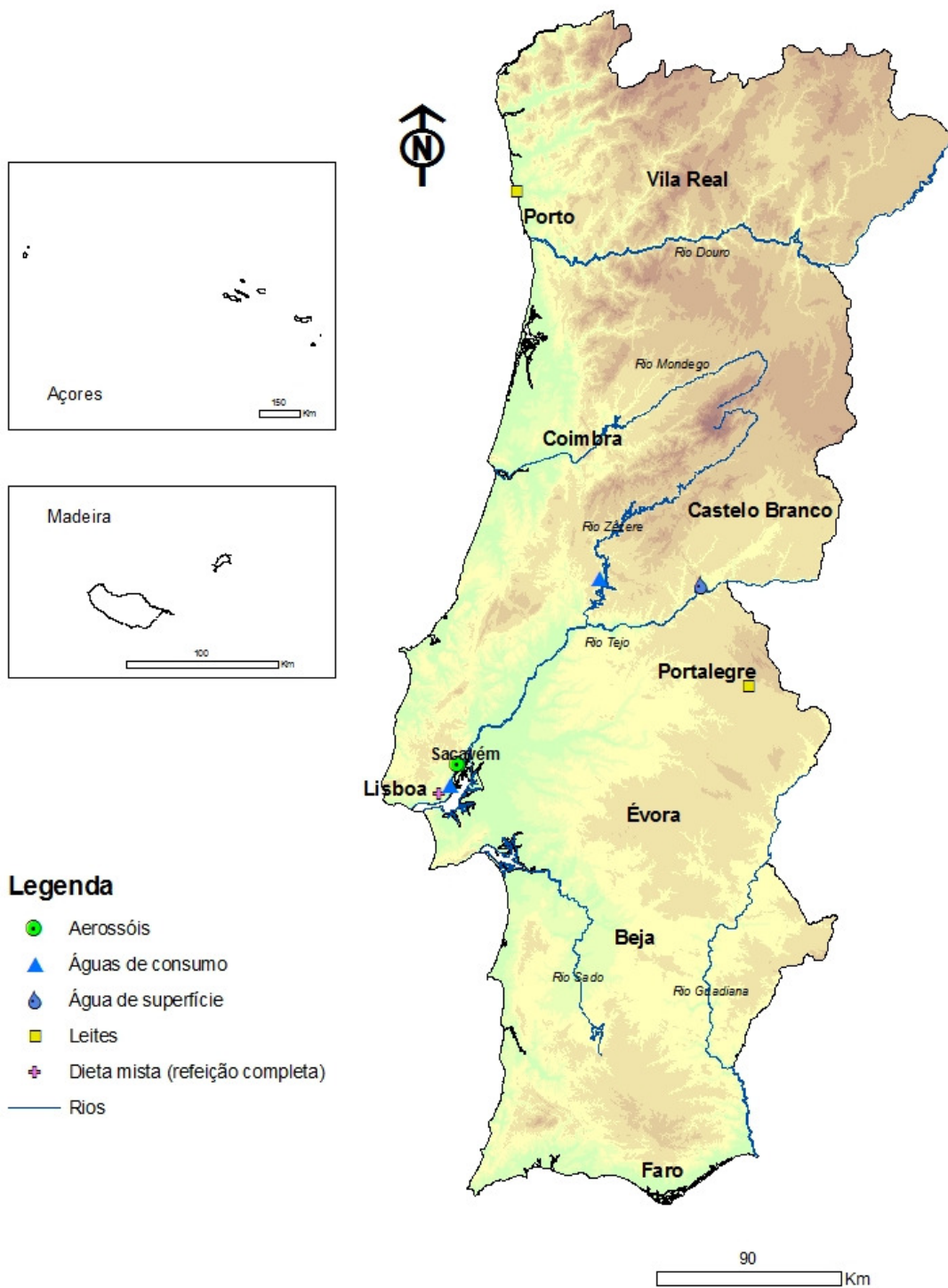


Figura I.1- Locais de amostragem e tipo de amostras analisadas na rede dispersa

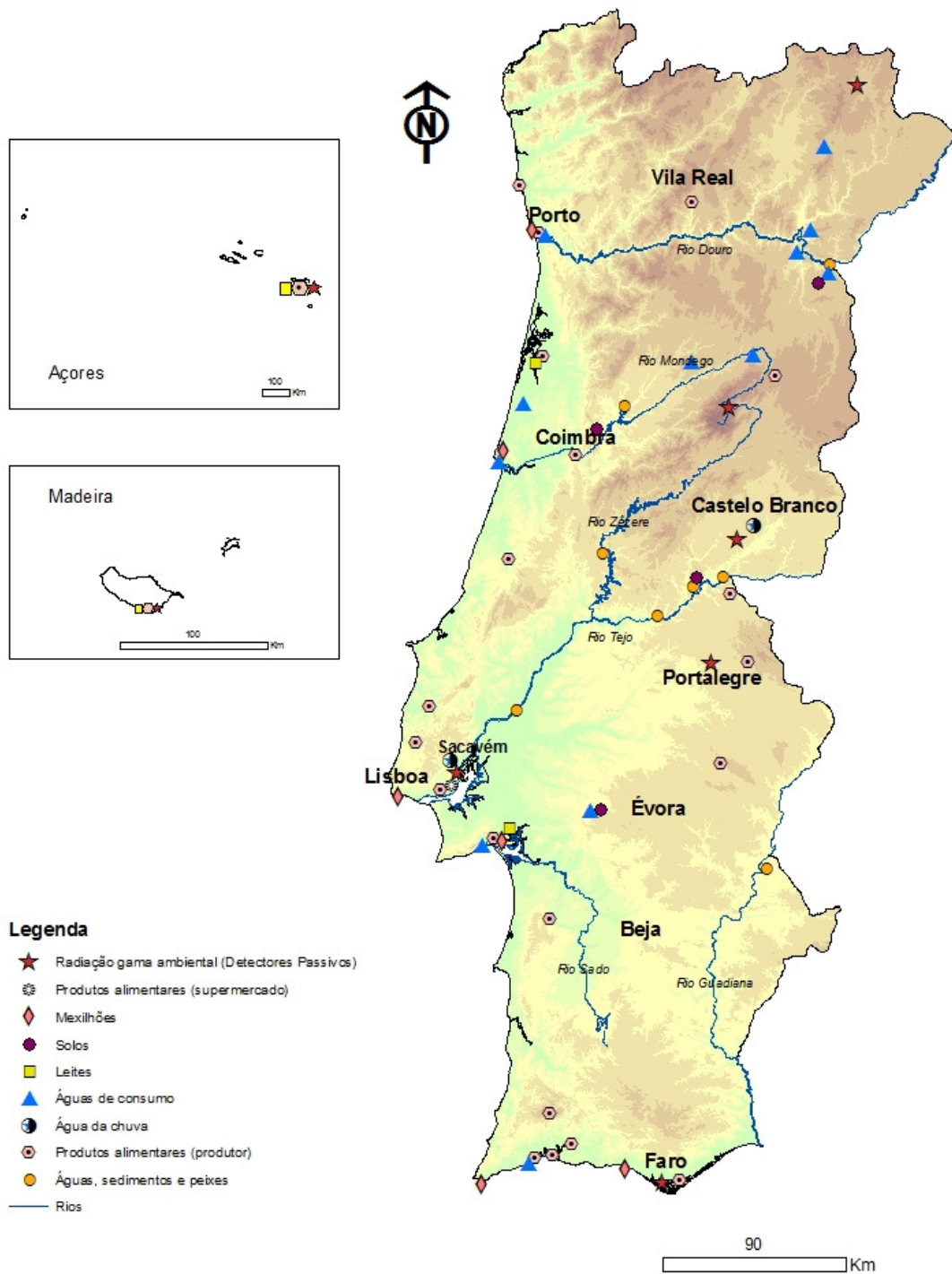
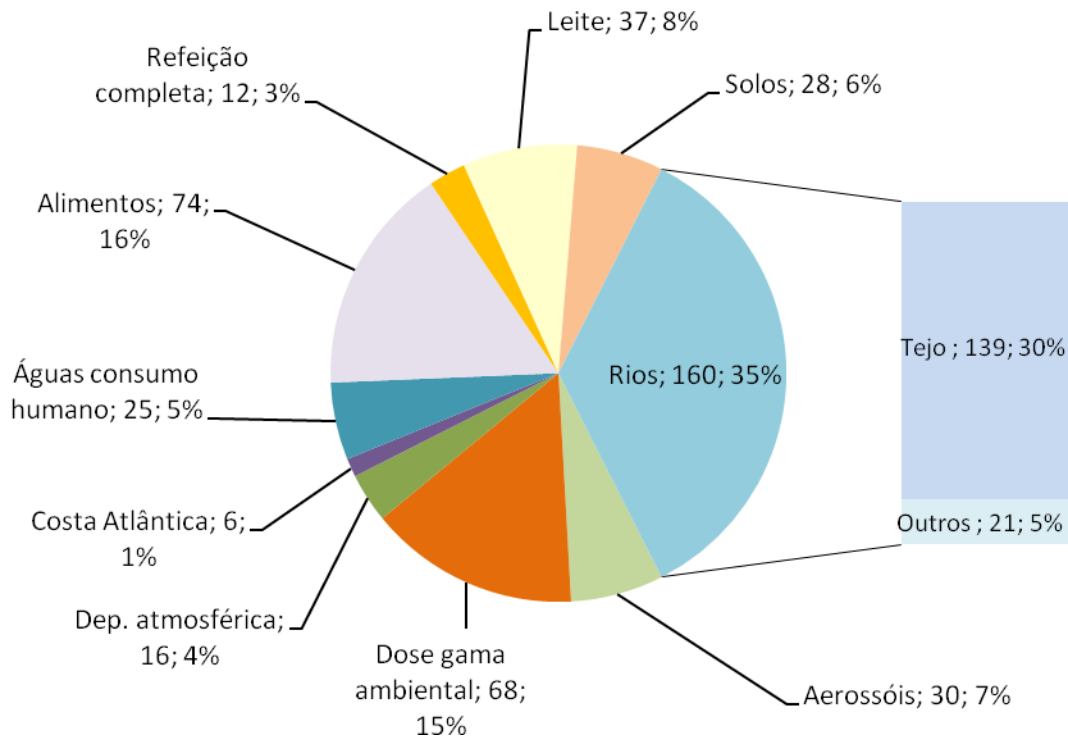
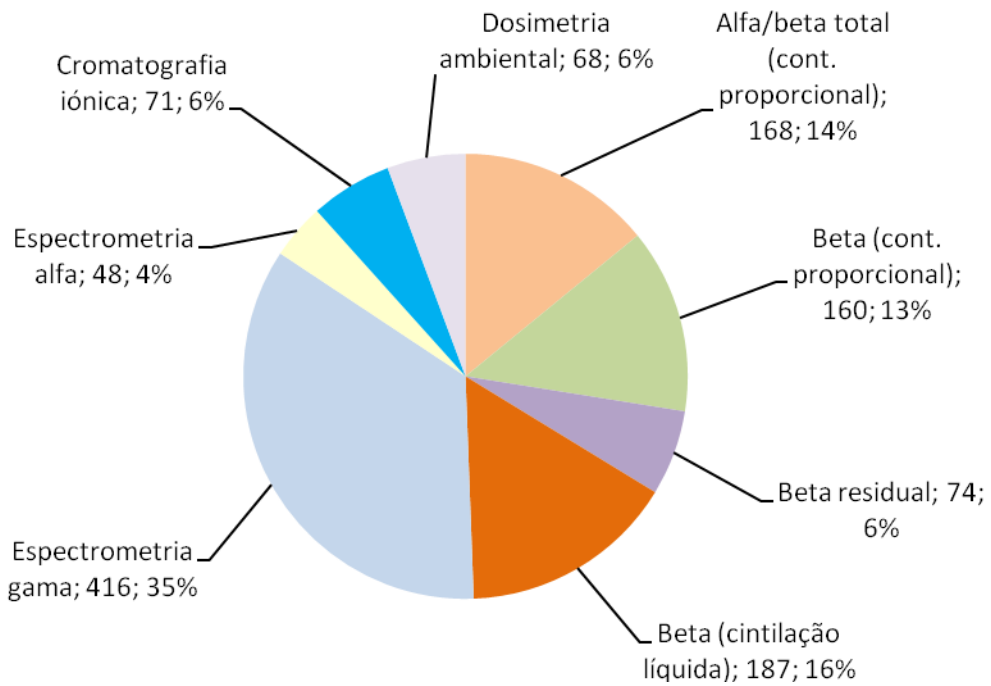


Figura I.2- Locais de amostragem e tipo de amostras analisadas na rede densa



**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  $^{222}\text{Rn}$  e  $^{220}\text{Rn}$ , formados através da desintegração radioactiva do  $^{226}\text{Ra}$  e do  $^{224}\text{Ra}$  (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  $^{210}\text{Pb}$ , descendente de longo período de semi-desintegração do  $^{222}\text{Rn}$ ; ii) formação de radionuclidos cosmogénicos, como por exemplo o  $^7\text{Be}$ , 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  $^{137}\text{Cs}$ , 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  $\gamma$  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 ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) 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  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  (em Dezembro) e  $63 \mu\text{g m}^{-3}$  (em Março).

A concentração de actividade média mensal em  ${}^7\text{Be}$  variou entre  $1,6\pm 0,1$  e  $6,0\pm 0,2$   $\text{mBq m}^{-3}$ , apresentando um valor médio anual de  $3,8\pm 1,5$   $\text{mBq m}^{-3}$ . Estes valores são consistentes com a gama de concentrações referida por outros autores para diferentes locais (Jasiulionis & Wershofen, 2005; Hernandez *et al.*, 2007; Heinrich *et al.*, 2007; Vallés *et al.*, 2009; Heredia *et al.*, 2009). As concentrações mais elevadas de  ${}^7\text{Be}$  ocorreram nos meses de Março, Maio e Junho (Figura I.5), ou seja, na Primavera, altura do ano em que nas latitudes médias, existe uma maior probabilidade de ocorrência de intrusões, na troposfera, de massas de ar de origem estratosférica portadoras de aerossóis enriquecidos em  ${}^7\text{Be}$ . Esta tendência sazonal é também referida por outros autores (Ioannidou *et al.*, 2005), tendo já sido verificada em anos anteriores (Reis *et al.*, 2006; Fonseca & Reis, 2006), à excepção do ano de 2008.

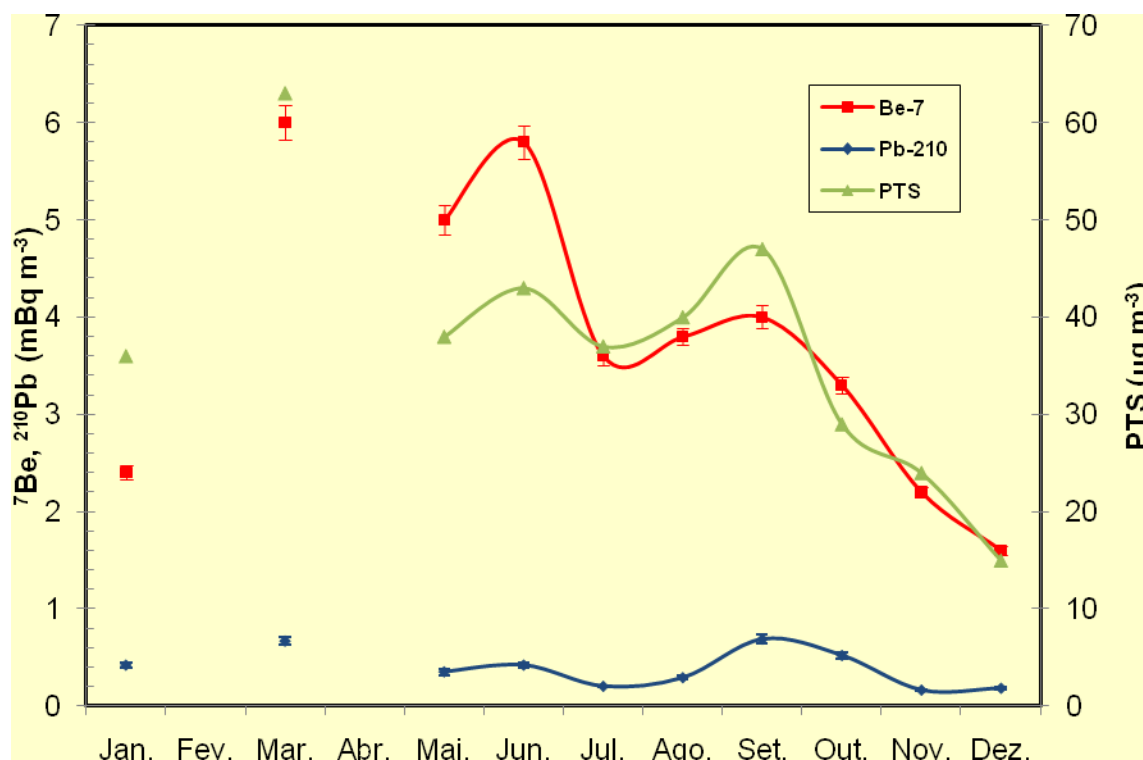
No caso do  ${}^{210}\text{Pb}$ , a concentração da sua actividade média mensal variou entre  $0,16\pm 0,01$   $\text{mBq m}^{-3}$  e  $0,69\pm 0,05$   $\text{mBq m}^{-3}$ , com um valor médio anual de  $0,39\pm 0,19$   $\text{mBq m}^{-3}$ , valores que se situam dentro da gama de valores registados em anos anteriores. As concentrações mais elevadas de  ${}^{210}\text{Pb}$  ocorreram nos meses de Março e Setembro (Fig. I.5), associadas a maiores concentrações de partículas totais em suspensão, o que parece indicar a contribuição de fenómenos de resuspensão para os valores registados.

Relativamente à actividade de  ${}^{137}\text{Cs}$  em partículas de aerossol, o seu valor foi sempre inferior à actividade mínima detectável (Tabela I.1). Sendo assim, a dose de radiação devida à eventual inalação deste radionuclídeo deverá ser inferior a  $0,01 \text{ nSv a}^{-1}$ . A estimativa deste valor de dose teve 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.

**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	$^7\text{Be}$ ( $\text{mBq m}^{-3}$ )	$^{137}\text{Cs}$ ( $\mu\text{Bq m}^{-3}$ )	$^{210}\text{Pb}$ ( $\text{mBq m}^{-3}$ )	PTS ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
<b>Janeiro</b>	$2,4 \pm 0,1$	< 0,3 (a)	$0,42 \pm 0,03$	36
<b>Fevereiro</b>	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Março</b>	$6,0 \pm 0,2$	< 0,3 (a)	$0,67 \pm 0,04$	63
<b>Abril</b>	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Mai</b>	$5,0 \pm 0,2$	< 0,4 (a)	$0,35 \pm 0,03$	38
<b>Junho</b>	$5,8 \pm 0,2$	< 0,2 (a)	$0,42 \pm 0,03$	43
<b>Julho</b>	$3,6 \pm 0,1$	< 0,2 (a)	$0,20 \pm 0,01$	37
<b>Agosto</b>	$3,8 \pm 0,1$	< 0,4 (a)	$0,29 \pm 0,02$	40
<b>Setembro</b>	$4,0 \pm 0,1$	< 0,2 (a)	$0,69 \pm 0,05$	47
<b>Outubro</b>	$3,3 \pm 0,1$	< 0,2 (a)	$0,52 \pm 0,03$	29
<b>Novembro</b>	$2,2 \pm 0,1$	< 0,2 (a)	$0,16 \pm 0,01$	24
<b>Dezembro</b>	$1,6 \pm 0,1$	< 0,2 (a)	$0,18 \pm 0,01$	15
<b>Média <math>\pm \sigma</math> (n=10)</b>	<b><math>3,8 \pm 1,5</math></b>	-	<b><math>0,39 \pm 0,19</math></b>	<b><math>37 \pm 13</math></b>

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



**Figura I.5 - Evolução da concentração de actividade em  $^7\text{Be}$  e  $^{210}\text{Pb}$  ( $\text{mBq m}^{-3}$ ) 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 m<sup>2</sup> de secção.

Da amostra recolhida, 1 litro é utilizado para a determinação do trítio (<sup>3</sup>H), 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 radionuclidos emissores gama e, posteriormente para a determinação da concentração em <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr 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 radionuclidos (<sup>210</sup>Pb, <sup>241</sup>Am, <sup>109</sup>Cd, <sup>57</sup>Co, <sup>51</sup>Cr, <sup>113</sup>Sn, <sup>85</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>88</sup>Y, <sup>60</sup>Co) 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 total e beta total é feita em simultâneo num sistema de contagem  $\alpha/\beta$  munido de detectores proporcionais de fluxo gasoso (TENNELEC, Canberra), previamente calibrado com padrões alfa (<sup>241</sup>Am) e beta (<sup>40</sup>K).

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

A metodologia seguida para a determinação da radioactividade devida ao <sup>3</sup>H 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 (Tri-Carb 3170 TR/SL, Packard) (Madruga *et al.*, 2009b).

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

fundo utilizando detectores proporcionais de fluxo gasoso (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 site 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  $\text{Bq L}^{-1}$ , 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 2009 em Sacavém (1337 mm) é cerca do dobro da precipitação acumulada na estação de Castelo Branco (675 mm), resultando em fluxos de deposição mais elevados em Sacavém, ao contrário do verificado no ano anterior para o  ${}^7\text{Be}$  e o  ${}^3\text{H}$ . Os fluxos de deposição de  ${}^7\text{Be}$  ( $539 \text{ Bq m}^{-2}$ ),  ${}^3\text{H}$  ( $166 \text{ Bq m}^{-2}$ ),  ${}^{137}\text{Cs}$  ( $0,5 \text{ Bq m}^{-2}$ ) e  ${}^{90}\text{Sr}$  ( $2,2 \text{ Bq m}^{-2}$ ) são superiores em Sacavém, comparativamente aos valores obtidos para Castelo Branco ( $278 \text{ Bq m}^{-2}$ ,  $90 \text{ Bq m}^{-2}$ ,  $0,2 \text{ Bq m}^{-2}$  e  $0,4 \text{ Bq m}^{-2}$ , respectivamente). O mesmo se verifica relativamente aos fluxos de deposição de actividade alfa total ( $14 \text{ Bq m}^{-2}$  em Sacavém e  $4 \text{ Bq m}^{-2}$  em Castelo Branco) e actividade beta total ( $20 \text{ Bq m}^{-2}$  em Sacavém e  $9 \text{ Bq m}^{-2}$  em Castelo Branco). É de referir que o mês de Dezembro, o mais pluvioso do ano em ambas as estações (441,8 mm em Sacavém e 248,9 mm em Castelo Branco), contribui significativamente para os fluxos de deposição total registados em 2009. Contudo, tendo em atenção que grande parte das actividades específicas obtidas nas amostras de água da chuva são inferiores à actividade mínima detectável, a comparação dos valores de deposição anual entre as duas estações deve ser encarada como meramente indicativa.



Relativamente ao  $^7\text{Be}$  e  $^{137}\text{Cs}$ , os fluxos de deposição anuais obtidos são, para ambas as estações, inferiores aos referidos por outros autores para diferentes locais (Ioannidou & Papastefanou, 2006; Du *et al.*, 2008; Zhu & Olsen, 2009). Em relação à actividade alfa e beta total (na fracção dissolvida), os fluxos de deposição anuais obtidos em ambas as estações são significativamente inferiores aos referidos na bibliografia (Dueñas *et al.*, 2009).

Tabela I.2 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), de radionuclidos artificiais e naturais em água da chuva colhida em Sacavém (ITN).

Data de Colheita	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45 \mu m$						Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45 \mu m$
	$^3H$	$^7Be$	$^{90}Sr$	$^{137}Cs$	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	< 0,80 (a)	$0,19 \pm 0,07$	< $1,0 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,76 \times 10^{-3}$ (c)	$0,008 \pm 0,001$	$0,005 \pm 0,001$	(e)
<b>Fevereiro</b>	< 0,80 (a)	< 0,09 (f)	< $2,0 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,53 \times 10^{-3}$ (c)	$0,015 \pm 0,003$	$0,012 \pm 0,005$	(e)
<b>Março</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Abril</b>	$0,92 \pm 0,32$	< 0,12 (f)	< $1,56 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,72 \times 10^{-3}$ (c)	$0,018 \pm 0,004$	$0,012 \pm 0,005$	(e)
<b>Maió</b>	$3,00 \pm 0,36$	< 1,1 (f)	< $15,9 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,57 \times 10^{-3}$ (c)	$0,022 \pm 0,003$	$0,005 \pm 0,003$	(e)
<b>Junho</b>	< 0,80 (a)	< 0,12 (f)	< $4,3 \times 10^{-3}$ (b)	$(0,63 \pm 0,27) \times 10^{-3}$	$0,109 \pm 0,009$	$0,018 \pm 0,007$	(e)
<b>Julho</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Agosto</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Setembro</b>	< 0,80 (a)	(d)	(d)	(d)	$0,066 \pm 0,011$	$0,015 \pm 0,011$	(e)
<b>Outubro</b>	< 0,80 (a)	$0,07 \pm 0,04$	< $0,57 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,55 \times 10^{-3}$ (c)	$0,018 \pm 0,004$	$0,011 \pm 0,005$	(e)
<b>Novembro</b>	< 0,80 (a)	$0,11 \pm 0,05$	< $0,63 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,57 \times 10^{-3}$ (c)	$0,007 \pm 0,003$	$0,026 \pm 0,006$	(e)
<b>Dezembro</b>	< 0,80 (a)	$1,04 \pm 0,08$	$(4,9 \pm 1,1) \times 10^{-3}$	$(0,99 \pm 0,41) \times 10^{-3}$	$0,011 \pm 0,002$	$0,006 \pm 0,003$	(e)

Actividade mínima detectável em  $^3H$  (a),  $^{90}Sr$  (b),  $^{137}Cs$  (c) e  $^7Be$  (f); volume de amostra insuficiente para análise (d); Perda de amostra no decorrer da análise (e).

**Tabela I.3 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), de radionuclídeos artificiais e naturais em água da chuva colhida em Castelo Branco (estação meteorológica).**

Data de Colheita	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45 \mu m$						Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45 \mu m$
	$^3H$	$^7Be$	$^{90}Sr$	$^{137}Cs$	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	< 0,80 (a)	< 0,14 (f)	< $1,00 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,62 \times 10^{-3}$ (c)	$0,012 \pm 0,003$	$0,014 \pm 0,003$	(e)
<b>Fevereiro</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Março</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Abril</b>	< 0,80 (a)	$0,06 \pm 0,03$	< $1,25 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,57 \times 10^{-3}$ (c)	$0,017 \pm 0,003$	$0,006 \pm 0,001$	(e)
<b>Maió</b>	< 0,80 (a)	< 0,27 (f)	< $4,6 \times 10^{-3}$ (b)	< $2,90 \times 10^{-3}$ (c)	$0,018 \pm 0,002$	$0,004 \pm 0,002$	(e)
<b>Junho</b>	$3,34 \pm 0,35$	< 0,12 (f)	< $2,8 \times 10^{-3}$ (b)	< $1,15 \times 10^{-3}$ (c)	$0,081 \pm 0,007$	$0,019 \pm 0,006$	(e)
<b>Julho</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Agosto</b>	$1,74 \pm 0,31$	(d)	(d)	(d)	$0,040 \pm 0,004$	$0,018 \pm 0,005$	(e)
<b>Setembro</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Outubro</b>	< 0,80 (a)	< 0,05 (f)	< $1,14 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,53 \times 10^{-3}$ (c)	$0,012 \pm 0,003$	$0,013 \pm 0,003$	(d)
<b>Novembro</b>	< 0,80 (a)	$0,13 \pm 0,06$	< $1,9 \times 10^{-3}$ (b)	< $0,66 \times 10^{-3}$ (c)	$0,012 \pm 0,002$	$0,009 \pm 0,003$	(e)
<b>Dezembro</b>	< 0,80 (a)	$1,07 \pm 0,09$	$(1,43 \pm 0,54) \times 10^{-3}$	$(0,97 \pm 0,41) \times 10^{-3}$	$0,013 \pm 0,002$	< 0,002	(e)

Actividade mínima detectável em  $^3H$  (a),  $^{90}Sr$  (b),  $^{137}Cs$  (c) e  $^7Be$  (f); volume de amostra insuficiente para análise (d); Perda de amostra no decorrer da análise (e).

Tabela I.4 – Fluxos mensais de deposição atmosférica ( $\text{Bq m}^{-2} \pm U$ ,  $k=2$ ) em Sacavém (ITN).

Data de colheita	Precipitação* (mm)	$^3\text{H}$	Água filtrada $\text{Ø} \leq 0,45 \mu\text{m}$					Partículas em suspensão $\text{Ø} > 0,45 \mu\text{m}$
			$^7\text{Be}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	277,2	(a)	$53 \pm 19$	(a)	(a)	$2,2 \pm 0,3$	$1,4 \pm 0,3$	(c)
<b>Fevereiro</b>	152,2	(a)	(a)	(a)	(a)	$2,3 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,8$	(c)
<b>Março</b>	10,8	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Abril</b>	83,6	$77 \pm 53$	(a)	(a)	(a)	$1,5 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,4$	(c)
<b>Mai</b>	29,6	$89 \pm 21$	(a)	(a)	(a)	$0,7 \pm 0,1$	$0,15 \pm$	(c)
<b>Junho</b>	32,0	(a)	(a)	(a)	$0,02 \pm 0,01$	$3,5 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,2$	(c)
<b>Julho</b>	2,8	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Agosto</b>	0	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Setembro</b>	20	(a)	(b)	(b)	(b)	$1,3 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,2$	(c)
<b>Outubro</b>	111,6	(a)	$7,8 \pm 4,5$	(a)	(a)	$2,0 \pm 0,4$	$1,2 \pm 0,6$	(c)
<b>Novembro</b>	175,4	(a)	$19 \pm 9$	(a)	(a)	$1,2 \pm 0,5$	$4,6 \pm 1,1$	(c)
<b>Dezembro</b>	441,8	(a)	$460 \pm 35$	$2,2 \pm 0,5$	$0,4 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,9$	$2,7 \pm 1,3$	(c)

(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 ( $\text{Bq m}^{-2} \pm U$ ,  $k=2$ ) em Castelo Branco (estação meteorológica).

Data de colheita	Precipitação* (mm)	$^3\text{H}$	Água filtrada $\text{Ø} \leq 0,45 \mu\text{m}$					Partículas em suspensão $\text{Ø} > 0,45 \mu\text{m}$
			$^7\text{Be}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	106,1	(a)	(a)	(a)	(a)	$1,3 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,3$	(c)
<b>Fevereiro</b>	93,3	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Março</b>	2,9	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Abril</b>	36,7	(a)	$2 \pm 1$	(a)	(a)	$0,6 \pm 0,1$	$0,22 \pm 0,04$	(c)
<b>Mai</b>	17,3	(a)	(a)	(a)	(a)	$0,31 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,03$	(c)
<b>Junho</b>	24,9	$83 \pm 17$	(a)	(a)	(a)	$2,0 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,2$	(c)
<b>Julho</b>	1,4	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Agosto</b>	3,7	$6 \pm 2$	(b)	(b)	(b)	$0,15 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,02$	(c)
<b>Setembro</b>	11,3	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Outubro</b>	52,6	(a)	(a)	(a)	(a)	$0,6 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,2$	(c)
<b>Novembro</b>	76,1	(a)	$10 \pm 5$	(a)	(a)	$0,9 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,2$	(c)
<b>Dezembro</b>	248,9	(a)	$266 \pm 22$	$0,4 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,5$	(a)	(c)

(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>);

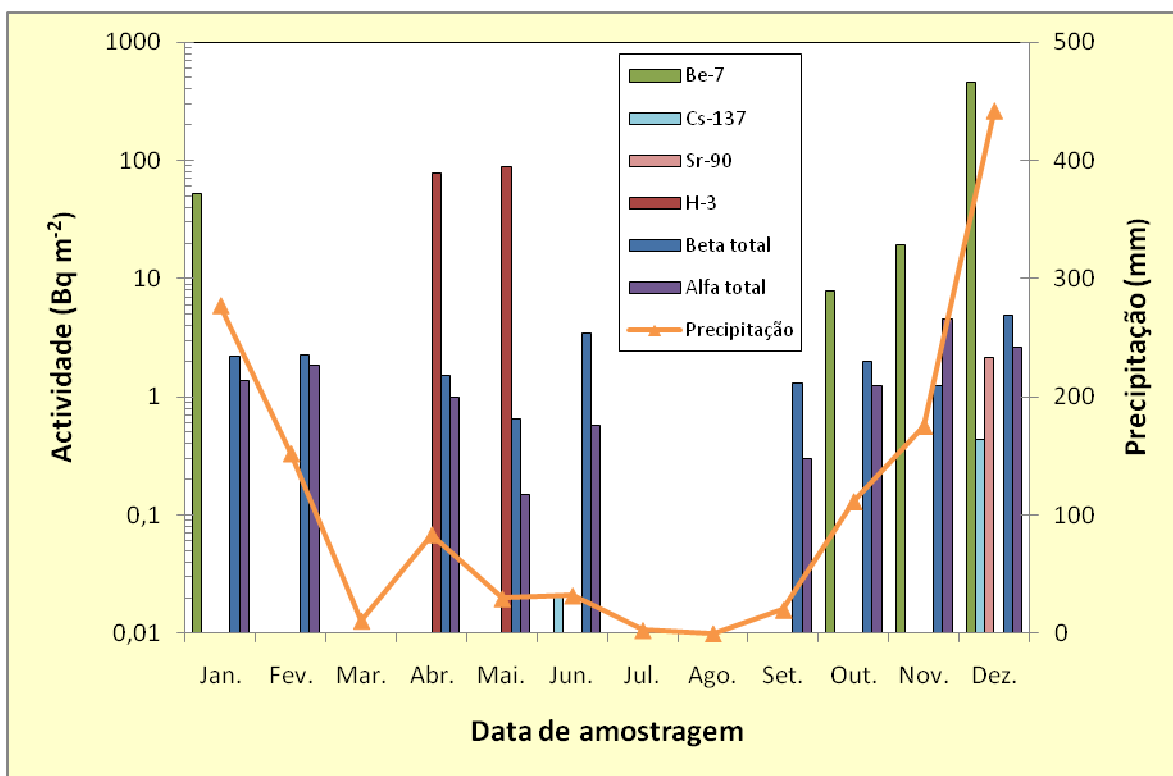


Figura I.6 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em <sup>7</sup>Be, <sup>3</sup>H, <sup>90</sup>Sr, actividade beta total e actividade alfa total em Sacavém (Campus do ITN)

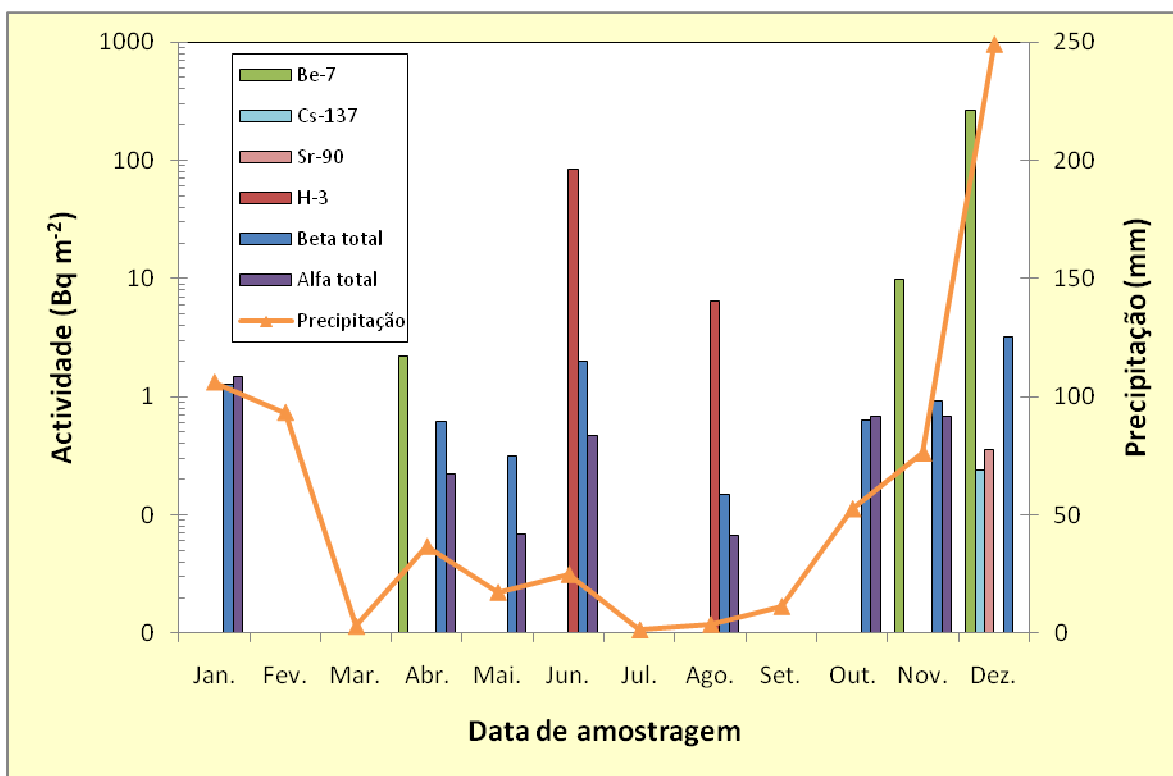


Figura I.7 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em <sup>7</sup>Be, <sup>3</sup>H, <sup>90</sup>Sr, actividade beta total e actividade alfa total em Castelo Branco (estação meteorológica)

## **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  $^{226}\text{Ra}$ , o  $^{222}\text{Rn}$  e descendentes, o  $^3\text{H}$  (sendo o  $^3\text{H}$  normalmente de origem antropogénica) e ainda os radionuclidos artificiais  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$ . 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.

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 Zezêre (Barragem de Castelo de Bode) a amostragem foi mensal. Nos rios Douro (Barca d’Alva), Mondego (Barragem da Aguieira) 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  $^{40}\text{K}$ , 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  $^{40}\text{K}$ , permitiu calcular a actividade beta residual (Gomes *et al.*, 2005).

Nas amostras de água, efectuaram-se ainda as determinações de actividade em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ , 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  $110^\circ\text{C}$ , 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  $110^\circ\text{C}$  e incinerado a  $450^\circ\text{C}$ , sendo determinado previamente o peso fresco e posteriormente 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 os valores médios anuais, no rio Tejo, para a actividade beta total na água (matéria dissolvida) são  $0,245 \pm 0,056 \text{ Bq L}^{-1}$  em Vila Velha de Ródão (Tabela I.7a) e  $0,192 \pm 0,045 \text{ Bq L}^{-1}$  em Valada (Tabela I.8a). Os valores obtidos são relativamente constantes durante o ano e ao longo do rio. A actividade beta residual em solução apresenta valores médios anuais de  $0,109 \pm 0,050 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $0,084 \pm 0,028 \text{ Bq L}^{-1}$  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; Madruga *et al.*, 2008 & 2009d) e dos valores observados em águas de superfície colhidas em rios espanhóis (Heredia *et al.*, 2009).

Deve referir-se que, com excepção dos valores medidos de actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$  em Valada nos meses de Abril ( $1,13\pm 0,44 \text{ mBq L}^{-1}$ ) e Fevereiro ( $1,06\pm 0,41 \text{ mBq L}^{-1}$ ) os outros valores são inferiores à actividade mínima detectável. Para o  $^{90}\text{Sr}$  os valores médios anuais obtidos são da mesma ordem de grandeza, isto é, inferiores a  $0,99 \text{ mBq L}^{-1}$  e  $1,38 \text{ mBq L}^{-1}$  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.9, I.9a, I.10 e I.10a) 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.*, 2007, 2008, 2009a & 2009d).

Os valores de actividade específica anual,  $A$ , em  $^3\text{H}$  no rio Tejo são  $13,8\pm 5,5 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $9,1\pm 3,5 \text{ Bq L}^{-1}$  em V. Velha de Ródão e Valada respectivamente (Tabelas I.7 e I.8). Na Barragem de Fratel, os valores em  $^3\text{H}$  variam entre  $7,31\pm 0,63 \text{ Bq L}^{-1}$  (Fevereiro) e  $18,77\pm 0,79 \text{ Bq L}^{-1}$  (Novembro) (Tabela I.9) e na Barragem de Belver entre  $8,83\pm 0,63 \text{ Bq L}^{-1}$  (Fevereiro) e  $17,84\pm 0,88 \text{ Bq L}^{-1}$  (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 para a matéria dissolvida ( $0,054\pm 0,019 \text{ Bq L}^{-1}$ ) é cerca de cinco vezes inferior ao valor observado para o rio Tejo (Tabelas I.7 e I.8). Este resultado está relacionado com a concentração dos radionuclidos em solução, como p.ex. o  $^{40}\text{K}$ , que, no caso do rio Zêzere, é também inferior ao valor observado para o rio Tejo (Tabelas I.7a e I.8a) (Gomes *et al.*, 2005; Rodrigues *et al.*, 2007). Os valores quantificáveis de actividade beta residual variam entre  $0,019\pm 0,010 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $0,069\pm 0,010 \text{ Bq L}^{-1}$  (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  $0,017 \text{ Bq L}^{-1}$ . Verifica-se que os valores obtidos para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  (Tabela I.11a) são da mesma ordem de grandeza dos observados no rio Tejo, com valores inferiores a  $0,57 \text{ mBq L}^{-1}$  e  $2,14 \text{ mBq L}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  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  $^3\text{H}$  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  $^3\text{H}$  no rio Tejo aumenta gradualmente ao longo do primeiro semestre do ano com um valor máximo no mês de Agosto em V. Velha de Ródão e Valada. Este comportamento é semelhante ao observado em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2007, 2008, 2009b & 2009d) onde é notória a variação de concentração de actividade em  $^3\text{H}$  ao longo dos meses principalmente em Vila Velha de Ródão. Esta variação deve estar 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  $^3\text{H}$  variam entre  $5,59 \pm 0,64 \text{ Bq L}^{-1}$  (valor medido no mês de Novembro) e o valor da actividade mínima detectável ( $0,8 \text{ Bq L}^{-1}$ ) sendo inferiores, cerca de uma ordem de grandeza, 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,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  são da mesma ordem de grandeza dos observados para o rio Tejo. Os valores de concentração de actividade em  $^3\text{H}$  são 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 afluyente 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 afluyente $m^3 s^{-1}$
16/01/2009	11h00	179,1
19/02/2009	12h00	434,7
18/03/2009	12h00	0
16/04/2009	12h00	683,8
15/05/2009	16h00	54,9
24/06/2009	12h00	178,0
23/07/2009	12h00	318,6
13/08/2009	13h00	228,4
30/09/2009	12h00	0
20/10/2009	14h00	17,9
12/11/2009	12h00	0
17/12/2009	13h00	0,9

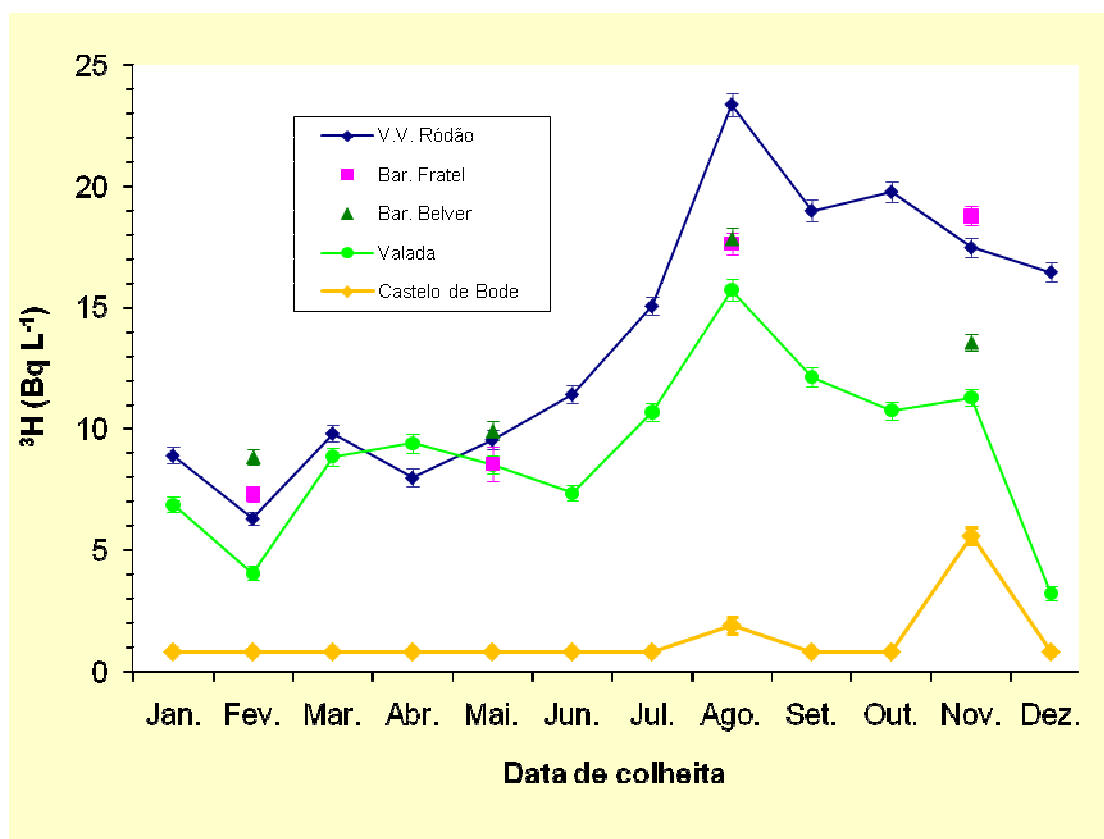


Figura I.8- Variação da concentração de actividade em  $^3H$  (Bq L<sup>-1</sup>) nos rios Tejo e Zêzere

**Tabela I.7 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), em  $^3H$  e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Tejo (V. Velha de Ródão)**

Data de colheita	$^3H$	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu m$	
		Concentração $mg L^{-1}$	Beta total
<b>Janeiro</b>	$8,90 \pm 0,67$	$1,8 \pm 0,1$	< 0,014 (a)
<b>Fevereiro</b>	$6,30 \pm 0,51$	$5,2 \pm 0,1$	(b)
<b>Março</b>	$9,81 \pm 0,73$	$2,9 \pm 0,1$	(b)
<b>Abril</b>	$7,98 \pm 0,74$	$0,2 \pm 0,1$	(b)
<b>Maió</b>	$9,55 \pm 0,77$	$0,6 \pm 0,1$	(b)
<b>Junho</b>	$11,42 \pm 0,71$	$1,7 \pm 0,1$	(b)
<b>Julho</b>	$15,06 \pm 0,74$	$2,1 \pm 0,1$	(b)
<b>Agosto</b>	$23,37 \pm 0,93$	$2,5 \pm 0,1$	(b)
<b>Setembro</b>	$18,99 \pm 0,88$	$9,7 \pm 0,1$	(b)
<b>Outubro</b>	$19,77 \pm 0,82$	$3,3 \pm 0,1$	(b)
<b>Novembro</b>	$17,47 \pm 0,77$	$11,3 \pm 0,1$	(b)
<b>Dezembro</b>	$16,46 \pm 0,77$	$3,3 \pm 0,1$	(b)
<b>Média <math>\pm \sigma</math></b>	<b><math>13,8 \pm 5,5</math> (n=12)</b>	<b><math>3,7 \pm 3,4</math> (n=12)</b>	-

Actividade mínima detectável na actividade beta total (a); Amostra perdida durante a análise (b);

**Tabela I.7a - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), em  $^{137}Cs$ ,  $^{90}Sr$ ,  $^3H$ ,  $^{40}K$ , 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
<b>Janeiro</b>	450,6 ± 0,1	4,96 ± 0,37	<0,86x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,08 ± 0,53)x10 <sup>-3</sup>	0,197 ± 0,013	0,137 ± 0,010	0,060 ± 0,017
<b>Fevereiro</b>	308,6 ± 0,1	3,95 ± 0,35	<0,71x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,12x10 <sup>-3</sup> (b)	0,198 ± 0,029	0,109 ± 0,010	0,089 ± 0,031
<b>Março</b>	622,8 ± 0,1	5,86 ± 0,39	<0,76x10 <sup>-3</sup> (a)	<0,56x10 <sup>-3</sup> (b)	0,345 ± 0,057	0,162 ± 0,010	0,183 ± 0,058
<b>Abril</b>	478,1 ± 0,1	4,93 ± 0,37	<0,56x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,08x10 <sup>-3</sup> (b)	0,181 ± 0,039	0,136 ± 0,010	0,044 ± 0,040
<b>Maiο</b>	524,3 ± 0,1	4,83 ± 0,36	<0,53x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,30x10 <sup>-3</sup> (b)	0,326 ± 0,050	0,133 ± 0,010	0,192 ± 0,051
<b>Junho</b>	337,9 ± 0,1	4,77 ± 0,23	<0,64x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,15x10 <sup>-3</sup> (b)	0,165 ± 0,029	0,132 ± 0,006	0,033 ± 0,030
<b>Julho</b>	632,0 ± 0,1	4,73 ± 0,23	(c)	(c)	0,230 ± 0,048	0,130 ± 0,006	0,099 ± 0,048
<b>Agosto</b>	693,1 ± 0,1	5,12 ± 0,23	<0,53x10 <sup>-3</sup> (a)	<0,85x10 <sup>-3</sup> (b)	0,247 ± 0,055	0,141 ± 0,006	0,105 ± 0,055
<b>Setembro</b>	667,6 ± 0,1	4,98 ± 0,23	<0,57x10 <sup>-3</sup> (a)	<0,71x10 <sup>-3</sup> (b)	0,297 ± 0,055	0,137 ± 0,006	0,159 ± 0,055
<b>Outubro</b>	667,6 ± 0,1	4,53 ± 0,22	<1,19x10 <sup>-3</sup> (a)	<0,83x10 <sup>-3</sup> (b)	0,242 ± 0,052	0,125 ± 0,006	0,117 ± 0,052
<b>Novembro</b>	739,4 ± 0,1	4,86 ± 0,23	<0,52x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,37x10 <sup>-3</sup> (b)	0,250 ± 0,056	0,134 ± 0,006	0,115 ± 0,056
<b>Dezembro</b>	706,0 ± 0,1	5,23 ± 0,23	<0,79x10 <sup>-3</sup> (a)	<0,80x10 <sup>-3</sup> (b)	0,257 ± 0,054	0,144 ± 0,006	0,112 ± 0,054
<b>Média ± σ</b>	<b>569,0 ± 146,2 (n=12)</b>	<b>4,9 ± 0,4 (n=12)</b>	<b>&lt; 0,70x10<sup>-3</sup> (n=11)</b>	<b>&lt;0,99x10<sup>-3</sup> (n=11)</b>	<b>0,245 ± 0,056 (n=12)</b>	<b>0,135 ± 0,012 (n=12)</b>	<b>0,109 ± 0,050 (n=12)</b>

Actividade mínima detectável em  $^{137}Cs$  (a) e  $^{90}Sr$  (b); amostra perdida durante a análise (c);

**Tabela I.8 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), em  $^3H$  e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Tejo (Valada do Ribatejo)**

Data de colheita	$^3H$	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu m$	
		Concentração $mg L^{-1}$	Beta total
<b>Janeiro</b>	$6,86 \pm 0,62$	$5,3 \pm 0,1$	$0,015 \pm 0,003$
<b>Fevereiro</b>	$4,04 \pm 0,58$	$5,9 \pm 0,1$	(a)
<b>Março</b>	$8,86 \pm 0,74$	$28,6 \pm 0,1$	(a)
<b>Abril</b>	$9,41 \pm 0,76$	$2,2 \pm 0,1$	(a)
<b>Mai</b>	$8,50 \pm 0,75$	$16,5 \pm 0,1$	(a)
<b>Junho</b>	$7,34 \pm 0,63$	$19,3 \pm 0,1$	(a)
<b>Julho</b>	$10,69 \pm 0,70$	$5,7 \pm 0,1$	(a)
<b>Agosto</b>	$15,73 \pm 0,89$	$4,6 \pm 0,1$	(a)
<b>Setembro</b>	$12,13 \pm 0,82$	$1,6 \pm 0,1$	(a)
<b>Outubro</b>	$10,75 \pm 0,72$	$4,9 \pm 0,1$	(a)
<b>Novembro</b>	$11,28 \pm 0,69$	$12,0 \pm 0,1$	(a)
<b>Dezembro</b>	$3,22 \pm 0,61$	$3,7 \pm 0,1$	(a)
<b>Média <math>\pm \sigma</math></b>	$9,1 \pm 3,5$ (n=12)	$9,2 \pm 8,3$ (n=12)	-

Actividade mínima detectável na actividade beta total (a)

**Tabela I.8a - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  (k=2), (Bq L<sup>-1</sup>), em <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>40</sup>K, 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 <sup>-1</sup>	Concentração em K <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	<sup>40</sup> K	Beta residual
<b>Janeiro</b>	396,6 ± 0,1	4,17 ± 0,35	<0,75x10 <sup>-3</sup> (a)	(2,60 ± 0,50)x10 <sup>-3</sup>	0,175 ± 0,012	0,115 ± 0,010	0,060 ± 0,015
<b>Fevereiro</b>	281,7 ± 0,1	3,04 ± 0,34	<0,86x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,11 ± 0,62)x10 <sup>-3</sup>	0,154 ± 0,025	0,084 ± 0,009	0,070 ± 0,027
<b>Março</b>	248,0 ± 0,1	3,66 ± 0,34	<0,72x10 <sup>-3</sup> (a)	(2,55 ± 0,89)x10 <sup>-3</sup>	0,151 ± 0,023	0,101 ± 0,010	0,050 ± 0,025
<b>Abril</b>	518,0 ± 0,1	5,09 ± 0,37	(1,13 ± 0,44) x10 <sup>-3</sup>	<1,37x10 <sup>-3</sup> (b)	0,260 ± 0,046	0,141 ± 0,010	0,119 ± 0,047
<b>Maió</b>	539,8 ± 0,1	4,68 ± 0,36	<0,54x10 <sup>-3</sup> (a)	<0,66x10 <sup>-3</sup> (b)	0,260 ± 0,046	0,129 ± 0,010	0,130 ± 0,047
<b>Junho</b>	476,5 ± 0,1	3,82 ± 0,22	<0,58x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,06x10 <sup>-3</sup> (b)	0,220 ± 0,039	0,105 ± 0,006	0,114 ± 0,039
<b>Julho</b>	686,2 ± 0,1	4,45 ± 0,22	<0,44x10 <sup>-3</sup> (a)	<0,99x10 <sup>-3</sup> (b)	0,223 ± 0,053	0,123 ± 0,006	0,100 ± 0,053
<b>Agosto</b>	557,5 ± 0,1	4,38 ± 0,22	<0,52x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,16x10 <sup>-3</sup> (b)	0,222 ± 0,045	0,121 ± 0,006	0,101 ± 0,045
<b>Setembro</b>	485,3 ± 0,1	4,26 ± 0,22	(c)	(c)	0,198 ± 0,038	0,117 ± 0,006	0,080 ± 0,038
<b>Outubro</b>	431,5 ± 0,1	3,50 ± 0,22	<0,56x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,27 ± 0,72)x10 <sup>-3</sup>	0,172 ± 0,036	0,096 ± 0,006	0,075 ± 0,037
<b>Novembro</b>	498,1 ± 0,1	3,49 ± 0,22	(1,06 ± 0,41)x10 <sup>-3</sup>	(0,95 ± 0,50)x10 <sup>-3</sup>	0,159 ± 0,038	0,096 ± 0,006	0,062 ± 0,038
<b>Dezembro</b>	327,7 ± 0,1	2,74 ± 0,22	<0,54x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,42 ± 0,52)x10 <sup>-3</sup>	0,119 ± 0,026	0,076 ± 0,006	0,043 ± 0,027
<b>Média ± σ (n=12)</b>	<b>453,9 ± 124,8 (n=12)</b>	<b>3,94 ± 0,69 (n=12)</b>	<b>&lt;0,70x10<sup>-3</sup> (n=11)</b>	<b>&lt;1,38x10<sup>-3</sup> (n=11)</b>	<b>0,192 ± 0,045 (n=12)</b>	<b>0,109 ± 0,019 (n=12)</b>	<b>0,084 ± 0,028 (n=12)</b>

Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs (a) e <sup>90</sup>Sr (b); amostra perdida durante a análise (c).

**Tabela I.9 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), em  $^3H$  e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Tejo (Barragem de Fratel)**

Data de colheita	$^3H$	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu m$	
		Concentração $mg L^{-1}$	Beta total
<b>Fevereiro</b>	$7,31 \pm 0,63$	$3,8 \pm 0,1$	(a)
<b>Mai</b>	$8,6 \pm 1,4$	$1,8 \pm 0,1$	(a)
<b>Agosto</b>	$17,61 \pm 0,87$	$2,6 \pm 0,1$	(a)
<b>Novembro</b>	$18,77 \pm 0,79$	$3,7 \pm 0,1$	(a)

**Tabela I.10 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), em  $^3H$  e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Tejo (Barragem de Belver)**

Data de colheita	$^3H$	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu m$	
		Concentração $mg L^{-1}$	Beta total
<b>Fevereiro</b>	$8,83 \pm 0,63$	$3,4 \pm 0,1$	(a)
<b>Mai</b>	$9,91 \pm 0,76$	$2,2 \pm 0,1$	(a)
<b>Agosto</b>	$17,84 \pm 0,88$	$4,0 \pm 0,1$	(a)
<b>Novembro</b>	$13,75 \pm 0,72$	$3,5 \pm 0,1$	(a)

Amostrs perdida durante a análise (a);



**Tabela I.9a - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  (k=2), (Bq L<sup>-1</sup>), em <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>40</sup>K, 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 <sup>-1</sup>	Concentração em K <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>					
			<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	<sup>40</sup> K	Beta residual
<b>Fevereiro</b>	406,0 ± 0,1	3,94 ± 0,35	<0,76x10 <sup>-3</sup> (a)	(2,58 ± 0,74)x10 <sup>-3</sup>	0,202 ± 0,030	0,109 ± 0,010	0,093 ± 0,032
<b>Mai</b>	570,7 ± 0,1	4,84 ± 0,36	<0,58x10 <sup>-3</sup> (a)	(2,99 ± 0,61)x10 <sup>-3</sup>	0,191 ± 0,043	0,134 ± 0,010	0,057 ± 0,044
<b>Agosto</b>	649,7 ± 0,1	3,94 ± 0,22	<0,56x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,30x10 <sup>-3</sup> (b)	0,295 ± 0,053	0,109 ± 0,006	0,186 ± 0,053
<b>Novembro</b>	777,9 ± 0,1	5,22 ± 0,23	<0,57x10 <sup>-3</sup> (a)	(2,50 ± 0,81)x10 <sup>-3</sup>	0,265 ± 0,059	0,144 ± 0,006	0,120 ± 0,059

**Tabela I.10a - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  (k=2), (Bq L<sup>-1</sup>), em <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>40</sup>K, 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 <sup>-1</sup>	Concentração em K <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>					
			<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	<sup>40</sup> K	Beta residual
<b>Fevereiro</b>	320,1 ± 0,1	4,23 ± 0,35	<0,92x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,48x10 <sup>-3</sup> (b)	0,215 ± 0,031	0,117 ± 0,010	0,098 ± 0,032
<b>Mai</b>	542,8 ± 0,1	4,85 ± 0,37	<0,43x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,12 ± 0,53)x10 <sup>-3</sup>	0,270 ± 0,047	0,134 ± 0,010	0,136 ± 0,048
<b>Agosto</b>	696,1 ± 0,1	4,81 ± 0,23	<0,58x10 <sup>-3</sup> (a)	(0,83 ± 0,45)x10 <sup>-3</sup>	0,257 ± 0,054	0,133 ± 0,006	0,124 ± 0,054
<b>Novembro</b>	261,5 ± 0,1	1,95 ± 0,22	(0,55 ± 0,27)x10 <sup>-3</sup>	(1,06 ± 0,46)x10 <sup>-3</sup>	0,098 ± 0,021	0,054 ± 0,006	0,044 ± 0,022

Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs (a) e <sup>90</sup>Sr (b);

**Tabela I.11 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), em  $^3H$  e actividade beta total em água de superfície colhida no rio Zêzere (Barragem de Castelo de Bode)**

Data de colheita	$^3H$	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu m$	
		Concentração $mg L^{-1}$	Beta total
<b>Janeiro</b>	< 0,80 (a)	$0,3 \pm 0,1$	< 0,014 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 0,80 (a)	$2,0 \pm 0,1$	(c)
<b>Março</b>	< 0,80 (a)	$3,0 \pm 0,1$	(c)
<b>Abril</b>	< 0,80 (a)	$1,3 \pm 0,1$	(c)
<b>Maió</b>	< 0,80 (a)	(b)	(c)
<b>Junho</b>	< 0,80 (a)	$1,1 \pm 0,1$	(c)
<b>Julho</b>	< 0,80 (a)	$1,7 \pm 0,1$	(c)
<b>Agosto</b>	$1,90 \pm 0,67$	$6,4 \pm 0,1$	(c)
<b>Setembro</b>	< 0,80 (a)	$4,4 \pm 0,1$	(c)
<b>Outubro</b>	< 0,80 (a)	$4,2 \pm 0,1$	(c)
<b>Novembro</b>	$5,59 \pm 0,64$	$1,6 \pm 0,1$	(c)
<b>Dezembro</b>	< 0,80 (a)	$1,0 \pm 0,1$	(c)
<b>Média <math>\pm \sigma</math></b>	< 1,3 (n=12)	$2,5 \pm 1,8$ (n=11)	-

Actividade mínima detectável em  $^3H$  (a); não se obteve resíduo (b); amostra perdida durante a análise (c)

Tabela I.11a - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), em  $^{137}Cs$ ,  $^{90}Sr$ ,  $^{40}K$ , 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	$58,0 \pm 0,1$	$0,87 \pm 0,36$	$<0,71 \times 10^{-3}$ (b)	$(5,0 \pm 1,1) \times 10^{-3}$	$0,008 \pm 0,002$	$0,043 \pm 0,002$	$0,024 \pm 0,010$	$0,019 \pm 0,010$
Fevereiro	$165,0 \pm 0,1$	$0,87 \pm 0,36$	$(0,63 \pm 0,38) \times 10^{-3}$	$<0,96 \times 10^{-3}$ (c)	$<0,020$ (d)	$0,093 \pm 0,016$	$0,024 \pm 0,010$	$0,069 \pm 0,019$
Março	$68,7 \pm 0,1$	$1,07 \pm 0,36$	$<0,59 \times 10^{-3}$ (b)	$(1,90 \pm 0,76) \times 10^{-3}$	$0,010 \pm 0,008$	$0,039 \pm 0,009$	$0,030 \pm 0,010$	(f)
Abril	$96,8 \pm 0,1$	$0,77 \pm 0,36$	$<0,42 \times 10^{-3}$ (b)	$(2,92 \pm 0,77) \times 10^{-3}$	$0,095 \pm 0,021$	$0,075 \pm 0,011$	$0,021 \pm 0,010$	$0,054 \pm 0,015$
Mai	$61,5 \pm 0,1$	$0,42 \pm 0,37$	$<0,57 \times 10^{-3}$ (b)	$<2,1 \times 10^{-3}$ (c)	$0,008 \pm 0,006$	$0,037 \pm 0,006$	$0,012 \pm 0,010$	$0,025 \pm 0,012$
Junho	$57,6 \pm 0,1$	$<1,00$ (a)	$<0,63 \times 10^{-3}$ (b)	$(2,3 \pm 1,0) \times 10^{-3}$	$<0,007$ (d)	$0,045 \pm 0,007$	(e)	(f)
Julho	$56,1 \pm 0,1$	$<1,00$ (a)	$<0,53 \times 10^{-3}$ (b)	$<1,43 \times 10^{-3}$ (c)	$<0,009$ (d)	$0,057 \pm 0,009$	(e)	(f)
Agosto	$66,4 \pm 0,1$	$<1,00$ (a)	$<0,57 \times 10^{-3}$ (b)	$(2,09 \pm 0,63) \times 10^{-3}$	$0,009 \pm 0,007$	$0,067 \pm 0,008$	(e)	(f)
Setembro	$63,5 \pm 0,1$	$<1,00$ (a)	$<0,42 \times 10^{-3}$ (b)	$(1,51 \pm 0,64) \times 10^{-3}$	$0,011 \pm 0,007$	$0,070 \pm 0,009$	(e)	(f)
Outubro	$52,7 \pm 0,1$	$<1,00$ (a)	$(0,53 \pm 0,32) \times 10^{-3}$	$(1,13 \pm 0,67) \times 10^{-3}$	$0,008 \pm 0,005$	$0,036 \pm 0,006$	(e)	(f)
Novembro	$53,3 \pm 0,1$	$<1,00$ (a)	$<0,55 \times 10^{-3}$ (b)	$<2,0 \times 10^{-3}$ (c)	$<0,007$ (d)	$0,043 \pm 0,006$	(e)	(f)
Dezembro	$54,2 \pm 0,1$	$<1,00$ (a)	$<0,64 \times 10^{-3}$ (b)	$(2,35 \pm 0,78) \times 10^{-3}$	$<0,007$ (d)	$0,038 \pm 0,006$	(e)	(f)
Média $\pm \sigma$	$71,1 \pm 31,9$ (n=12)	$< 0,85$ (n=12)	$<0,57 \times 10^{-3}$ (n=12)	$<2,14 \times 10^{-3}$ (n=12)	$< 0,017$ (n=12)	$0,054 \pm 0,019$ (n=12)	$0,022 \pm 0,007$ (n=5)	$0,042 \pm 0,024$ (n=4)

Limite de quantificação (a); Actividade mínima detectável em  $^{137}Cs$  (b);  $^{90}Sr$  (c) e actividade alfa total (d); não foi possível determinar porque a concentração em  $K^+$  é inferior ao limite de quantificação (e); não se reporta o valor porque a incerteza associada é superior a 100% (f);

**Tabela I.12 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), 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	$^3H$	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu m$	
		Concentração $mg L^{-1}$	Beta total
<b>Rio Guadiana</b> (Barragem de Alqueva)	< 0,80 (a)	$1,1 \pm 0,1$	(b)
<b>Rio Mondego</b> (Barragem da Aguieira)	< 0,80 (a)	$8,1 \pm 0,1$	(b)
<b>Rio Douro</b> (Barragem do Pocinho)	< 0,80 (a)	$2,9 \pm 0,1$	(b)

Actividade mínima detectável em  $^3H$  (a); amostra perdida durante a análise (b);

**Tabela I.12a - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  (k=2), (Bq L<sup>-1</sup>), em <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>40</sup>K, 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 <sup>-1</sup>	Concentração em K <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	<sup>40</sup> K	Beta residual
<b>Rio Guadiana</b> (Barragem de Alqueva)	350,5 ± 0,1	5,89 ± 0,39	<0,51x10 <sup>-3</sup> (a)	(5,62 ± 0,98)x10 <sup>-3</sup>	0,294 ± 0,037	0,163 ± 0,011	0,131 ± 0,039
<b>Rio Mondego</b> (Barragem da Aguieira)	66,0 ± 0,1	1,99 ± 0,22	(0,82 ± 0,40)x10 <sup>-3</sup>	(2,93 ± 0,82)x10 <sup>-3</sup>	0,060 ± 0,011	0,055 ± 0,006	(c)
<b>Rio Douro</b> (Barragem do Pocinho)	250,8 ± 0,1	2,95 ± 0,22	<0,53 x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,01x10 <sup>-3</sup> (b)	0,104 ± 0,021	0,081 ± 0,006	(c)

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

### Sedimentos

Nas Tabelas I.13 a I.24 estão expressos os valores de actividade específica,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), 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  $^{232}\text{Th}$  (medida através do  $^{228}\text{Ra}$  e descendentes) e do  $^{238}\text{U}$  (medida através do  $^{226}\text{Ra}$  e descendentes) apresenta valores com um elevado desvio padrão principalmente para a fracção silte/argila, devido às variações mensais. Em geral, os valores das concentrações dos radionuclidos aumentam à medida que a fracção granulométrica diminui, uma vez que estes elementos estão normalmente associados à fracção granulométrica mais fina (silte/argila). Assim, em V. Velha de Ródão os valores médios anuais para o  $^{228}\text{Ra}$  foram de:  $69,6 \pm 13,4 \text{ Bq kg}^{-1}$  para o sedimento total,  $197,2 \pm 53,3 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a fracção areia e  $374 \pm 176 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a fracção silte/argila. O mesmo comportamento foi observado para os outros radionuclidos com excepção para o  $^{40}\text{K}$ . Relativamente a Valada os valores das concentrações de actividade em  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  são ligeiramente inferiores aos observados em V. Velha de Ródão. O  $^{235}\text{U}$  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  $^{137}\text{Cs}$  são da mesma ordem de grandeza em V. Velha de Ródão e Valada. Para o  $^7\text{Be}$ , os valores situam-se abaixo dos valores de actividade mínima detectável. Os valores em  $^{40}\text{K}$  são relativamente constantes com valores médios anuais de  $866 \pm 43 \text{ Bq kg}^{-1}$  para o sedimento total,  $767 \pm 85 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a fracção areia e  $755 \pm 83 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a fracção silte/argila em V. Velha de Ródão.

Os valores das concentrações de actividade em  $^{235}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  e  $^7\text{Be}$  medidos em 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, com excepção da amostra colhida no mês de Dezembro na Barragem de Belver.

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  $^{228}\text{Ra}$  e o  $^{226}\text{Ra}$  descendentes das séries radioactivas do  $^{232}\text{Th}$  e  $^{238}\text{U}$  respectivamente, os valores mais elevados obtidos para o  $^{228}\text{Ra}$ , podem estar relacionados com o menor grau de solubilidade e consequentemente menor mobilidade geoquímica do  $^{232}\text{Th}$  em relação ao  $^{238}\text{U}$ . 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  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  para a fracção silte/argila. Contrariamente, observa-se principalmente em Vila Velha de Ródão, uma ligeira tendência para o decréscimo da concentração de actividade em  $^{40}\text{K}$  para o sedimento mais fino. Este decréscimo está relacionado com a teor mais elevado em minerais de argila da fracção mais fina (silte/argila) em comparação com as outras fracções e, conseqüentemente menor quantidade em feldspastos, minerais ricos em potássio. Este mesmo comportamento foi observado em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2008, 2009a & 2009d).

Nas Tabelas I.25 a I.27 estão expressos os valores de actividade específica,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), 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 e Guadiana. Pode observar-se uma tendência para o aumento da concentração de actividade em  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{137}\text{Cs}$  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 e Guadiana são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2008, 2009a & 2009d).

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Janeiro</b>	< 2,6 (a)	80,8 ± 2,3	43,4 ± 1,4	1,51 ± 0,22	963 ± 50	< 6,2 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 2,7 (a)	63,7 ± 1,7	37,8 ± 1,2	1,45 ± 0,23	842 ± 38	< 6,6 (a)
<b>Março</b>	< 3,7 (a)	94,5 ± 2,5	50,0 ± 1,4	1,70 ± 0,26	822 ± 42	< 13 (a)
<b>Abril</b>	< 4,2 (a)	58,0 ± 1,7	34,4 ± 1,1	1,40 ± 0,23	912 ± 43	< 7,7 (a)
<b>Maio</b>	< 3,8 (a)	72,1 ± 2,0	42,4 ± 1,2	0,82 ± 0,21	795 ± 37	< 7,0 (a)
<b>Junho</b>	< 3,9 (a)	59,8 ± 1,7	38,1 ± 1,1	1,74 ± 0,26	900 ± 40	< 16 (a)
<b>Julho</b>	3,7 ± 1,2	80,2 ± 2,2	47,6 ± 1,4	1,07 ± 0,23	845 ± 38	< 11 (a)
<b>Agosto</b>	< 4,2 (a)	80,2 ± 2,2	46,8 ± 1,4	< 0,47 (a)	860 ± 39	< 11 (a)
<b>Setembro</b>	< 3,6 (a)	73,5 ± 2,0	42,9 ± 1,2	1,91 ± 0,26	863 ± 39	< 10 (a)
<b>Outubro</b>	< 3,8 (a)	53,6 ± 1,6	34,7 ± 1,1	1,44 ± 0,24	839 ± 42	< 7,9 (a)
<b>Novembro</b>	< 3,4 (a)	74,0 ± 4,0	43,2 ± 2,3	1,60 ± 0,25	862 ± 39	< 9,3 (a)
<b>Dezembro</b>	< 3,3 (a)	45,0 ± 2,7	30,9 ± 1,8	1,40 ± 0,24	891 ± 40	< 7,6 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=12)</b>	<b>&lt; 3,6</b>	<b>69,6 ± 13,4</b>	<b>41,0 ± 5,6</b>	<b>&lt; 1,38</b>	<b>866 ± 43</b>	<b>&lt; 9,5</b>

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Janeiro</b>	9,2 ± 2,3	251,0 ± 4,8	125,0 ± 2,4	1,47 ± 0,35	835 ± 31	< 21 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 7,8 (a)	186,0 ± 4,2	96,5 ± 2,2	2,35 ± 0,49	764 ± 31	< 16 (a)
<b>Março</b>	< 8,8 (a)	293,0 ± 6,0	144,0 ± 3,0	1,89 ± 0,58	767 ± 32	< 22 (a)
<b>Abril</b>	< 7,6 (a)	157,0 ± 3,5	74,7 ± 2,0	1,69 ± 0,50	548 ± 46	< 22 (a)
<b>Maio</b>	< 8,1 (a)	251,0 ± 5,2	133,0 ± 3,1	< 1,26 (a)	689 ± 29	< 18 (a)
<b>Junho</b>	< 5,9 (a)	161,0 ± 4,7	84,1 ± 2,7	1,74 ± 0,44	811 ± 74	< 18 (a)
<b>Julho</b>	< 9,1 (a)	263,0 ± 5,5	132,0 ± 3,0	< 1,34 (a)	673 ± 51	< 14 (a)
<b>Agosto</b>	< 7,4 (a)	148,0 ± 3,6	79,8 ± 2,2	< 0,99 (a)	836 ± 37	< 18 (a)
<b>Setembro</b>	8,7 ± 4,5	186,0 ± 5,3	93,8 ± 3,0	2,20 ± 0,47	791 ± 72	< 24 (a)
<b>Outubro</b>	9,1 ± 5,0	132,0 ± 3,1	76,1 ± 2,0	2,22 ± 0,46	822 ± 36	< 20 (a)
<b>Novembro</b>	< 6,3 (a)	211,0 ± 8,3	114,0 ± 4,6	1,62 ± 0,41	827 ± 34	< 18 (a)
<b>Dezembro</b>	6,0 ± 3,4	128,0 ± 5,1	73,0 ± 3,3	1,69 ± 0,41	845 ± 35	< 14 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=12)</b>	<b>&lt; 7,8</b>	<b>197,2 ± 53,3</b>	<b>102,2 ± 24,9</b>	<b>&lt; 1,70</b>	<b>767 ± 85</b>	<b>&lt; 19</b>

Actividade mínima detectável (a);



**Tabela I.15 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq\ kg^{-1}$ ), 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	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Janeiro</b>	34 ± 14	761 ± 19	424 ± 12	< 5,3 (a)	752 ± 88	< 102 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 26 (a)	298 ± 10	175,0 ± 6,8	7,2 ± 1,7	841 ± 76	< 77 (a)
<b>Março</b>	< 27 (a)	285 ± 10	171,0 ± 6,9	8,0 ± 3,5	836 ± 87	< 64 (a)
<b>Abril</b>	< 19 (a)	329 ± 10	191,0 ± 6,5	4,8 (a)	821 ± 77	< 94 (a)
<b>Maió</b>	< 25 (a)	333 ± 12	212,0 ± 7,6	5,7 ± 1,9	899 ± 80	< 82 (a)
<b>Junho</b>	< 29 (a)	402 ± 14	224,0 ± 9,5	4,9 ± 2,1	702 ± 83	< 98 (a)
<b>Julho</b>	14,5 ± 6,2	199,0 ± 6,3	119,0 ± 4,5	5,2 ± 1,3	780 ± 63	< 40 (a)
<b>Agosto</b>	< 28 (a)	738 ± 21	398 ± 12	< 3,8 (a)	727 ± 64	< 94 (a)
<b>Setembro</b>	19,1 ± 9,9	276 ± 10	173,0 ± 7,1	7,5 ± 2,9	778 ± 75	< 80 (a)
<b>Outubro</b>	< 13 (a)	235 ± 11	183,0 ± 8,4	4,2 ± 1,2	614 ± 53	< 48 (a)
<b>Novembro</b>	< 20 (a)	362 ± 15	256 ± 13	5,8 ± 1,7	675 ± 68	< 59 (a)
<b>Dezembro</b>	19 ± 11	274 ± 13	212 ± 13	4,9 ± 1,9	640 ± 77	< 80 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=12)</b>	<b>&lt; 23</b>	<b>374 ± 176</b>	<b>228 ± 88</b>	<b>&lt; 5,6</b>	<b>755 ± 83</b>	<b>&lt; 77</b>

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Janeiro</b>	< 2,7 (a)	40,1 ± 1,3	27,00 ± 0,89	1,14 ± 0,22	881 ± 40	< 5,9 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 2,6 (a)	20,40 ± 0,75	16,00 ± 0,59	0,51 ± 0,26	863 ± 38	< 6,1 (a)
<b>Março</b>	< 3,4 (a)	46,7 ± 1,4	29,90 ± 0,96	0,85 ± 0,21	872 ± 39	< 5,3 (a)
<b>Abril</b>	< 3,0 (a)	37,2 ± 1,1	24,30 ± 0,79	0,77 ± 0,18	857 ± 38	< 8,5 (a)
<b>Maió</b>	< 2,4 (a)	31,4 ± 1,1	22,60 ± 0,84	0,59 ± 0,18	868 ± 39	< 8,1 (a)
<b>Junho</b>	< 2,8 (a)	21,60 ± 0,80	17,40 ± 0,70	0,55 ± 0,14	892 ± 39	< 5,7 (a)
<b>Julho</b>	< 2,5 (a)	25,20 ± 0,92	19,40 ± 0,92	0,56 ± 0,18	895 ± 40	< 5,6 (a)
<b>Agosto</b>	< 2,9 (a)	29,30 ± 0,95	21,40 ± 0,79	0,98 ± 0,20	883 ± 39	< 9,2 (a)
<b>Setembro</b>	< 2,3 (a)	16,30 ± 0,66	12,10 ± 0,49	0,47 ± 0,15	841 ± 37	< 6,8 (a)
<b>Outubro</b>	< 2,8 (a)	17,90 ± 0,71	12,10 ± 0,51	< 0,44 (a)	858 ± 38	< 4,7 (a)
<b>Novembro</b>	< 3,4 (a)	32,7 ± 2,0	21,9 ± 1,3	0,68 ± 0,19	845 ± 38	< 11 (a)
<b>Dezembro</b>	< 2,3 (a)	16,3 ± 1,1	13,10 ± 0,98	< 0,37 (a)	837 ± 37	< 5,2 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=12)</b>	<b>&lt; 2,8</b>	<b>27,9 ± 9,6</b>	<b>19,8 ± 5,6</b>	<b>&lt; 0,66</b>	<b>866 ± 19</b>	<b>&lt; 7</b>

Actividade mínima detectável (a);

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Janeiro</b>	< 6,8 (a)	70,9 ± 2,1	44,3 ± 1,4	1,36 ± 0,66	823 ± 32	< 18 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 3,4 (a)	37,0 ± 1,5	24,9 ± 1,1	1,03 ± 0,51	875 ± 79	< 13 (a)
<b>Março</b>	< 5,6 (a)	104,0 ± 3,2	57,5 ± 2,0	< 0,89 (a)	845 ± 77	< 18 (a)
<b>Abril</b>	< 6,0 (a)	87,3 ± 2,8	52,0 ± 1,9	< 0,79 (a)	838 ± 76	< 18 (a)
<b>Mai</b>	< 5,3 (a)	81,8 ± 2,8	48,0 ± 1,8	< 0,85 (a)	869 ± 79	< 14 (a)
<b>Junho</b>	< 4,6 (a)	50,8 ± 1,6	30,0 ± 1,0	1,08 ± 0,33	831 ± 32	< 14 (a)
<b>Julho</b>	< 5,2 (a)	74,8 ± 2,1	45,2 ± 1,4	< 0,89 (a)	829 ± 32	< 17 (a)
<b>Agosto</b>	< 2,4 (a)	66,0 ± 2,0	38,3 ± 1,3	1,34 ± 0,25	886 ± 44	< 3,9 (a)
<b>Setembro</b>	8,0 ± 3,9	62,8 ± 1,8	40,7 ± 1,5	1,41 ± 0,37	889 ± 38	< 18 (a)
<b>Outubro</b>	< 6,8 (a)	72,8 ± 2,0	43,2 ± 1,3	< 0,82 (a)	920 ± 39	< 11 (a)
<b>Novembro</b>	5,5 ± 3,2	110,0 ± 4,0	63,9 ± 2,6	< 0,73 (a)	830 ± 32	< 14 (a)
<b>Dezembro</b>	< 3,6 (a)	69,7 ± 3,0	45,7 ± 2,7	< 0,81 (a)	875 ± 37	< 15 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=12)</b>	<b>&lt; 5,3</b>	<b>74 ± 20</b>	<b>44 ± 10</b>	<b>&lt; 1,0</b>	<b>859 ± 29</b>	<b>&lt; 14</b>

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Janeiro</b>	< 17 (a)	178,0 ± 7,1	111,0 ± 5,2	< 3,0 (a)	817 ± 70	< 86 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 20 (a)	240,0 ± 7,8	143,0 ± 5,6	< 2,5 (a)	800 ± 7,5	< 93 (a)
<b>Março</b>	< 19 (a)	159,0 ± 6,6	111,0 ± 5,5	3,7 ± 1,4	870 ± 73	< 45 (a)
<b>Abril</b>	< 25 (a)	307,0 ± 9,2	175,0 ± 6,2	< 6,5 (a)	695 ± 89	< 58 (a)
<b>Mai</b>	< 19 (a)	200,0 ± 7,5	131,0 ± 5,9	< 3,8 (a)	764 ± 78	< 60 (a)
<b>Junho</b>	< 10 (a)	178,0 ± 7,3	113,0 ± 5,1	3,1 ± 1,2	923 ± 73	< 37 (a)
<b>Julho</b>	35,5 ± 9,7	193,0 ± 7,2	120,0 ± 5,9	< 3,5 (a)	987 ± 85	< 66 (a)
<b>Agosto</b>	< 18 (a)	223,0 ± 8,0	131,0 ± 5,8	< 3,6 (a)	820 ± 82	< 35 (a)
<b>Setembro</b>	< 17 (a)	168,0 ± 6,2	102,0 ± 5,0	5,8 ± 2,3	876 ± 79	< 58 (a)
<b>Outubro</b>	< 11 (a)	158,0 ± 6,9	104,0 ± 4,9	< 3,4 (a)	948 ± 79	< 36 (a)
<b>Novembro</b>	< 23 (a)	242 ± 12	143 ± 11	< 4,2 (a)	867 ± 87	< 102 (a)
<b>Dezembro</b>	< 18 (a)	420 ± 20	232 ± 14	5,8 ± 2,3	940 ± 100	< 96 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=12)</b>	<b>&lt; 19</b>	<b>222 ± 73</b>	<b>135 ± 35</b>	<b>&lt; 4,0</b>	<b>859 ± 80</b>	<b>&lt; 64</b>

Actividade mínima detectável (a);

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Fevereiro</b>	< 4,4 (a)	98,1 $\pm$ 2,6	56,4 $\pm$ 1,6	< 0,57 (a)	649 $\pm$ 30	< 12 (a)
<b>Maio</b>	< 4,7 (a)	101,0 $\pm$ 2,7	58,2 $\pm$ 1,6	< 0,51 (a)	584 $\pm$ 41	< 10 (a)
<b>Agosto</b>	< 3,0 (a)	37,3 $\pm$ 1,2	32,1 $\pm$ 1,0	0,98 $\pm$ 0,20	788 $\pm$ 36	< 7,4 (a)
<b>Novembro</b>	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Fevereiro</b>	< 7,1 (a)	102,0 $\pm$ 2,7	62,1 $\pm$ 2,0	< 1,6 (a)	719 $\pm$ 30	< 20 (a)
<b>Maio</b>	< 4,1 (a)	102,0 $\pm$ 3,2	54,8 $\pm$ 2,0	< 0,82 (a)	668 $\pm$ 62	< 23 (a)
<b>Agosto</b>	3,2 $\pm$ 1,8	64,6 $\pm$ 1,5	49,8 $\pm$ 1,2	1,66 $\pm$ 0,27	778 $\pm$ 32	< 6,6 (a)
<b>Novembro</b>	< 2,2 (a)	45,3 $\pm$ 2,1	34,3 $\pm$ 1,4	1,49 $\pm$ 0,23	776 $\pm$ 44	< 12 (a)

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Fevereiro</b>	< 19 (a)	141,0 $\pm$ 5,3	89,2 $\pm$ 4,0	< 4,1 (a)	726 $\pm$ 66	< 73 (a)
<b>Maio</b>	< 19 (a)	158,0 $\pm$ 5,7	83,3 $\pm$ 3,2	< 2,9 (a)	658 $\pm$ 69	< 73 (a)
<b>Agosto</b>	< 22 (a)	410 $\pm$ 13	280,0 $\pm$ 1,0	< 4,4 (a)	820 $\pm$ 88	< 114 (a)
<b>Novembro</b>	17,3 $\pm$ 9,4	213 $\pm$ 11	161,2 $\pm$ 9,7	< 3,3 (a)	691 $\pm$ 72	< 51 (a)

Actividade mínima detectável (a); quantidade de amostra insuficiente para análise (b).

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

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Fevereiro</b>	< 2,5 (a)	34,0 ± 1,9	23,20 ± 0,79	2,64 ± 0,28	860 ± 39	< 9,9 (a)
<b>Mai</b>	< 3,8 (a)	24,9 ± 8,9	19,70 ± 0,66	1,43 ± 0,21	921 ± 42	< 7,0 (a)
<b>Setembro</b>	< 3,0 (a)	63,1 ± 1,7	34,0 ± 1,0	0,85 ± 0,18	809 ± 36	< 8,0 (a)
<b>Dezembro</b>	< 2,9 (a)	56,2 ± 3,4	34,0 ± 1,6	< 0,46 (a)	764 ± 34	< 8,4 (a)

**Tabela I.23 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq\ kg^{-1}$ ), 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	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Fevereiro</b>	4,2 ± 1,7	60,1 ± 2,0	42,0 ± 1,6	4,28 ± 0,48	843 ± 76	< 8,7 (a)
<b>Mai</b>	< 6,2 (a)	50,9 ± 1,7	33,6 ± 1,4	2,49 ± 0,43	850 ± 33	< 14 (a)
<b>Setembro</b>	< 4,0 (a)	188,0 ± 3,7	95,7 ± 1,9	1,72 ± 0,33	812 ± 34	< 11 (a)
<b>Dezembro</b>	< 5,2 (a)	164,0 ± 7,1	84,5 ± 3,2	< 0,82 (a)	745 ± 29	< 35 (a)

**Tabela I.24 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq\ kg^{-1}$ ), 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	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Fevereiro</b>	< 20 (a)	198,0 ± 7,3	128,0 ± 5,7	18,5 ± 2,5	1020 ± 110	< 82 (a)
<b>Mai</b>	< 19 (a)	169,0 ± 7,0	105,0 ± 4,7	8,1 ± 1,7	829 ± 72	< 65 (a)
<b>Setembro</b>	< 19 (a)	342,0 ± 9,4	194,0 ± 6,1	5,8 ± 1,7	706 ± 67	< 54 (a)
<b>Dezembro</b>	44,5 ± 6,8	1080 ± 49	658 ± 26	< 4,7 (a)	764 ± 34	< 76 (a)

Actividade mínima detectável (a);

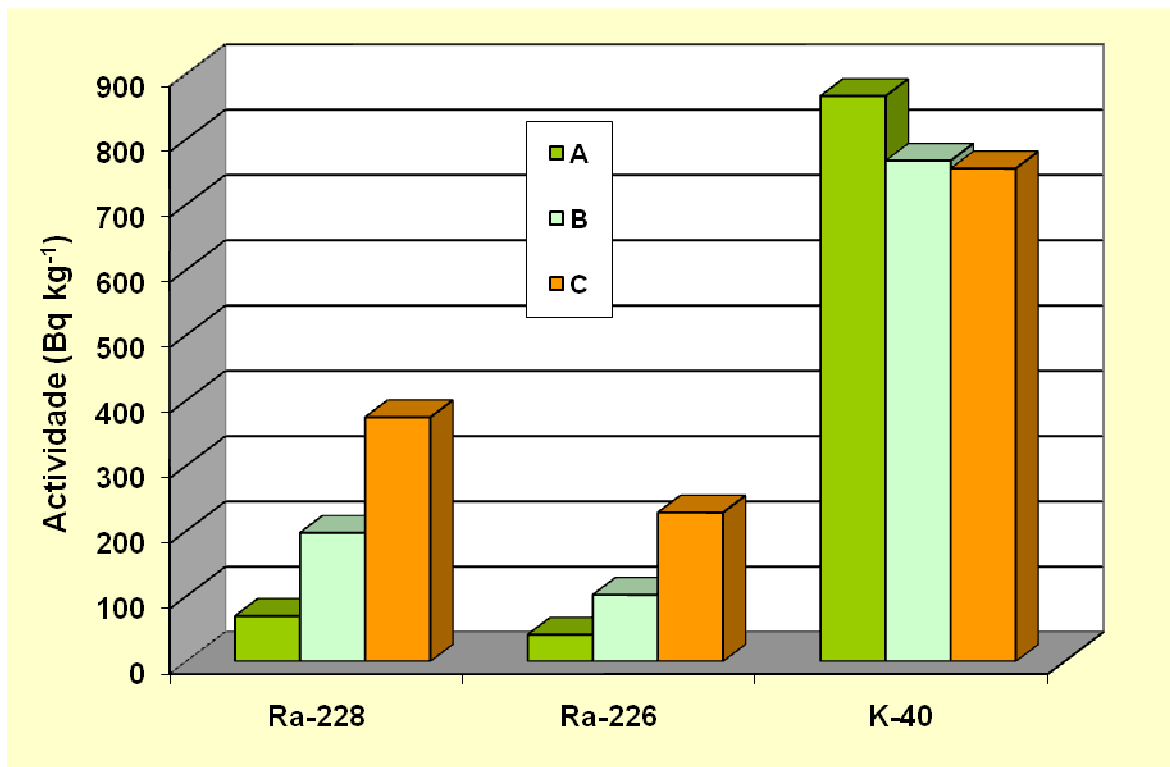


Figura I.9- Variação da actividade específica (Bq kg<sup>-1</sup>) em <sup>228</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra e <sup>40</sup>K em sedimentos colhidos no rio Tejo (Vila Velha de Ródão) para diferentes granulometrias: A ( $\varnothing < 1\text{mm}$ ), B ( $250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$ ) e C ( $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$ )

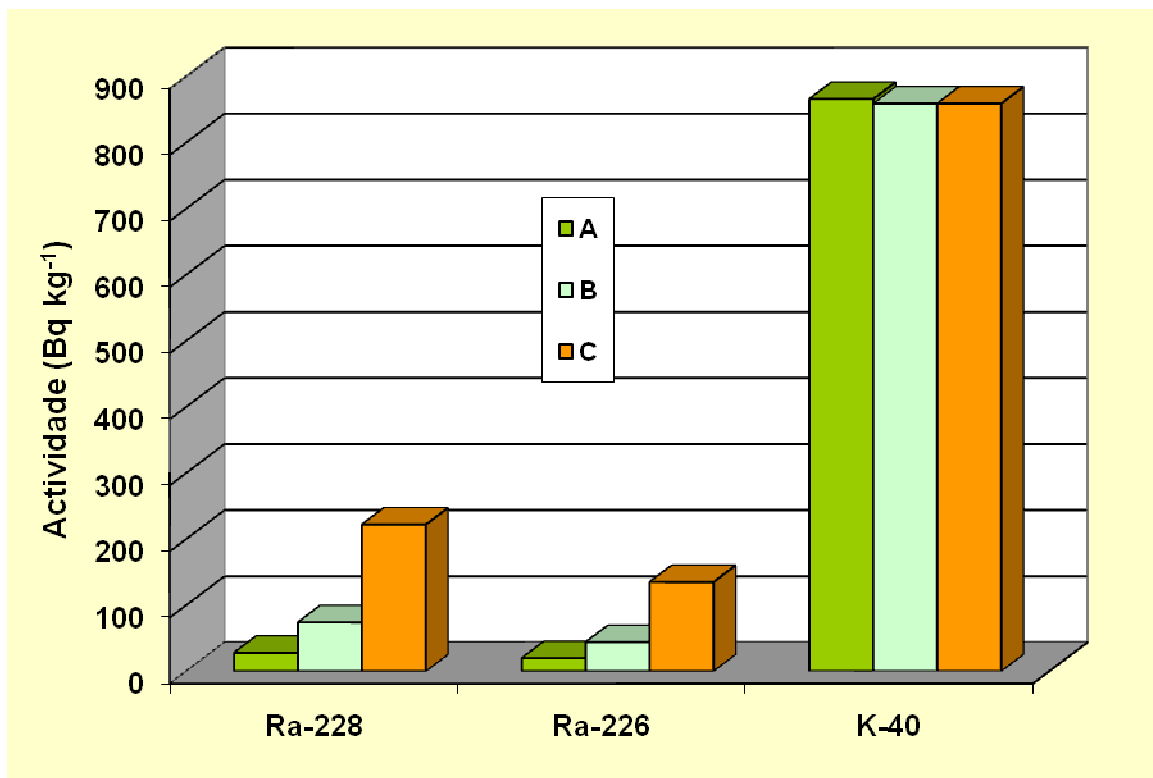


Figura I.10- Variação da actividade específica (Bq kg<sup>-1</sup>) em <sup>228</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra e <sup>40</sup>K em sedimentos colhidos no rio Tejo (Valada) para diferentes granulometrias: A ( $\varnothing < 1\text{mm}$ ), B ( $250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$ ) e C ( $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$ )

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

Data de colheita	Local de amostragem	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 2,9 (a)	$16,70 \pm 0,70$	$12,5 \pm 0,61$	< 0,36 (a)	$496 \pm 24$	< 4,3 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	< 2,6 (a)	$28,9 \pm 1,0$	$28,1 \pm 0,93$	$0,89 \pm 0,21$	$733 \pm 34$	< 5,1 (a)
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)

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

Data de colheita	Local de amostragem	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 2,8 (a)	$31,5 \pm 1,4$	$17,80 \pm 0,94$	< 0,59 (a)	$484 \pm 45$	< 11 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	$3,4 \pm 1,6$	$37,6 \pm 1,3$	$31,1 \pm 1,1$	$0,72 \pm 0,21$	$742 \pm 37$	$13,0 \pm 5,4$
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)

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

Data de colheita	Local de amostragem	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 17 (a)	$61 \pm 40$	$39,6 \pm 4,2$	< 4,1 (a)	$422 \pm 64$	< 80 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	< 22 (a)	$109,0 \pm 5,4$	$71,8 \pm 3,5$	< 2,3 (a)	$570 \pm 77$	< 59 (a)
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)

Actividade mínima detectável (a); não foi possível a colheita da amostra (b);

Peixes

Na Tabela I.28 estão expressos os valores de actividade específica,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ , 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 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ ) são em geral inferiores à actividade mínima detectável, com excepção dos valores em  $^{137}\text{Cs}$  detectados durante os meses de Junho a Agosto e dos valores em  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  medidos no mês de Outubro. Os valores em  $^{40}\text{K}$  variam entre  $39,8 \pm 1,9 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $139,0 \pm 5,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos observados em anos anteriores em peixes capturados no rio Tejo (Madruga *et al.*, 2008 & 2009d).

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

Data de colheita	Espécie	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$
<b>Janeiro</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	< 0,57 (a)	< 1,2 (a)	< 1,0 (a)	$62,5 \pm 2,9$
<b>Fevereiro</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	< 0,050 (a)	< 0,094 (a)	< 0,069 (a)	$39,8 \pm 1,9$
<b>Março</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	< 0,091 (a)	< 0,17 (a)	< 0,12 (a)	$132 \pm 6,0$
<b>Abril</b>	(b)	-	-	-	-
<b>Maió</b>	(b)	-	-	-	-
<b>Junho</b>	<i>Cyprinus carpio</i>	< 0,12 (a)	< 0,21 (a)	< 0,11 (a)	$132,0 \pm 7,0$
<b>Julho</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	$0,063 \pm 0,020$	< 0,10 (a)	< 0,14 (a)	$104,0 \pm 5,3$
<b>Agosto</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	$0,160 \pm 0,085$	< 0,21 (a)	< 0,19 (a)	$139,0 \pm 5,6$
<b>Setembro</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	$0,085 \pm 0,039$	< 0,14 (a)	< 0,084 (a)	$105,0 \pm 5,5$
<b>Outubro</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	< 0,060 (a)	$0,51 \pm 0,10$	$0,202 \pm 0,073$	$110,0 \pm 6,8$
<b>Novembro</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	< 0,077 (a)	< 0,20 (a)	< 0,14 (a)	$97,9 \pm 4,7$
<b>Dezembro</b>	<i>Barbus bocagei</i> L.	< 0,094 (a)	< 0,15 (a)	< 0,10 (a)	$130,0 \pm 4,8$

(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  $\alpha$  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,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ , 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  $1,26 \pm 0,73 \text{ mBq kg}^{-1}$  e  $9,21 \pm 0,81 \text{ mBq kg}^{-1}$  em mexilhões colhidos no Cabo de S. Vicente e em Cascais, respectivamente. Os valores de actividade específica em  $^{241}\text{Am}$  são da mesma ordem de grandeza dos obtidos para o Plutónio. Os valores em  $^{137}\text{Cs}$  situam-se abaixo da actividade mínima detectável ( $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ ). Relativamente aos isótopos do Urânio,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$  verifica-se que as actividades são, em geral, relativamente constantes, com valores variando, por exemplo, entre  $0,17 \pm 0,04 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $0,36 \pm 0,06 \text{ Bq kg}^{-1}$  e entre  $0,008 \pm 0,006 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $0,019 \pm 0,012 \text{ Bq kg}^{-1}$  para o  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ , respectivamente. O valor da razão entre as concentrações dos isótopos  $^{234}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$  é aproximadamente 1, o que indica a existência de equilíbrio radioactivo secular, contrariamente ao que se verifica para os radionuclídeos  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{226}\text{Ra}$ , descendentes do  $^{238}\text{U}$ . A razão  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  varia entre 13 (Estuário do Sado) e 32 (Cabo de S. Vicente). Quando se compara os valores de concentração em  $^{210}\text{Po}$  (variando entre  $50,8 \pm 0,4 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $132 \pm 8 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) com a dos outros radionuclídeos constata-se que os mexilhões acumulam o  $^{210}\text{Po}$  em quantidades mais elevadas sendo portanto bons indicadores biológicos.



Os resultados obtidos quer para os radionuclidos de origem artificial quer para os de origem natural são comparáveis aos resultados de anos anteriores para a costa Portuguesa (Oliveira *et al.*, 2005, Madruga *et al.*, 2008 & 2009d) 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,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq\ kg^{-1}$ , peso fresco), de radionuclidos de origem artificial em mexilhões colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado**

Local de amostragem	$^{239+240}Pu$	$^{238}Pu$	$^{241}Am$	$^{137}Cs$
<b>Matosinhos</b>	$(7,53 \pm 1,41) \times 10^{-3}$	n.d.	$(9,55 \pm 3,82) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)
<b>Figueira da Foz</b>	$(4,30 \pm 1,28) \times 10^{-3}$	n.d.	$(3,77 \pm 1,53) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)
<b>Cascais</b>	$(9,21 \pm 0,81) \times 10^{-3}$	n.d.	$(1,80 \pm 0,85) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)
<b>Cabo de S. Vicente</b>	$(1,26 \pm 0,73) \times 10^{-3}$	n.d.	$(2,86 \pm 1,26) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)
<b>Quarteira</b>	$(7,37 \pm 0,91) \times 10^{-3}$	n.d.	$(5,54 \pm 4,67) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)
<b>Estuário do Sado</b>	$(2,84 \pm 2,45) \times 10^{-3}$	n.d.	$(1,35 \pm 0,61) \times 10^{-3}$	< 0,1 (a)

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

**Tabela I.30 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq\ kg^{-1}$ , peso fresco), de radionuclidos de origem natural em mexilhões colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado**

Local de amostragem	$^{238}U$	$^{235}U$	$^{234}U$	$^{230}Th$	$^{226}Ra$	$^{210}Pb$	$^{210}Po$	$^{232}Th$	$^{40}K$
<b>Matosinhos</b>	$0,32 \pm 0,04$	$0,011 \pm 0,008$	$0,35 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,08$	$5,3 \pm 0,5$	$87,9 \pm 7,2$	$0,50 \pm 0,08$	$31 \pm 3$
<b>Figueira da Foz</b>	$0,36 \pm 0,06$	$0,019 \pm 0,012$	$0,40 \pm 0,06$	$0,16 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,08$	$2,7 \pm 0,4$	$132 \pm 8$	$0,10 \pm 0,02$	$40 \pm 3$
<b>Cascais</b>	$0,28 \pm 0,04$	$0,013 \pm 0,008$	$0,32 \pm 0,04$	$0,054 \pm 0,010$	$0,15 \pm 0,08$	$2,7 \pm 0,4$	$72,4 \pm 5,4$	$0,065 \pm 0,010$	$31 \pm 3$
<b>Cabo de S. Vicente</b>	$0,21 \pm 0,04$	$0,013 \pm 0,008$	$0,31 \pm 0,04$	$0,053 \pm 0,012$	$0,14 \pm 0,08$	$4,5 \pm 0,5$	$68,0 \pm 5,0$	$0,040 \pm 0,012$	$30 \pm 3$
<b>Quarteira</b>	$0,17 \pm 0,04$	$0,008 \pm 0,006$	$0,20 \pm 0,04$	$0,029 \pm 0,006$	$0,080 \pm 0,016$	$2,3 \pm 0,6$	$84,5 \pm 7,2$	$0,055 \pm 0,010$	$31 \pm 3$
<b>Estuário do Sado</b>	$0,30 \pm 0,04$	$0,018 \pm 0,010$	$0,37 \pm 0,06$	$0,028 \pm 0,006$	$0,15 \pm 0,04$	$2,0 \pm 0,4$	$50,8 \pm 0,4$	$0,026 \pm 0,006$	$37 \pm 4$

## I. 4 RADIOACTIVIDADE EM ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Os radionuclídeos naturais presentes nas águas para consumo humano são o  $^3\text{H}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  e descendentes, com actividades bastante variáveis. Ocasionalmente, a presença de  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{226}\text{Ra}$  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  $^3\text{H}$ .

As metodologias utilizadas para a determinação das actividades alfa total e beta total e da concentração em  $^3\text{H}$  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  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  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,  $A$ , ( $\text{Bq L}^{-1}$ ) em  $^3\text{H}$  e da actividade alfa total, beta total, beta residual e  $^{40}\text{K}$  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  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$ . Como se pode observar, os valores de actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$ , situam-se na grande maioria abaixo do valor de actividade mínima detectável, sendo o valor médio anual inferior a  $0,7 \text{ mBq L}^{-1}$ . Relativamente ao  $^{90}\text{Sr}$  os valores observados apresentam uma maior dispersão e são ligeiramente superiores aos obtidos para o  $^{137}\text{Cs}$  com um valor médio anual inferior a  $2,4 \text{ mBq L}^{-1}$ . Estes valores são da ordem de grandeza dos reportados no relatório da Comissão Europeia (EUR 23950 EN, 2009). Valores médios anuais de actividade específica, variando entre  $0,015$  e  $0,15 \text{ mBq L}^{-1}$  e entre  $1,4$  e  $9,9 \text{ mBq L}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  respectivamente, foram medidos em Espanha durante o ano 2008 (Heredia *et al.*, 2009).

Constata-se que, os valores das actividades alfa e beta totais são relativamente constantes, com valores médios anuais  $< 0,029 \text{ Bq L}^{-1}$  para a actividade alfa total e de  $0,089$

$\pm 0,035 \text{ Bq L}^{-1}$  para a actividade beta total em Lisboa. Os valores de actividade em  $^{40}\text{K}$  calculados a partir da concentração em potássio na água são relativamente constantes. O valor médio anual obtido para a actividade beta residual na água de Lisboa é de  $0,050 \pm 0,028 \text{ Bq L}^{-1}$ . Verifica-se que cerca de 50% da actividade beta total nesta água é devida à contribuição da actividade em  $^{40}\text{K}$  (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:  $1 \text{ Bq L}^{-1}$ ).

Os valores de actividade em  $^3\text{H}$  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 aos valores obtidos para a água de Lisboa (Tabela I.31). Esta diferença pode estar relacionada com a proveniência da água, podendo ser de origem subterrânea ou superficial. Estes valores são da ordem de grandeza dos observados em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2008, 2009b & 2009d) e muito inferiores a  $100 \text{ Bq L}^{-1}$ , valor paramétrico estipulado na Lei da Água (Decreto-Lei 306/2007 de 27 de Agosto). Os valores obtidos são da mesma ordem de grandeza dos reportados pelos Estados Membros, referentes aos anos 2004-2006 (EUR 23950 EN, 2009).

Com base nas médias anuais das actividades em  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^3\text{H}$  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) respectivamente e um consumo anual *per capita* de 730 litros (WHO) obteve-se o valor de  $0,087 \mu\text{Sv a}^{-1}$  para a dose efectiva de radiação devida à ingestão desta água. A maior contribuição para a dose foi devida ao  $^{90}\text{Sr}$  (56%) e ao  $^3\text{H}$  (36%). Os valores de dose efectiva são idênticos aos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2008, 2009d). Na Finlândia, a dose de radiação devida à ingestão dos radionuclídeos  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^3\text{H}$  através da água de consumo variou, no ano de 2008, entre  $0,03$  e  $0,2 \mu\text{Sv a}^{-1}$  (STUK-B 103, 2009).

**Tabela I.31 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), (Bq L<sup>-1</sup>), em <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>3</sup>H, <sup>40</sup>K, alfa e beta totais e beta residual em água para consumo humano colhida em Lisboa**

Data de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>3</sup> H	Alfa total	Beta total	Concentração em K <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	<sup>40</sup> K	Beta residual
<b>Janeiro</b>	<0,73x10 <sup>-3</sup> (a)	<2,39x10 <sup>-3</sup> (b)	< 0,8 (c)	0,018 ± 0,005	0,070 ± 0,005	1,58 ± 0,35	0,044 ± 0,010	0,026 ± 0,011
<b>Fevereiro</b>	<0,76x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,59 ± 0,47)x10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (c)	0,029 ± 0,006	0,070 ± 0,005	1,41 ± 0,35	0,039 ± 0,010	0,031 ± 0,011
<b>Março</b>	(0,75 ± 0,45)x10 <sup>-3</sup>	(1,30 ± 0,73)x10 <sup>-3</sup>	1,82 ± 0,44	0,029 ± 0,019	0,072 ± 0,016	1,93 ± 0,34	0,053 ± 0,010	(g)
<b>Abril</b>	<0,69x10 <sup>-3</sup> (a)	(14,5 ± 1,2)x10 <sup>-3</sup>	4,46 ± 0,69	0,049 ± 0,031	0,113 ± 0,026	2,35 ± 0,34	0,065 ± 0,009	0,048 ± 0,028
<b>Maió</b>	<0,64x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,23 ± 0,66)x10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (c)	0,032 ± 0,015	0,064 ± 0,011	0,93 ± 0,36	0,026 ± 0,010	0,038 ± 0,015
<b>Junho</b>	<0,53x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,40x10 <sup>-3</sup> (b)	2,13 ± 0,70	<0,028 (d)	0,078 ± 0,020	1,57 ± 0,23	0,043 ± 0,006	0,035 ± 0,021
<b>Julho</b>	(1,44 ± 0,42)x10 <sup>-3</sup>	<1,15x10 <sup>-3</sup> (b)	2,85 ± 0,59	<0,030 (d)	0,122 ± 0,022	1,98 ± 0,22	0,055 ± 0,006	0,067 ± 0,023
<b>Agosto</b>	<0,51x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,22 ± 0,71)x10 <sup>-3</sup>	7,51 ± 0,74	0,038 ± 0,029	0,179 ± 0,029	2,59 ± 0,22	0,072 ± 0,006	0,107 ± 0,030
<b>Setembro</b>	<0,53x10 <sup>-3</sup> (a)	<0,64x10 <sup>-3</sup> (b)	< 0,8 (c)	<0,018 (d)	0,089 ± 0,014	<1,00 (e)	(f)	(g)
<b>Outubro</b>	<0,56x10 <sup>-3</sup> (a)	(1,37 ± 0,59)x10 <sup>-3</sup>	3,06 ± 0,64	0,026 ± 0,012	0,057 ± 0,010	<1,00 (e)	(f)	(g)
<b>Novembro</b>	<0,71x10 <sup>-3</sup> (a)	<1,30x10 <sup>-3</sup> (b)	1,73 ± 0,61	<0,015 (d)	0,059 ± 0,011	1,72 ± 0,23	0,048 ± 0,006	(g)
<b>Dezembro</b>	<0,54x10 <sup>-3</sup> (a)	1,15 ± 0,44	1,97 ± 0,58	0,038 ± 0,021	0,090 ± 0,017	<1,00 (e)	(f)	(g)
<b>Média ± σ</b>	<0,70x10 <sup>-3</sup> (n=12)	<2,4x10 <sup>-3</sup> (n=12)	< 2,4 (n=12)	< 0,029 (n=12)	0,089 ± 0,035 (n=12)	< 1,59 (n=12)	0,049±0,014 (n=9)	0,050 ± 0,028 (n=7)

Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs (a), <sup>90</sup>Sr (b), <sup>3</sup>H (c), e actividade alfa total (d); Limite de quantificação (e); não foi possível determinar porque a concentração em K<sup>+</sup> é inferior ao limite de quantificação (f); não se reporta o valor porque a incerteza associada é superior a 100% (g).

Tabela I.32 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), em  $^3H$ ,  $^{40}K$ , alfa e beta totais e beta residual em água para consumo humano colhida em vários locais do país

Data de colheita	Local de Amostragem	$^3H$	Alfa total	Beta total	Concentração em $K^+$ ( $mg L^{-1}$ )	$^{40}K$	Beta residual
Março	Macedo de Cavaleiros	< 0,8 (a)	<0,013 (b)	$0,028 \pm 0,008$	<1,00 (d)	(e)	(e)
Março	Torre de Moncorvo	< 0,8 (a)	$0,067 \pm 0,014$	$0,078 \pm 0,009$	$0,88 \pm 0,36$	$0,024 \pm 0,010$	$0,054 \pm 0,013$
Março	Celorico da Beira	< 0,8 (a)	<0,007 (b)	$0,016 \pm 0,005$	$0,94 \pm 0,36$	$0,026 \pm 0,010$	(f)
Março	Vila Nova de Foz Côa	$2,45 \pm 0,47$	<0,009 (b)	$0,038 \pm 0,007$	$0,67 \pm 0,37$	$0,019 \pm 0,010$	$0,019 \pm 0,012$
Abril	Montemor-o-Novo	< 0,8 (a)	<0,039 (b)	<0,031 (c)	$0,97 \pm 0,36$	$0,027 \pm 0,010$	(h)
Maio	Mira	$2,00 \pm 0,71$	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
Maio	Figueira da Foz	< 0,8 (a)	$0,017 \pm 0,011$	$0,061 \pm 0,011$	$1,52 \pm 0,23$	$0,042 \pm 0,006$	$0,019 \pm 0,013$
Maio	Porto	< 0,8 (a)	$0,108 \pm 0,034$	$0,169 \pm 0,024$	$2,06 \pm 0,22$	$0,057 \pm 0,006$	$0,112 \pm 0,025$
Junho	Lagos	< 0,8 (a)	<0,031 (b)	$0,117 \pm 0,023$	$2,23 \pm 0,22$	$0,062 \pm 0,006$	$0,055 \pm 0,024$
Junho	Setúbal	< 0,8 (a)	$0,042 \pm 0,023$	$0,161 \pm 0,022$	$3,21 \pm 0,22$	$0,089 \pm 0,006$	$0,072 \pm 0,023$
Junho	Barca d'Alva	< 0,8 (a)	$0,239 \pm 0,068$	$0,281 \pm 0,043$	$2,67 \pm 0,22$	$0,074 \pm 0,006$	$0,207 \pm 0,043$
Junho	Mangualde	< 0,8 (a)	$0,018 \pm 0,011$	$0,078 \pm 0,012$	$1,65 \pm 0,23$	$0,046 \pm 0,006$	$0,032 \pm 0,014$

Actividade mínima detectável em  $^3H$  (a), actividade alfa total (b) e actividade beta total (c); Limite de quantificação (d); não foi possível determinar porque a concentração em  $K^+$  é inferior ao limite de quantificação (e); não se reporta o valor porque a incerteza associada é superior a 100% (f), análise não realizada (g); não foi possível determinar porque a actividade beta total é inferior à actividade mínima detectável (h).

## **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 de alimentos individualizados ou da refeição completa sendo contudo, a refeição completa mais representativa da dieta mista.

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  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$ . O  $^{40}\text{K}$  sendo um radionuclido de origem natural está também presente no leite. O  $^{131}\text{I}$  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 em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  e  $^7\text{Be}$  foram efectuadas por espectrometria gama. Para a determinação do  $^{90}\text{Sr}$ , 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-Carb 3170

TR/SL. A actividade em  $^{90}\text{Sr}$  foi determinada após o equilíbrio radioactivo entre o  $^{90}\text{Sr}$  e o seu descendente  $^{90}\text{Y}$  (Lopes and Madruga, 2009a, 2009b & 2010).

### **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  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{40}\text{K}$  e  $^{90}\text{Sr}$  nestas amostras. Para a determinação das actividades em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  e  $^{40}\text{K}$ , foi utilizada como metodologia, a análise por espectrometria gama (geometria “Marinelli”) efectuada directamente numa amostra de 1 litro de leite. Para a determinação do  $^{90}\text{Sr}$  seguiu-se o procedimento descrito anteriormente para os componentes da cadeia alimentar e para a refeição completa.

### ***1.5.2 Resultados e Discussão***

#### **Componentes Individuais e Refeição Completa**

Na Tabela I.33 estão expressos os valores das actividades específicas,  $A$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), dos radionuclídeos artificiais ( $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$ ) e naturais ( $^{40}\text{K}$  e  $^7\text{Be}$ ) detectados em produtos da cadeia alimentar recolhidos em várias regiões de Portugal Continental, na Madeira e nos Açores. A análise de  $^{90}\text{Sr}$  foi efectuada só em alguns dos alimentos, carne e couve, por serem os mais representativos. A carne dá uma indicação da contaminação dos animais através das pastagens e a couve da contaminação devida à deposição atmosférica.

Da análise dos resultados constata-se que a actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$  se situa abaixo dos valores da actividade mínima detectável ( $0,1\text{-}0,2 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dependendo das condições de medição) com excepção do valor medido no mês de Novembro ( $0,8\pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) em uma amostra de carne proveniente dos Açores. Relativamente à actividade em  $^{90}\text{Sr}$  a maioria dos resultados é inferior à actividade mínima detectável que se situa entre  $0,022 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $0,416 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Valores quantificáveis variando entre  $0,050\pm 0,016 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $0,376\pm 0,119 \text{ Bq kg}^{-1}$  foram obtidos em amostras de couve. A actividade em  $^{40}\text{K}$  apresenta valores mais elevados, que variam entre  $22\pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$  (maçã, proveniente da Região Autónoma da Madeira) e  $149\pm 7 \text{ Bq kg}^{-1}$  (batata, proveniente da Região Autónoma dos Açores). Relativamente ao  $^7\text{Be}$ , os valores são inferiores à actividade mínima detectável, com excepção do valor obtido para um amostra de couve ( $3,5\pm 1,0 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) proveniente dos Açores. A



ocorrência de vestígios de  $^7\text{Be}$  em couves está relacionada com a proveniência do  $^7\text{Be}$  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  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  e  $^7\text{Be}$  são consistentes com as medições efectuadas em anos anteriores em produtos da cadeia alimentar (Madruga *et al.*, 2008 & 2009c).

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

Da análise dos resultados pode constatar-se que os valores de actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$  e  $^7\text{Be}$  são inferiores aos valores da actividade mínima detectável, com excepção de um valor quantificável ( $0,5 \pm 0,08 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) obtido para o  $^{137}\text{Cs}$ . A actividade em  $^{90}\text{Sr}$  situa-se na maioria dos casos abaixo da actividade mínima detectável. Valores quantificáveis foram observados em três amostras, sendo o valor mais elevado de  $0,259 \pm 0,047 \text{ Bq kg}^{-1}$  medido no mês de Junho. No que se refere ao  $^{40}\text{K}$  os valores são relativamente constantes, variando entre  $35 \pm 3$  e  $70 \pm 5 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Todos os valores se situam na gama dos valores obtidos para os componentes da cadeia alimentar individualizados. Resultados semelhantes foram obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2008, 2009c, 2009d).

No Reino Unido (RIFE-14, 2009) foram observados valores inferiores a  $0,06 \text{ Bq kg}^{-1}$  e a  $0,04 \text{ Bq kg}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  em amostras de refeições completas adquiridas em cantinas, no ano 2008. Os mesmos autores reportam para o  $^{40}\text{K}$  valores que variam entre 90 e  $95 \text{ Bq kg}^{-1}$ .

Assumindo que as amostras de refeição completa são representativas da dieta portuguesa pode-se estimar a actividade ingerida por dia por pessoa. Considerando que uma pessoa ingere normalmente duas refeições completas por dia (almoço e jantar) calculou-se, a partir da actividade em  $\text{Bq kg}^{-1}$ , a actividade dos radionuclidos ingeridos por dia por pessoa ( $\text{Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$ ). Esses resultados (*em itálico*) estão presentes na Tabela I.34. Os valores em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{40}\text{K}$  estão na gama de valores reportados nos relatórios da Comissão Europeia para os países europeus que efectuaram estas análises (Alemanha, Espanha, Finlândia, Inglaterra e Suécia). Para os anos de 2002-2003 (EUR 23555 EN, 2009) foram reportados valores médios trimestrais variando entre  $< 0,2 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$  e  $3,1 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$  e entre  $< 0,1 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$  e  $4,9 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  respectivamente. Em 2004-2006 (EUR 23950 EN, 2009) os valores médios trimestrais situaram-se entre  $< 0,2 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$  e  $11 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$  e entre  $< 0,1 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$  e  $0,45 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$  para o  $^{90}\text{Sr}$ . Relativamente ao  $^{40}\text{K}$  o valor típico em ambos os casos é de  $100 \text{ Bq d}^{-1}\text{p}^{-1}$ .

Relativamente à contribuição para a dose de radiação devida à ingestão da dieta mista (refeição completa) e tendo em consideração que na maioria dos casos, a radioactividade referente aos radionuclidos artificiais é inferior à actividade mínima detectável (Tabelas I.34) a

dose de radiação estimada devida à ingestão de  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  deverá ser inferior a  $1 \mu\text{Sv a}^{-1}$ . Resultados semelhantes foram obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2008, 2009c & 2009d).

**Tabela I.33 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq\ kg^{-1}$ , peso fresco), dos radionuclídeos  $^{137}Cs$ ,  $^{90}Sr$ ,  $^{40}K$  e  $^7Be$  em produtos da cadeia alimentar**

Entidade responsável pela colheita	Data de colheita	Local de colheita	Produto	$^{137}Cs$	$^{90}Sr$	$^{40}K$	$^7Be$
ASAE (Região Alentejo)	Janeiro	Portalegre	Couve	<0,1 (a)	(c)	78 ± 6	<0,9 (a)
			Batata	<0,1 (a)		120 ± 6	<1,4 (a)
		Estremoz	Maçã	<0,1 (a)		35 ± 2	<0,9 (a)
			Carne (Suíno)	<0,1 (a)	<0,069 (b)	112 ± 9	<0,8 (a)
ASAE (Região Centro)	Janeiro	Leiria	Couve	<0,2 (a)	(c)	104 ± 6	<1,8 (a)
			Batata	<0,1 (a)		142 ± 11	<0,8 (a)
			Pera	<0,1 (a)		36 ± 2	<0,6 (a)
			Carne (Suíno)	<0,2 (a)	<0,027 (b)	103 ± 5	<1,0 (a)
Direcção Regional de Agricultura da Região Autónoma da Madeira	Fevereiro	Funchal	Couve	<0,2 (a)	0,052±0,014	91 ± 6	<1,6 (a)
			Batata	<0,2 (a)		138 ± 6	<1,6 (a)
			Maçã	<0,1 (a)		25 ± 3	<0,8 (a)
			Carne (Suíno)	<0,1 (a)	<0,030 (b)	111 ± 8	<0,8 (a)
ASAE (Região Norte)	Fevereiro	Porto	Couve	<0,1 (a)	0,050±0,016	83 ± 4	<1,2 (a)
			Cenoura	<0,2 (a)		97 ± 5	<1,3 (a)
			Maçã	<0,1 (a)		37 ± 4	<0,7 (a)
			Carne (Suíno)	<0,2 (a)	<0,025 (b)	115 ± 6	<1,9 (a)
ASAE (Região Algarve)	Março	Portimão Monchique Silves Lagos	Couve	<0,2 (a)	<0,253 (b)	75 ± 7	<1,8 (a)
			Batata	<0,1 (a)		93 ± 7	<1,0 (a)
			Laranja	<0,1 (a)		37 ± 2	<0,6 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	<0,051 (b)	108 ± 4	<0,9 (a)
Inspeccção Regional das Actividades Económicas dos Açores	Abril	Ponta Delgada	Couve	<0,1 (a)	<0,035 (b)	107 ± 9	<1,4 (a)
			Batata	<0,2 (a)		136 ± 6	<0,9 (a)
			Banana	<0,1 (a)		140 ± 6	<0,9 (a)
			Carne (Bovino)	<0,2 (a)	<0,056 (b)	106 ± 8	<1,2 (a)
ASAE (Região de Lisboa e Vale do Tejo)	Abril	Torres Vedras Lisboa Mafra	Couve	<0,1 (a)	0,342±0,046	86 ± 4	<0,9 (a)
			Cebola	<0,1 (a)		31 ± 2	<0,5 (a)
			Maçã	<0,1 (a)		31 ± 2	<0,8 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	<0,036 (b)	109 ± 8	<1,1 (a)
ASAE (Região Centro)	Junho	Leiria	Couve	<0,1 (a)	(c)	64 ± 4	<1,2 (a)
			Batata	<0,1 (a)		80 ± 4	<2,3 (a)
			Maçã	<0,1 (a)		33 ± 4	<0,8 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	<0,122 (b)	106 ± 4	<1,6 (a)
ASAE (Região Alentejo)	Junho	Portalegre	Couve	<0,2 (a)	<0,416 (b)	133 ± 11	<1,6 (a)
			Batata	<0,2 (a)		119 ± 6	<1,7 (a)
		Grândola	Pera	<0,1 (a)		44 ± 3	<0,8 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)	<0,092 (b)	102 ± 8	<0,8 (a)

Actividade mínima detectável em  $^{137}Cs$  (a) e  $^{90}Sr$  (b); quantidade de cinzas insuficiente para a realização da análise (c);

Tabela I.33: continuação

Entidade responsável pela colheita	Data de colheita	Local de colheita	Produto	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
ASAE (Região Norte)	Junho	Porto	Alface	<0,2 (a)	<0,022 (b)	74 ± 5	<1,2 (a)
		Coimbra Guarda	Batata	<0,1 (a)		115 ± 5	<2,5 (a)
			Maçã	<0,1 (a)		60 ± 4	<1,2 (a)
			Carne (Bovino)	<0,2 (a)		116 ± 9	<0,8 (a)
Instituto Tecnológico e Nuclear	Julho	Supermercado da região de Lisboa	Tomate	<0,1 (a)	<0,030 (b)	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	Agosto	Funchal	Couve	<0,1 (a)	(c)	78 ± 6	<0,8 (a)
			Batata	<0,2 (a)		114 ± 5	<0,8 (a)
			Maçã	<0,1 (a)		22 ± 3	<0,8 (a)
			Carne (Suíno)	<0,1 (a)		129 ± 6	<1,4 (a)
ASAE (Região Algarve)	Setembro	Faro	Alface	<0,1 (a)	<0,036 (b)	104 ± 6	<1,1 (a)
			Laranja	<0,1 (a)		57 ± 4	<1,2 (a)
			Batata	<0,1 (a)		135 ± 7	<0,8 (a)
			Carne (Bovino)	<0,2 (a)		122 ± 6	<1,1 (a)
Instituto Tecnológico e Nuclear	Outubro	Nisa	Couve	<0,2 (a)	0,281±0,036	142 ± 5	<1,8 (a)
			Pera	<0,2 (a)		63 ± 4	<1,3 (a)
			Cebola	<0,1 (a)		44 ± 3	<0,8 (a)
			Carne (Bovino)	<0,2 (a)		119 ± 6	<1,0 (a)
ASAE (Região Centro)	Outubro	Aveiro Coimbra Aveiro	Couve	<0,2 (a)	<0,025 (b)	82 ± 5	<1,0 (a)
			Batata	<0,1 (a)		133 ± 6	<0,8 (a)
			Maçã	<0,1 (a)		48 ± 3	<0,6 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)		133 ± 6	<0,7 (a)
Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores	Novembro	Ponta Delgada	Couve	<0,1 (a)	0,376±0,119	106 ± 6	3,5 ± 1,0
			Batata	<0,1 (a)		149 ± 7	<0,8 (a)
			Banana	<0,1 (a)		116 ± 5	<0,8 (a)
			Carne (Bovino)	0,8 ± 0,1		118 ± 6	<1,1 (a)
ASAE (Região Norte)	Novembro	Póvoa de Varzim	Couve	<0,1 (a)	(c)	49 ± 4	<1,0 (a)
		Vila Real	Maçã	<0,1 (a)		28 ± 3	<1,0 (a)
			Batata	<0,2 (a)		137 ± 7	<1,0 (a)
			Carne (Bovino)	<0,1 (a)		111 ± 5	<0,9 (a)
ASAE (Região Lisboa e Vale do Tejo)	Dezembro	Setubal	Couve	<0,1 (a)	(c)	46 ± 4	<0,8 (a)
			Maçã	<0,1 (a)		32 ± 3	<0,9 (a)
			Batata	<0,1 (a)		141 ± 7	<1,0 (a)
			Carne (Suíno)	<0,2 (a)		115 ± 6	<1,2 (a)

Actividade mínima detectável em  $^{137}\text{Cs}$  (a) e  $^{90}\text{Sr}$  (b); cinzas insuficientes para a realização da análise (c)

**Tabela I.34 – Valores de actividade,  $A \pm U$  ( $k=2$ ) em  $Bq\ kg^{-1}$  (peso fresco) e em  $Bq\ d^{-1}p^{-1}$  (valores em *itálico*) para os radionuclídeos  $^{137}Cs$ ,  $^{90}Sr$ ,  $^{40}K$  e  $^7Be$  em refeições completas adquiridas na cantina da Faculdade de Ciências de Lisboa**

Data de Colheita	Composição das refeições	$^{137}Cs$	$^{90}Sr$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Janeiro</b>	Sopa Juliana, perna de frango assada com arroz branco, filetes com batata frita, bolo de canela, maçã e pão.	<0,1 (a)	$0,046 \pm 0,021$	$70 \pm 5$	<0,2 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i><math>0,056 \pm 0,026</math></i>	<i><math>86 \pm 11</math></i>	<i>&lt;0,5</i>
<b>Fevereiro</b>	Caldo verde, carne de vaca estufada com arroz branco, salmão grelhado com batata cozida, Molotoff, maçã e pão.	$0,5 \pm 0,08$	<0,013 (b)	$64 \pm 5$	<0,5 (c)
		<i><math>1,0 \pm 0,1</math></i>	<i>&lt;0,022</i>	<i><math>106 \pm 10</math></i>	<i>&lt;0,7</i>
<b>Março</b>	Sopa Juliana, peru assado com massa, carne de porco frita com arroz branco, pudim de baunilha, maçã e pão.	<0,1 (a)	<0,034 (b)	$45 \pm 2$	<0,6 (c)
		<i>&lt;0,2</i>	<i>&lt;0,077</i>	<i><math>102 \pm 7</math></i>	<i>&lt;1,4</i>
<b>Abril</b>	Creme de cenoura, peixe frito com arroz, frango estufado com arroz branco, torta de chocolate, maçã e pão.	<0,1 (a)	<0,041 (b)	$38 \pm 3$	<0,3 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i>&lt;0,059</i>	<i><math>54 \pm 6</math></i>	<i>&lt;0,4</i>
<b>Maió</b>	Creme de cenoura, peixe de escabeche com batata cozida, almôndegas com arroz branco, pudim de baunilha, maçã e pão.	<0,1 (a)	<0,108 (b)	$51 \pm 4$	<0,3 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i>&lt;0,205</i>	<i><math>97 \pm 8</math></i>	<i>&lt;0,6</i>
<b>Junho</b>	Creme de legumes, lasanha, peixe assado no forno com batata cozida, pudim, maçã e pão.	<0,1 (a)	$0,259 \pm 0,047$	$68 \pm 5$	<0,6 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i><math>0,340 \pm 0,071</math></i>	<i><math>85 \pm 11</math></i>	<i>&lt;0,8</i>
<b>Julho</b>	Caldo verde, bacalhau com natas, perna de frango corada com arroz branco, bolo de canela, maçã e pão.	<0,1 (a)	$0,041 \pm 0,020$	$35 \pm 3$	<0,3 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i><math>0,061 \pm 0,030</math></i>	<i><math>52 \pm 6</math></i>	<i>&lt;0,4</i>
<b>Agosto</b>	Sopa Juliana, peixe estufado com puré, perna de frango corada com arroz branco, semifrio de morango, maçã e pão.	<0,1 (a)	<0,026 (b)	$49 \pm 2$	<0,6 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i>&lt;0,041</i>	<i><math>78 \pm 7</math></i>	<i>&lt;1,0</i>
<b>Setembro</b>	Creme de cenoura, solha no forno com puré de batata, frango estufado com arroz branco, pêra, maçã e pão.	<0,1 (a)	<0,046 (b)	$58 \pm 3$	<0,4 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i>&lt;0,086</i>	<i><math>108 \pm 9</math></i>	<i>&lt;0,7</i>
<b>Outubro</b>	Sopa de legumes, quiche de carne, lulas estufadas com puré, pudim flan, maçã e pão.	<0,1 (a)	<0,046 (b)	$56 \pm 3$	<3,8 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i>&lt;0,081</i>	<i><math>99 \pm 8</math></i>	<i>&lt;6,7</i>
<b>Novembro</b>	Creme de cenoura, rancho, peixe estufado com arroz branco, bolo, maçã e pão.	<0,1 (a)	<0,118 (b)	$58 \pm 3$	<0,5 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	<i>&lt;0,200</i>	<i><math>98 \pm 9</math></i>	<i>&lt;0,8</i>
<b>Dezembro</b>	Sopa de legumes, carne cozida com arroz branco, peixe estufado com arroz branco, pudim, pêra e pão.	<0,1 (a)	(d)	$42 \pm 2$	<0,5 (c)
		<i>&lt;0,1</i>	-	<i><math>58 \pm 6</math></i>	<i>&lt;0,7</i>

Actividade mínima detectável em  $^{137}Cs$  (a),  $^{90}Sr$  (b) e  $^7Be$  (c); (d) amostra insuficiente para a realização do ensaio.

## **Leite**

Nas Tabelas I.35 a I.39 estão presentes os valores de actividade específica,  $A$  ( $\text{Bq L}^{-1}$ ) em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{40}\text{K}$  em leite proveniente de várias regiões de Portugal Continental e das Ilhas.

Verifica-se que os valores de actividade específica dos radionuclidos artificiais,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{131}\text{I}$  são, em geral, inferiores ao valor da actividade mínima detectável, 0,1-0,2  $\text{Bq L}^{-1}$ , dependendo das condições de medição. Relativamente ao  $^{90}\text{Sr}$  os valores da actividade mínima detectável, que dependem do fundo radioactivo e do rendimento químico da análise, variam entre 0,017 e 0,045  $\text{Bq L}^{-1}$ . Valores mensuráveis, mas da ordem de grandeza da actividade mínima detectável, foram detectados em três amostras, duas provenientes de Vila do Conde ( $0,043 \pm 0,023 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $0,045 \pm 0,017 \text{ Bq L}^{-1}$ ) e uma da Madeira ( $0,043 \pm 0,014 \text{ Bq L}^{-1}$ ). No relatório da Comissão Europeia referente aos anos 2004-2006 (EUR 23950 EN, 2009) foram reportados valores médios trimestrais variando entre valores  $< 0,5 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $1,2 \text{ Bq L}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $< 0,2 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $0,37 \text{ Bq L}^{-1}$  para o  $^{90}\text{Sr}$  respectivamente. Os valores de actividade específica em  $^{40}\text{K}$ , radionuclido de origem natural, são mais elevados do que os obtidos para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  e relativamente constantes variando entre  $36 \pm 3 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $55 \pm 4 \text{ Bq L}^{-1}$ . Resultados semelhantes foram obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2008 & 2009c).

Procedeu-se ao cálculo da dose devida à ingestão de leite, com base na taxa anual de consumo de 200 litros per capita (EUR 23950 EN, 2009), nos valores de actividade mínima e máxima em  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{137}\text{Cs}$  e nos factores de dose para o  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{137}\text{Cs}$  (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 0,8  $\mu\text{Sv a}^{-1}$ . Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2007a, 2008, 2009c & 2009d). Estudos realizados na Finlândia (STUK-B-103, 2009) referem valores de dose de radiação devida à ingestão de leite entre 0,6 e 1,7  $\mu\text{Sv}$ , considerando um consumo *per capita* de 140 litros.

**Tabela I.35 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), dos radionuclidos  $^{137}Cs$ ,  $^{131}I$ ,  $^{90}Sr$  e  $^{40}K$  em leite proveniente da Lactogal (Vila do Conde).**

Data de colheita	$^{137}Cs$	$^{131}I$	$^{90}Sr$	$^{40}K$
<b>Janeiro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,023 (c)	51 ± 3
<b>Fevereiro</b>	<0,2 (a)	<0,1 (b)	0,043 ± 0,023	52 ± 3
<b>Março</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,028 (c)	50 ± 3
<b>Abril</b>	<0,2 (a)	<0,2 (b)	<0,024 (c)	52 ± 4
<b>Maió</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,045 (c)	48 ± 3
<b>Junho</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,021 (c)	52 ± 5
<b>Julho</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,020 (c)	43 ± 4
<b>Agosto</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,027 (c)	49 ± 4
<b>Setembro</b>	<0,1 (a)	<0,2 (a)	<0,026 (c)	51 ± 3
<b>Outubro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,025 (c)	55 ± 4
<b>Novembro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,023 (c)	47 ± 3
<b>Dezembro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	0,045 ± 0,017	50 ± 3

Actividade mínima detectável em  $^{137}Cs$  (a),  $^{131}I$  (b) e  $^{90}Sr$  (c);

**Tabela I.36 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  (k=2), (Bq L<sup>-1</sup>), dos radionuclidos <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I, <sup>90</sup>Sr e <sup>40</sup>K em leite proveniente da Serraleite (Portalegre).**

Data de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>131</sup> I	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
<b>Janeiro</b>	<0,2 (a)	<0,2 (b)	<0,024 (c)	51 ± 4
<b>Fevereiro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,022 (c)	52 ± 5
<b>Março</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,027 (c)	47 ± 3
<b>Abril</b>	<0,1 (a)	<0,2 (b)	<0,030 (c)	47 ± 4
<b>Mai</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,036 (c)	52 ± 3
<b>Junho</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,019 (c)	48 ± 3
<b>Julho</b>	<0,1 (a)	<0,2 (b)	<0,024 (c)	37 ± 4
<b>Agosto</b>	<0,1 (a)	<0,2 (b)	<0,017 (c)	48 ± 4
<b>Setembro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,029 (c)	49 ± 4
<b>Outubro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,026 (c)	55 ± 4
<b>Novembro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,026 (c)	42 ± 3
<b>Dezembro</b>	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,025 (c)	56 ± 4

Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs (a), <sup>131</sup>I (b) e <sup>90</sup>Sr (c);



Tabela I.37 – Valores de actividade específica,  $A_{\pm U}$  (k=2), (Bq L<sup>-1</sup>), dos radionuclídeos <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I, <sup>90</sup>Sr e <sup>40</sup>K em leite proveniente da Lactogal (Tocha).

Data de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>131</sup> I	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
Janeiro	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,024 (c)	52 ± 5
Abril	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,026 (c)	48 ± 4
Julho	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,022 (c)	50 ± 4
Outubro	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,027 (c)	36 ± 3

Tabela I.38 – Valores de actividade específica,  $A_{\pm U}$  (k=2), (Bq L<sup>-1</sup>), dos radionuclídeos <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I, <sup>90</sup>Sr e <sup>40</sup>K em leite proveniente da Parmalat (Águas de Moura).

Data de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>131</sup> I	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
Março	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,027 (c)	51 ± 4
Junho	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,021 (c)	50 ± 4
Julho	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,022 (c)	42 ± 3
Setembro	<0,1 (a)	<0,2 (b)	<0,030 (c)	49 ± 4
Dezembro	<0,2 (a)	<0,1 (b)	<0,025 (c)	45 ± 3

Tabela I.39 – Valores de actividade específica,  $A_{\pm U}$  (k=2), (Bq L<sup>-1</sup>), dos radionuclídeos <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I, <sup>90</sup>Sr e <sup>40</sup>K em leite proveniente das Regiões autónomas (Madeira e Açores).

Data de colheita	Local de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>131</sup> I	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
Fevereiro	Madeira (Funchal)	<0,1 (a)	<0,2 (b)	0,043 ± 0,014	39 ± 4
Setembro	Madeira (Funchal)	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,034 (c)	49 ± 4
Abril	Açores (Ponta Delgada)	<0,2 (a)	<0,2 (b)	<0,032 (c)	53 ± 4
Novembro	Açores (Ponta Delgada)	<0,1 (a)	<0,1 (b)	<0,022 (c)	55 ± 4

Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs (a), <sup>131</sup>I (b) e <sup>90</sup>Sr (c);

## 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. 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 Rádío ( $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ ) e os seus descendentes.

### I.6.2 Resultados e Discussão

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

Como se pode observar os valores obtidos para o  $^{235}\text{U}$  situam-se abaixo dos valores da actividade mínima detectável. O  $^{228}\text{Ra}$ , radionuclido da família radioactiva do  $^{232}\text{Th}$ , apresenta valores relativamente constantes variando entre  $33\pm 1$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e  $48\pm 2$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . Os valores de actividade específica em  $^{238}\text{U}$  (considerando-se em equilíbrio radioactivo secular com o  $^{234}\text{Th}$ ),  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  (radionuclidos da família natural do Urânio) são da mesma ordem de grandeza. A razão entre as actividades  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  é aproximadamente 1 indicando a existência de equilíbrio radioactivo secular entre estes radionuclidos. A actividade em  $^{40}\text{K}$  varia entre  $639\pm 34$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e  $839\pm 38$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . Os valores de actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$ , radionuclido de origem artificial situam-se entre  $1,2\pm 0,3$  e  $8,1\pm 0,5$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . Em geral, os resultados obtidos são semelhantes aos observados em anos anteriores em solos colhidas ao longo do país (Madruga *et al.*, 2008 & 2009d).

**Tabela I.40 – Valores de actividade específica,  $A \pm U$  (k=2), ( $Bq\ kg^{-1}$ ), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes de várias regiões do país**

Local de amostragem	$^{235}U$	$^{238}U^*$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{210}Pb$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<i>Montemor-o-Novo</i>	<2,0 (a)	20 ± 4	33 ± 1	24 ± 1	30 ± 4	1,2 ± 0,3	639 ± 34	<10,6 (a)
<i>Alto da Sapinha</i>	<2,7 (a)	42 ± 7	45 ± 2	43 ± 2	44 ± 5	8,1 ± 0,5	834 ± 48	<9,4 (a)
<i>Cunhedo</i>	<2,7 (a)	46 ± 8	35 ± 2	40 ± 2	58 ± 5	2,7 ± 0,3	776 ± 45	<7,2 (a)
<i>Fratel</i>	<3,3 (a)	42 ± 4	48 ± 2	57 ± 3	83 ± 6	3,7 ± 0,5	839 ± 38	<15,9 (a)

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

## **I.7 DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL**

### ***I.7.1 Material e Métodos***

Durante o ano de 2009, 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 e Portalegre. Devido a motivos alheios ao ITN, não foi possível realizar medidas em 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).

Tendo em consideração o carácter contínuo da monitorização ambiental, a segurança física dos dosímetros durante os períodos de exposição de cerca de três meses no exterior, e ao mesmo tempo, facilitar os processos de colocação, remoção e envio dos dosímetros ao ITN para avaliação, 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 Faro, os dosímetros são colocados no Campus de Gambelas da Universidade do Algarve.

Durante o ano de 2009, 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***

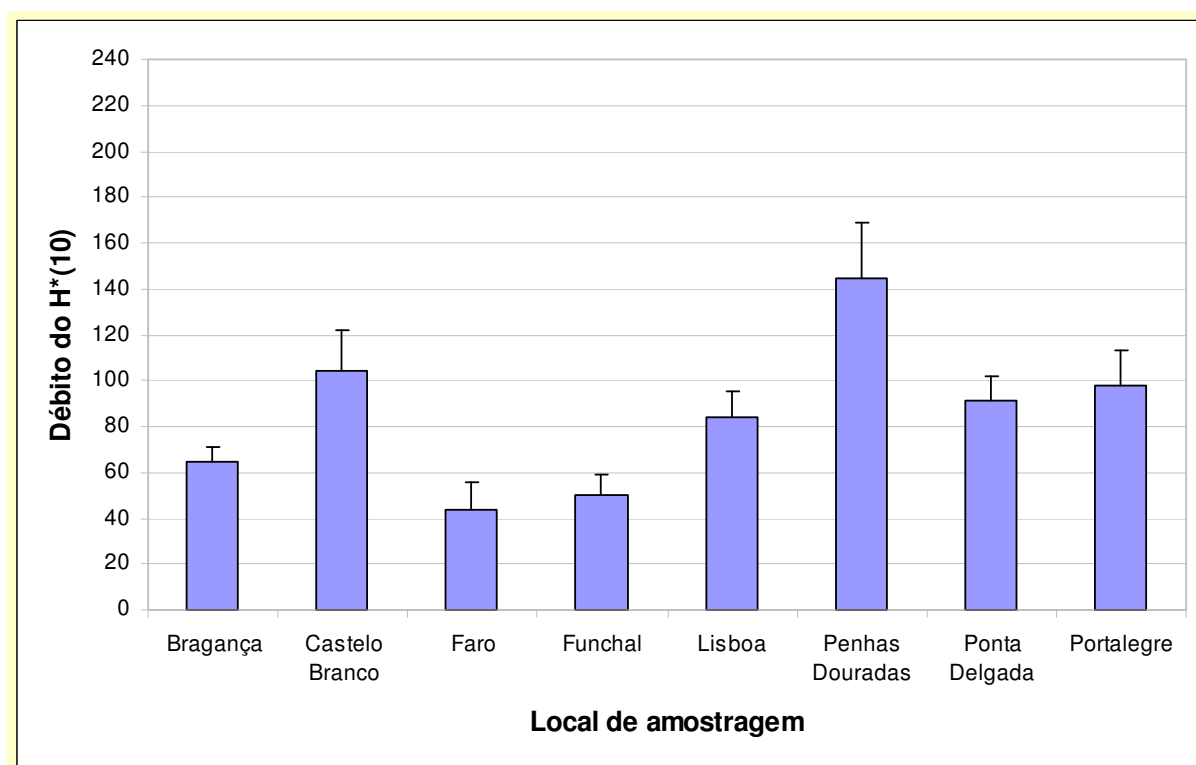
Na Tabela I.41 representam-se os valores médios do débito de equivalente de dose ambiente medidos nos vários pontos do País nos quatro trimestres de 2009, bem como a respectiva incerteza, obtida a partir do desvio padrão das leituras. O valor apresentado para Lisboa em cada trimestre foi obtido através do valor médio das medidas realizadas nos pontos Oficinas, Administração e LMRI com períodos de integração superiores a 60 dias (Madruga *et al.*, 2008 & 2009d). Na referida tabela apresentam-se também os valores médios anuais para 2009 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 2009 se encontram no intervalo de variação constituído pelos valores reportados para os anos de 2006 a 2008, excepto nos casos de Bragança e Ponta Delgada onde os valores medidos em 2009 são superiores aos registados em anos anteriores. Os valores medidos em 2009 e apresentados na Tabela I.41 podem ser considerados valores normais, compatíveis com valores anteriormente publicados para cada uma destas regiões (Amaral, 1995).

**Tabela I.41 – Valores médios dos trimestres I a 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<sup>-1</sup>)**

Ponto de medida	I	II	III	IV	Ano 2009
Bragança	56±3	67±19	71±3	64±5	65±6
Castelo Branco	113±5	122±16	98±7	81±5	104±18
Faro	46±4	58±7	29±4	41±6	44±12
Funchal	52±4	52±8	59±5	39±4	50±9
Lisboa*	90±12	80±12	79±9	89±10	84±11
Penhas Douradas	160±15	149±6	160±8	110±9	145±24
Ponta Delgada	83±5	87±11	n.d.	103±6	91±11
Portalegre	110±11	106±8	76±12	100±9	98±15

(\*) média dos pontos Oficinas, Administração e LMRI, medidos no campus do ITN (Cap. II.4.2.2)  
n.d. – não devolvido (extraviado)



**Figura I.11 – Valor médio anual para 2009 do débito de equivalente de dose ambiente medido nos vários pontos do País (valores expressos em nSv.h<sup>-1</sup>)**

## 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  $^{40}\text{K}$ , são valores típicos do fundo radioactivo natural, isto é, não alterado pela acção humana. As concentrações dos radionuclidos de origem artificial, designadamente em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ , 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 ( $1 \text{ mSv a}^{-1}$ ) (Directiva 96/29 EURATOM).

Os resultados do programa de 2009 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  $^3\text{H}$  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 e à empresa EUREST pelo fornecimento das amostras;
- 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;
- À Universidade do Algarve (Campus de Gambelas), por terem igualmente permitido a colocação e substituição periódica dos detectores TLD no 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 10<sup>th</sup> 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 2<sup>nd</sup> 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
- 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, 27<sup>th</sup> July 2000.
- Decreto-Lei n° 306/2007 de 27 de Agosto (D.R. n°164, 1<sup>a</sup> 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 transpõe para o ordenamento jurídico interno a Directiva n° 98/83/CE, do Conselho. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Dueñas, C., Fernández, M.C., Cañete, S., Pérez Barea, J.J., Pérez, M. (2009). Effects of collector types in sampling of atmospheric depositional fluxes, *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 198-202.
- Du J., Zhang J., Wu Y., (2008), Deposition patterns of atmospheric <sup>7</sup>Be and <sup>210</sup>Pb in coast of East China sea, Shanghai, China, *Atmospheric Environment*, 42, 5101-5109.
- EUR 23555 EN (2009). Environmental Radioactivity in the European Community (2002-2003), Radiation Protection N° 143, ISBN 978-92-79-10405-3.
- EUR 23950 EN (2009). Environmental Radioactivity in the European Community (2004-2006), Radiation Protection N° 161, ISBN 978-92-79-12984-1.
- Fonseca H., Reis M., (2006), Evaluating the temporal evolution of <sup>7</sup>Be and <sup>210</sup>Pb atmospheric concentrations by using chronological series analysis techniques, *Proc. 11<sup>th</sup> 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. *4º 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  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  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. (2009). Programas de Vigilância Radiológica Ambiental - Resultados 2008. Colección Informes Técnicos, 23.2009. Referencia INT-04.19, Consejo de Seguridad Nuclear, Depósito legal: M-17708-2010.
- Hernandez F., Karlsson L., Hernandez-Armas J., (2007). Impact of the tropical storm Delta on the gross alpha, gross beta,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  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, nº1.
- Ioannidou, A., Manolopoulou, M., Papastefanou, C. (2005). Temporal changes of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  concentrations in surface air at temperate latitudes ( $40^\circ\text{ N}$ ). *Applied Radiation and Isotopes*, **63**, 277-284.
- Ioannidou A., Papastefanou C., (2006). Precipitation scavenging of  $^7\text{Be}$  and  $^{137}\text{Cs}$  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,  $^7\text{Be}$  and  $^{22}\text{Na}$  in the atmosphere, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 157-169.
- Lopes I., Madruga M.J. (2009a). Application of Liquid Scintillation Counting Technique to Determine  $^{90}\text{Sr}$  in Milk Samples. In: Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, J. Eikenberg, M. Jaggi, H Beer, H Baehrle (Ed) pp 331-337, Radiocarbon, The University of Arizona, USA.
- Lopes I., Madruga M.J. (2009b). Measurements of Strontium-90 in Portuguese Milk Samples Using Liquid Scintillation Counting Technique. *Radioprotection*, Vol 44, nº5, 217-220.
- Lopes I., Madruga M.J., Mourato A., Abrantes J., Reis M. (2010). Determination of  $^{90}\text{Sr}$  in Portuguese Foodstuffs. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, DOI 10.1007/s10967-010-0714-2.
- Madruga M.J., Sequeira M.M., Lopes I., Gomes A.R., Rodrigues F. (2007). 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. (2007a). 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. In: Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, J. Eikenberg, M. Jaggi, H Beer, H Baehrle (Ed) pp 353-359, *Radiocarbon*, The University of Arizona, USA.

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.

Madruga M.J., Carvalho F.P., Reis M, Alves J., Corisco J.A., Trindade R., Pinhão N., 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., Batista A. (2009d) Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2008). *Internal Report DPRSN*, Série A, nº33/2009, ISBN 978-989-96542-0-4, Depósito Legal 194022/03, pp. 143.

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.

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  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  activity concentrations in aerosol particles in ground level air at Sacavém (Portugal), *Proc. 2<sup>nd</sup> European IRPA Congress on Radiation Protection*, Paris.

RIFE-14 (2009). Radioactivity in Food and the Environment, 2008. Environmental Agency, Environment and Heritage Service, Food Standards Agency, Scottish Environment Protection Agency, ISSN 1365-6414, 2009.

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 103 (2009). Surveillance of Environmental Radiation in Finland, Annual Report 2008, R. Mustonen ed. ISBN 978-952-478-484-9.

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

### ***Bolseiros***

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

### ***Técnicos Superiores***

João Abrantes  
Lídia Silva  
Luís Portugal

### ***Técnicos***

Albertina Libânio  
Anabela Mourato  
Gabriel Silva

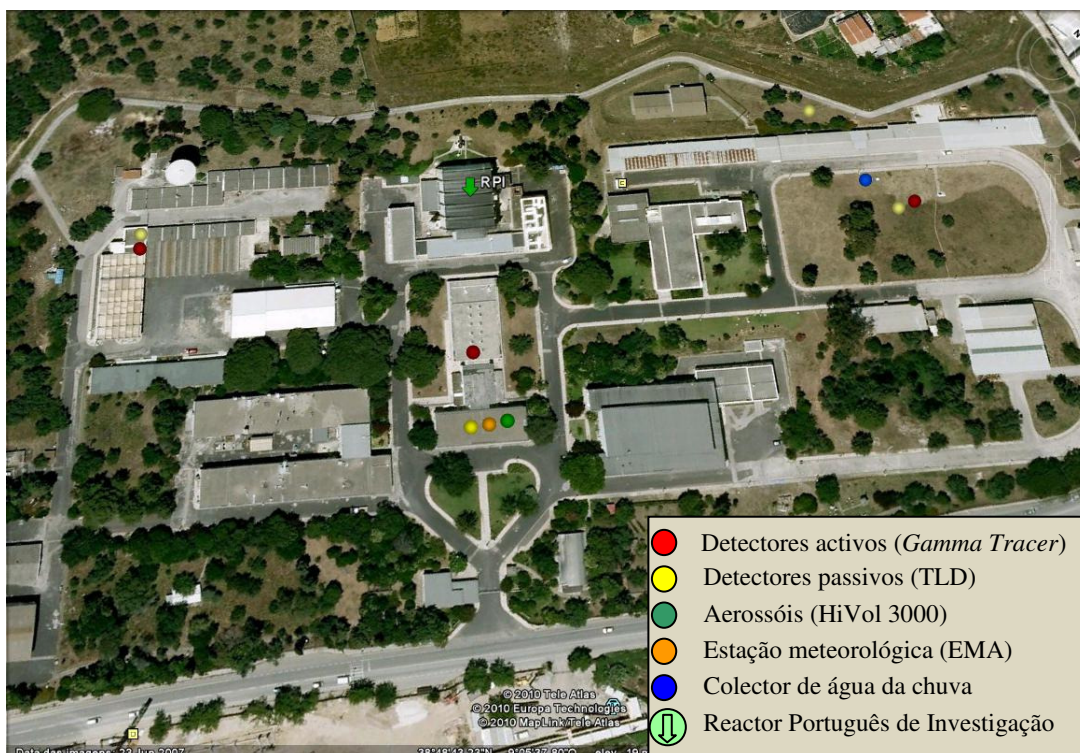


## II.1. INTRODUÇÃO

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**

Devido a consecutivas avarias no amostrador de partículas HiVol-3000 durante o ano de 2009, optou-se por utilizar, neste relatório, os dados obtidos através do outro amostrador de partículas de alto volume instalado no *campus* do ITN (estação ASS-500). As especificações relativas a este equipamento encontram-se descritas no Capítulo I.

#### **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.

A concentração média mensal de partículas totais em suspensão (PTS) variou entre 15  $\mu\text{g m}^{-3}$  e 63  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

A actividade em  $^{137}\text{Cs}$  nas partículas de aerossol foi, durante todo o ano de 2009, inferior à actividade mínima detectável (que variou entre 0,2 e 0,4  $\mu\text{Bq m}^{-3}$ ).

É de referir que, no espectro correspondente à amostra de aerossol recolhida na semana de 28 de Outubro, foi detectada a presença de  $^{131}\text{I}$ . Embora a concentração em causa fosse muito baixa ( $1,0 \pm 0,1 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ), tratando-se de um radionuclídeo de origem antropogénica foi investigada a sua possível origem. Em conjunto com o GRRR (Grupo de Radioprotecção e Resíduos Radioactivos), relacionou-se esta ocorrência com a existência do referido radionuclídeo em sucatas metálicas recolhidas como resíduo radioactivo pelo GRRR, as quais foram transportadas para o *campus* do ITN (UPSR-C-26, 2009). Nos espectros correspondentes às amostras de aerossol posteriores à data mencionada já não foi detectada a presença de  $^{131}\text{I}$ .

**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	$^{137}\text{Cs}$ ( $\mu\text{Bq m}^{-3}$ )	PTS ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
<b>Janeiro</b>	< 0,3 (a)	36
<b>Fevereiro</b>	(b)	(b)
<b>Março</b>	< 0,3 (a)	63
<b>Abril</b>	(b)	(b)
<b>Mai</b>	< 0,4 (a)	38
<b>Junho</b>	< 0,2 (a)	43
<b>Julho</b>	< 0,2 (a)	37
<b>Agosto</b>	< 0,4 (a)	40
<b>Setembro</b>	< 0,2 (a)	47
<b>Outubro</b>	< 0,2 (a)	29
<b>Novembro</b>	< 0,2 (a)	24
<b>Dezembro</b>	< 0,2 (a)	15
<b>Média <math>\pm \sigma</math> (n=10)</b>	-	<b>37 <math>\pm</math> 13</b>

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

## 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  $\text{Bq L}^{-1}$ , 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.3 estão representados graficamente os valores dos fluxos mensais de deposição em actividade alfa e beta totais,  $^7\text{Be}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$  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.

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  $^3\text{H}$ , apenas se registaram actividades mensuráveis em Abril e Maio. Para o  $^{90}\text{Sr}$  todos os valores foram inferiores à actividade mínima detectável, à excepção do registado no mês de Dezembro, enquanto para o  $^{137}\text{Cs}$  apenas se obtiveram actividades mensuráveis em Junho e Dezembro. Consequentemente, os fluxos de deposição de radionuclídeos artificiais foram extremamente baixos em 2009. No caso do  $^{137}\text{Cs}$ , o fluxo de deposição anual obtido ( $0,5 \text{ Bq m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ) é consideravelmente inferior aos referidos na bibliografia ( $12 \text{ Bq m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ) para outros locais (Ioannidou & Papastefanou, 2006).

Os fluxos de deposição anuais obtidos para a actividade alfa total e actividade beta total ( $14 \text{ Bq m}^{-2}$  e  $20 \text{ Bq m}^{-2}$ , respectivamente) são da mesma ordem de grandeza dos registados no ano anterior (Madruga *et al.*, 2009) e significativamente inferiores aos reportados por outros autores (Dueñas *et al.*, 2009).

Tabela II.2 - Valores de actividade específica,  $A \pm U$  ( $k=2$ ), ( $Bq L^{-1}$ ), de radionuclidos artificiais e naturais em água da chuva colhida em Sacavém (ITN)

Data de Colheita	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45 \mu m$						Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45 \mu m$
	$^3H$	$^7Be$	$^{90}Sr$	$^{137}Cs$	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	< 0,80 (a)	$0,19 \pm 0,07$	$< 1,0 \times 10^{-3}$ (b)	$< 0,76 \times 10^{-3}$ (c)	$0,008 \pm 0,001$	$0,005 \pm 0,001$	(e)
<b>Fevereiro</b>	< 0,80 (a)	< 0,09 (f)	$< 2,0 \times 10^{-3}$ (b)	$< 0,53 \times 10^{-3}$ (c)	$0,015 \pm 0,003$	$0,012 \pm 0,005$	(e)
<b>Março</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Abril</b>	$0,92 \pm 0,32$	< 0,12 (f)	$< 1,56 \times 10^{-3}$ (b)	$< 0,72 \times 10^{-3}$ (c)	$0,018 \pm 0,004$	$0,012 \pm 0,005$	(e)
<b>Maió</b>	$3,00 \pm 0,36$	< 1,1 (f)	$< 15,9 \times 10^{-3}$ (b)	$< 0,57 \times 10^{-3}$ (c)	$0,022 \pm 0,003$	$0,005 \pm 0,003$	(e)
<b>Junho</b>	< 0,80 (a)	< 0,12 (f)	$< 4,3 \times 10^{-3}$ (b)	$(0,63 \pm 0,27) \times 10^{-3}$	$0,109 \pm 0,009$	$0,018 \pm 0,007$	(e)
<b>Julho</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Agosto</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Setembro</b>	< 0,80 (a)	(d)	(d)	(d)	$0,066 \pm 0,011$	$0,015 \pm 0,011$	(e)
<b>Outubro</b>	< 0,80 (a)	$0,07 \pm 0,04$	$< 0,57 \times 10^{-3}$ (b)	$< 0,55 \times 10^{-3}$ (c)	$0,018 \pm 0,004$	$0,011 \pm 0,005$	(e)
<b>Novembro</b>	< 0,80 (a)	$0,11 \pm 0,05$	$< 0,63 \times 10^{-3}$ (b)	$< 0,57 \times 10^{-3}$ (c)	$0,007 \pm 0,003$	$0,026 \pm 0,006$	(e)
<b>Dezembro</b>	< 0,80 (a)	$1,04 \pm 0,08$	$(4,9 \pm 1,1) \times 10^{-3}$	$(0,99 \pm 0,41) \times 10^{-3}$	$0,011 \pm 0,002$	$0,006 \pm 0,003$	(e)

Actividade mínima detectável em  $^3H$  (a),  $^{90}Sr$  (b),  $^{137}Cs$  (c) e  $^7Be$  (f); volume de amostra insuficiente para análise (d); Perda de amostra no decorrer da análise (e).

Tabela II.3 – Fluxos mensais de deposição atmosférica, Bq m<sup>-2</sup>±U (k=2) em Sacavém (ITN)

Data de colheita	Precipitação* (mm)	<sup>3</sup> H	Água filtrada Ø ≤ 0,45 µm					Partículas em suspensão Ø > 0,45 µm
			<sup>7</sup> Be	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	277,2	(a)	53 ± 19	(a)	(a)	2,2 ± 0,3	1,4 ± 0,3	(c)
<b>Fevereiro</b>	152,2	(a)	(a)	(a)	(a)	2,3 ± 0,5	1,8 ± 0,8	(c)
<b>Março</b>	10,8	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Abril</b>	83,6	77 ± 53	(a)	(a)	(a)	1,5 ± 0,3	1,0 ± 0,4	(c)
<b>Maió</b>	29,6	89 ± 21	(a)	(a)	(a)	0,7 ± 0,1	0,15 ±	(c)
<b>Junho</b>	32,0	(a)	(a)	(a)	0,02 ± 0,01	3,5 ± 0,3	0,6 ± 0,2	(c)
<b>Julho</b>	2,8	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Agosto</b>	0	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Setembro</b>	20	(a)	(b)	(b)	(b)	1,3 ± 0,2	0,3 ± 0,2	(c)
<b>Outubro</b>	111,6	(a)	7,8 ± 4,5	(a)	(a)	2,0 ± 0,4	1,2 ± 0,6	(c)
<b>Novembro</b>	175,4	(a)	19 ± 9	(a)	(a)	1,2 ± 0,5	4,6 ± 1,1	(c)
<b>Dezembro</b>	441,8	(a)	460 ± 35	2,2 ± 0,5	0,4 ± 0,2	4,9 ± 0,9	2,7 ± 1,3	(c)

(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.

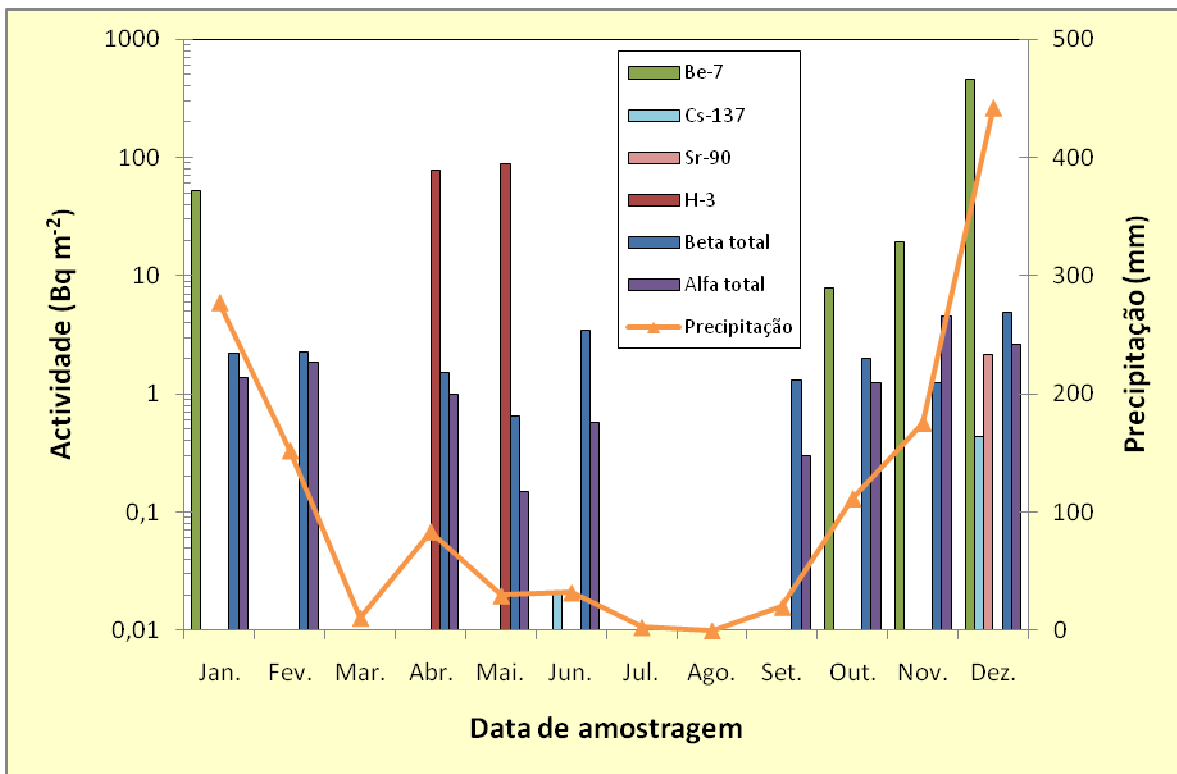


Figura II.3 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em <sup>7</sup>Be, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>3</sup>H, actividade beta total e actividade alfa total em Sacavém (Campus do ITN)

## 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<sup>-1</sup>) 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 <sup>137</sup>Cs variaram entre 1,6±0,3 e 5,4±0,7 Bq kg<sup>-1</sup> (para os meses de Janeiro, Maio, Junho, Julho e Agosto 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 <sup>131</sup>I 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 <sup>137</sup>Cs são inferiores à actividade mínima detectável para este radionuclido, à excepção do obtido para o mês de Outubro (2,8±0,4 Bq kg<sup>-1</sup>). À semelhança do que se verificou para o ponto de amostragem situado no interior do *campus* do ITN, os valores da actividade específica em <sup>131</sup>I foram sempre inferiores à actividade mínima detectável.

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

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U*	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be	<sup>131</sup> I
<b>Janeiro</b>	<3,5 (a)	32 ± 4	57 ± 2	36 ± 2	58 ± 5	<1,3 (a)	563 ± 29	<7,8 (a)	<0,8 (a)
<b>Fevereiro</b>	<3,9 (a)	44 ± 6	52 ± 2	34 ± 2	80 ± 8	3,6 ± 0,6	582 ± 27	<5,9 (a)	<1,1 (a)
<b>Março</b>	<3,6 (a)	43 ± 6	49 ± 2	31 ± 1	51 ± 6	4,1 ± 0,4	600 ± 32	<3,7 (a)	<0,4 (a)
<b>Abril</b>	<2,5 (a)	48 ± 5	35 ± 2	22 ± 1	17 ± 5	2,2 ± 0,5	604 ± 33	<4,2 (a)	<0,4 (a)
<b>Mai</b>	<2,5 (a)	26 ± 4	56 ± 2	35 ± 1	51 ± 6	<1,0 (a)	578 ± 55	<7,1 (a)	<1,0 (a)
<b>Junho</b>	<3,7 (a)	27 ± 4	60 ± 2	34 ± 1	44 ± 5	<0,6 (a)	656 ± 34	<3,4 (a)	<0,4 (a)
<b>Julho</b>	<3,1 (a)	43 ± 6	54 ± 2	30 ± 1	52 ± 6	<0,7 (a)	585 ± 78	<6,0 (a)	<0,9 (a)
<b>Agosto</b>	<3,6 (a)	23 ± 3	56 ± 1	35 ± 1	63 ± 6	<1,0 (a)	527 ± 26	<7,3 (a)	<2,0 (a)
<b>Setembro</b>	<2,1 (a)	20 ± 3	57 ± 1	36 ± 1	47 ± 4	1,8 ± 0,3	572 ± 26	<3,8 (a)	<0,9 (a)
<b>Outubro</b>	<3,0 (a)	25 ± 3	61 ± 2	35 ± 2	56 ± 4	2,6 ± 0,5	599 ± 26	<5,5 (a)	<0,6 (a)
<b>Novembro</b>	<2,6 (a)	19 ± 3	44 ± 1	28 ± 1	64 ± 5	1,6 ± 0,3	459 ± 23	<4,3 (a)	<1,3 (a)
<b>Dezembro</b>	<2,1 (a)	28 ± 5	60 ± 2	42 ± 2	51 ± 5	5,4 ± 0,7	641 ± 35	<8,2 (a)	<1,5 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=12)</b>	<b>&lt; 3,0</b>	<b>32 ± 10</b>	<b>53 ± 8</b>	<b>33 ± 5</b>	<b>53 ± 15</b>	<b>&lt; 2,2</b>	<b>580 ± 51</b>	<b>&lt; 5,6</b>	<b>&lt; 0,9</b>

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



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

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U*	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be	<sup>131</sup> I
<b>Janeiro</b>	<2,1 (a)	20 ± 3	38 ± 2	27 ± 1	32 ± 7	<0,7 (a)	534 ± 50	<4,3 (a)	<0,7 (a)
<b>Fevereiro</b>	<2,2 (a)	21 ± 3	23 ± 2	19 ± 2	19 ± 3	<0,6 (a)	611 ± 56	<4,2 (a)	<0,5 (a)
<b>Março</b>	<2,2 (a)	20 ± 3	39 ± 2	24 ± 1	20 ± 4	<1,1 (a)	585 ± 28	<6,7 (a)	<1,4 (a)
<b>Abril</b>	<2,7 (a)	31 ± 4	35 ± 1	22 ± 1	22 ± 4	<1,2 (a)	618 ± 28	<5,2 (a)	<0,7 (a)
<b>Maiο</b>	<2,9 (a)	16 ± 3	31 ± 1	20 ± 1	22 ± 4	<0,8 (a)	663 ± 29	<7,8 (a)	<0,7 (a)
<b>Junho</b>	<1,9 (a)	12 ± 2	12 ± 1	10 ± 1	20 ± 3	<0,6 (a)	585 ± 25	<4,9 (a)	<0,6 (a)
<b>Julho</b>	<2,6 (a)	20 ± 3	42 ± 2	28 ± 1	32 ± 5	<0,8 (a)	546 ± 51	<6,1 (a)	<0,8 (a)
<b>Agosto</b>	<1,5 (a)	24 ± 4	44 ± 1	31 ± 1	36 ± 4	<0,4 (a)	500 ± 30	9 ± 2	<0,4 (a)
<b>Setembro</b>	<2,7 (a)	24 ± 3	48 ± 1	31 ± 1	36 ± 4	<0,7 (a)	523 ± 25	<5,2 (a)	<0,9 (a)
<b>Outubro</b>	<2,3 (a)	18 ± 3	35 ± 1	25 ± 1	33 ± 4	2,8 ± 0,4	607 ± 57	<4,8 (a)	<0,6 (a)
<b>Novembro</b>	<2,0 (a)	15 ± 3	20 ± 1	16 ± 1	23 ± 4	<0,4 (a)	623 ± 36	<2,4 (a)	<0,4 (a)
<b>Dezembro</b>	<1,8 (a)	18 ± 3	27 ± 1	23 ± 1	38 ± 3	<0,7 (a)	736 ± 68	<6,0 (a)	<0,8 (a)
<b>Média ± σ (n=12)</b>	<b>&lt; 2,2</b>	<b>20 ± 5</b>	<b>33 ± 11</b>	<b>23 ± 6</b>	<b>28 ± 7</b>	<b>&lt; 0,9</b>	<b>594 ± 65</b>	<b>&lt; 6,0</b>	<b>&lt; 0,7</b>

(a) Actividade mínima detectável; \*determinado a partir da actividade em <sup>234</sup>Th 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 2009, 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).

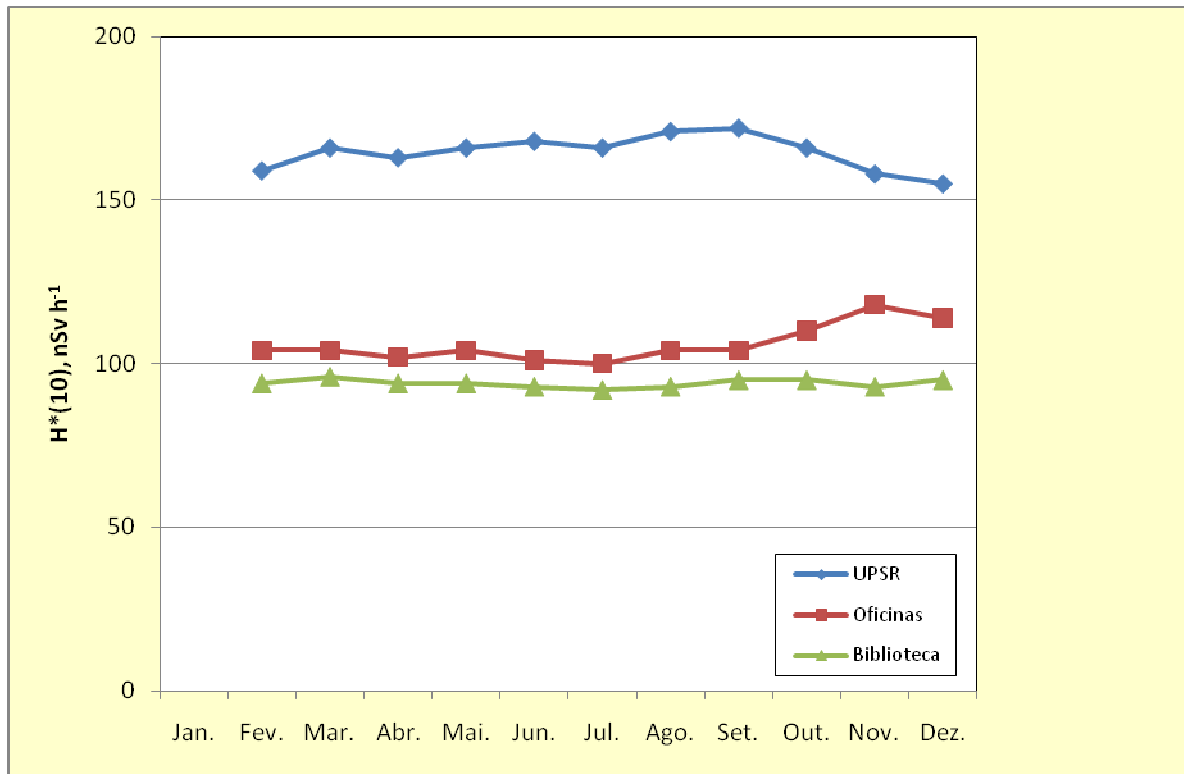
As sondas *GammaTracer-XL* estão equipadas com um sistema de comunicação via rádio (433,5 MHz) que permite o envio de dados para a central em ciclos de tempo ajustáveis. Possuem, ainda, uma memória interna que possibilita o armazenamento de dados, permitindo salvaguardar a informação caso ocorram falhas 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<sup>-1</sup> aos 10 Sv h<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>, diminuindo a periodicidade de envio dos dados para cada 10 minutos. O segundo nível de alarme está definido para 1 µSv h<sup>-1</sup>, 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 2009, entre 86 e 124 nSv h<sup>-1</sup> no ponto localizado no telhado do edifício Biblioteca, entre 91 e 260 nSv h<sup>-1</sup> no ponto localizado junto às Oficinas, e entre 147 e 217 nSv h<sup>-1</sup> no ponto localizado frente à UPSR. Os

valores médios anuais foram, respectivamente,  $94 \pm 1$  nSv h<sup>-1</sup>,  $106 \pm 6$  nSv h<sup>-1</sup> e  $165 \pm 5$  nSv h<sup>-1</sup>. Na Figura II.4 apresenta-se a variação dos valores médios mensais ao longo do ano de 2009.



**Figura II.4 – 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<sup>-1</sup>)**

Pode-se observar através do gráfico que, tal como ocorreu no ano anterior, os valores médios 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<sup>-1</sup>), apresentando este último local maiores 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  $165 \pm 5$  nSv h<sup>-1</sup>). 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 accidental.

## II.4.2. Detectores Passivos

### II.4.2.1. Material e Métodos

Durante o ano de 2009, 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, anteriormente definidas, com o mesmo tipo de dosímetros usados nas medidas realizadas no resto do País (Madruga *et al.*, 2008 & 2009). 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 otimizada 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  $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$  (ou seja, nanosievert por hora).

#### II.4.2.2. Resultados e Discussão

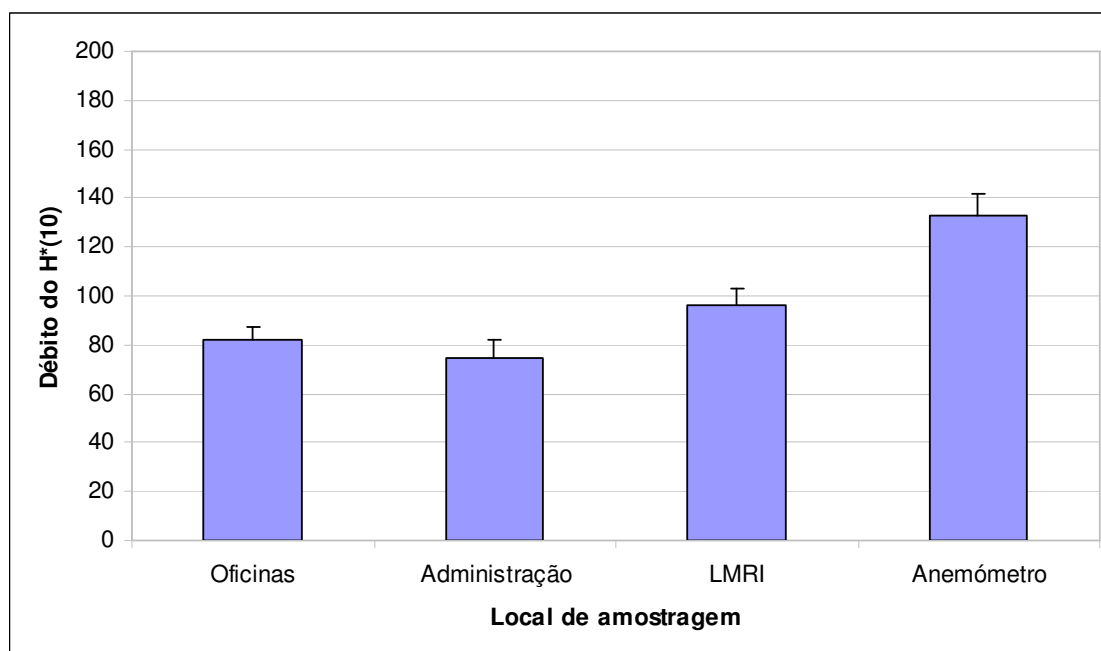
Na Tabela II.6 representam-se os valores médios do débito de equivalente de dose ambiente medido nos quatro pontos localizados no *campus* do ITN nos quatro trimestres de 2009, calculados a partir das medidas efectuadas com período de integração superior a 60 dias. A respectiva incerteza foi obtida a partir do desvio padrão das leituras. Na mesma tabela apresentam-se também os valores médios anuais para 2009, 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.5.

**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  $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ )**

Ponto de medida	I	II	III	IV	Ano 2009
Oficinas	86±6	81±10	77±4	87±10	82±5
Administração	82±11	67±11	71±8	80±5	75±7
LMRI	104±13	91±7	89±5	100±8	96±7
Anemómetro	138±11	128±9	123±10	143±7	133±9

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. 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).



**Figura II.5 – Valores médios anuais para 2009 do débito de equivalente de dose ambiente medido nos quatro pontos de medida do *campus* do ITN (valores expressos em nSv.h<sup>-1</sup>)**

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. No caso do ponto LMRI, observa-se que os valores medidos em 2009 são ligeiramente mais elevados do que os registados em 2008 (Madruga *et al.*, 2008 & 2009). Os valores medidos em 2009 e apresentados na Tabela II.6 são valores considerados normais, compatíveis com valores anteriormente publicados (Amaral, 1995).

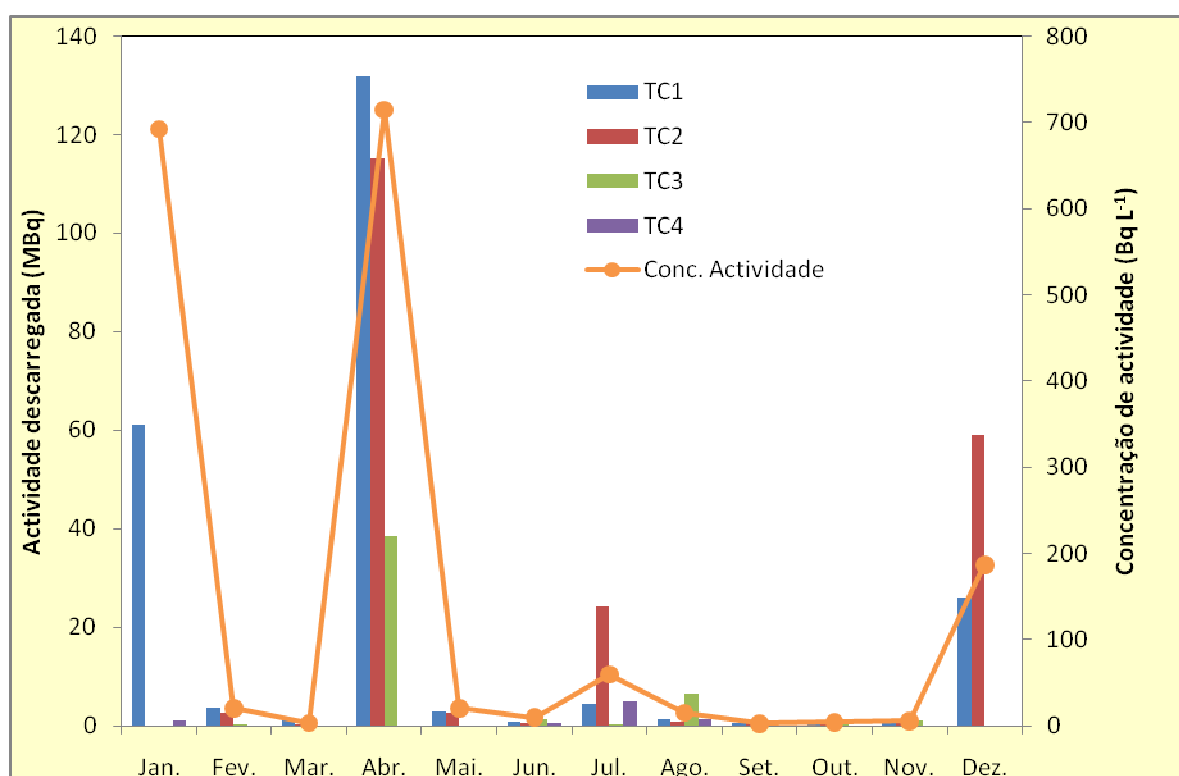
Tomou-se como valor representativo para a região de Lisboa o valor médio das medidas realizadas nos pontos Oficinas, Administração e LMRI, com períodos de integração superiores a 60 dias, em cada trimestre.

## II.5. MONITORIZAÇÃO NA FONTE

### II.5.1. Descargas Líquidas

Durante o ano de 2009, 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, encontra-se desactivado para remodelação integral da estação. As análises às amostras de efluentes foram realizadas no laboratório de medida do GRRR.

Na Figura II.6 são apresentadas as actividades totais descarregadas ao longo do ano.



**Figura II.6 – Variação mensal da actividade descarregada por tanque durante o ano de 2009 e variação mensal da concentração de actividade total para o mesmo período.**

A actividade total descarregada ao longo do ano foi de 500 MBq para um volume total de 5141 m<sup>3</sup>, valores superiores aos reportados para o ano anterior. Ao contrário de 2008, registaram-se descargas em todos os meses do ano. Como se pode observar através da Figura II.6, a concentração de actividade variou entre 3 Bq L<sup>-1</sup> (nos meses de Março e Setembro) e 714 Bq L<sup>-1</sup> (no mês de Abril), tendo sido sempre inferior ao limite de descarga em vigor no ITN (740 Bq L<sup>-1</sup>).

## II.5. CONCLUSÕES

Os resultados do Programa de Monitorização relativo ao ano de 2009 mostram que os níveis de radioactividade de origem antropogénica no ambiente exterior do *campus* do ITN são baixos. As concentrações de  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$  e  $^3\text{H}$  mantiveram-se, na maior parte dos casos, abaixo da actividade mínima detectável ou em níveis sem significado do ponto de vista da protecção radiológica. É apenas de mencionar a detecção de  $^{131}\text{I}$  no filtro de aerossol recolhido na semana de 28/10/2009. Pelo facto de se tratar de um caso pontual, considerando a baixa concentração determinada ( $1,0 \pm 0,1 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ) e o curto período de semi-desintegração do radionuclido em causa (8 dias), esta ocorrência não teve qualquer expressão em termos de protecção radiológica da população.

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.

As concentrações de actividade nos efluentes líquidos descarregados para a ETAR, situaram-se sempre abaixo do limite de descarga em vigor no ITN ( $740 \text{ Bq L}^{-1}$ ).



## **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.
- A. Ioannidou, C. Papastefanou, (2006), Precipitation scavenging of  $^7\text{Be}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides in air, *Journal of Environmental Radioactivity*, 85, 121-136.
- A. Baptista, J. Venâncio, (2009), Detecção de matérias radioactivas em sucatas metálicas na Recifemetal – Reciclagem de Ferros e Metais, S.A., Arranhó, Relatório UPSR-C, nº 26.
- 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.
- Madruga M.J., Carvalho F.P, Reis M., Alves J., Corisco J., Trindade R., Pinhão N., Oliveira J.M, Libânio A., Mourato A., Silva G., Portugal L., Santos L., Lopes I., Silva L., Abrantes J., Torres L., Malta M., Gomes A.R., Carvalhal G., Fonseca H., Melo J., Pereira M., Baptista A., (2009). Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2008). Relatório UPSR, Série A, nº33/09, ISBN 978-989-96542-0-4, 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 radionuclidos primordiais existentes no solo. Monografia apresentada para prestação de provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar.
- J.G. Alves, J.L. Muñoz, 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 P. Carvalho

***Técnico Superior***

Margarida Malta

***Técnico***

João Maria Oliveira



### III.1. OBJECTIVOS

#### III.1.1 Introdução

Em Portugal entre 1908 e 2001 foram explorados 60 depósitos de minérios radioactivos para a produção de rádio e de urânio. Em 2001, com o encerramento das actividades da Empresa Nacional de Urânio (ENU-SA) o património desta empresa pública, incluindo os 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 e integrando a representação de vários Ministérios. 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 POR/4/015 intitulado “Assessment of Environmental Contamination Around Abandoned Uranium Mines for Environmental Remediation” 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 onde estão situadas as antigas minas de urânio e a investigação da contaminação ambiental e dos seus efeitos sobre a saúde pública. Constatada 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 colocação 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, incluindo membrana geo-têxtil, argila, e 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 realizado pelo ITN, em cumprimento do disposto no Tratado Euratom Art.º, 35 e 36, e do Decreto-Lei nº 165/2002, Artº14, alínea o), tem por finalidade obter e actualizar o conhecimento da radioactividade no ambiente nessas zonas, detectar eventuais situações de exposição da população a doses elevadas de radiações ionizantes resultantes dos resíduos das minas, e detectar a dispersão ou transferência ambiental dos elementos radioactivos existentes naqueles resíduos, a fim de permitir a sua correcção.

### **III.1.2 Plano de Monitorização de 2009**

Para 2009 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. Tal com em anos anteriores, não seria viável monitorizar todos os 60 sítios das antigas explorações de urânio, aliás muitos deles de pequena dimensão e sem resíduos abandonados no local. Assim, estabeleceram-se prioridades e seleccionaram-se as áreas a monitorizar em 2009, procurando-se complementar a monitorização efectuada em anos anteriores.

Para 2009 as áreas seleccionadas foram:

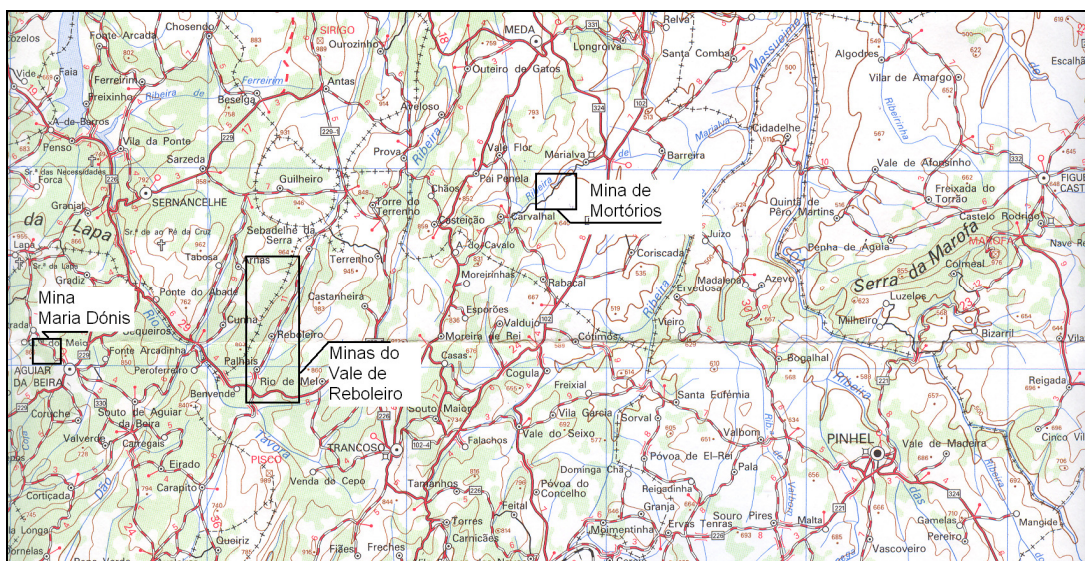
- a) Zona da Mina de Mortórios (Concelho de Meda) e da Mina Maria Dónis (Concelho de Aguiar da Beira)
- b) Zona das minas situadas no vale do Reboleiro (Concelho de Trancoso)
- c) Zona das minas da Urgeiriça, Quinta do Bispo e Cunha Baixa (Concelhos de Nelas e de Mangualde)

d) Sub-sistema hidrográfico da Ribeira da Pantanha e Ribeira do Castelo-Bacia do Rio Mondego

Procedeu-se à amostragem ambiental das zonas envolventes destas antigas explorações de rádio e urânio na Beira Alta, com especial atenção para as linhas de água que recebem os efluentes das minas e para as hortas situadas ao longo destas linhas de água.

A zona da mina de Mortórios fora incluída no programa de monitorização da radioactividade ambiental em 2008 e revisitou-se em 2009 para aprofundar o estudo da lagoa que preenche a cratera mineira. A Mina de Maria Dónis, perto de Aguiar da Beira, é também uma cratera mineira preenchida com uma lagoa (Figura III.1).

A zona da Mina da Urgeiriça em Canas de Senhorim (Concelho de Nelas), onde se concentram os principais resíduos do tratamento químico do minério de urânio, e que teve já trabalhos de remediação ambiental na chamada Escombeira Velha, foi monitorizada com especial incidência na determinação dos radionuclídeos da série do urânio em solos, sedimentos, águas e produtos hortícolas, atmosfera (radão) e poeiras em suspensão (Figura III.2).



**Figura III.1. Localização das minas de Mortórios, Maria Dónis e minas situadas na zona da vila de Reboleiro.**



**Figura III.2. Vale do Rio Mondego e antigas minas de urânio nos concelhos de Nelas, Mangualde e Carregal do Sal.**

A monitorização das minas situadas no vale do Reboleiro (Trancoso) acrescenta às campanhas de anos anteriores a monitorização detalhada de uma nova área e na qual recentemente houve alterações nas escombreciras.

A zona das antigas minas da Quinta do Bispo, Cunha Baixa e Espinho (Mangualde) foi monitorizada para a radioactividade na água, solos e produtos hortícolas. De igual modo as sub-bacias hidrográficas da Ribeira da Pantanha e da Ribeira do Castelo, afluentes da margem direita do Mondego foram monitorizadas (Figura III.2).

A monitorização da região da Urgeirica (Nelas), incluindo as bacias hidrográficas que recebem as escorrências desta área, foi efectuada em anos anteriores (Carvalho et al., 2006a; 2006b; 2006c) e repetiu-se em 2009 por se tratar de uma zona de remediação ambiental recentemente efectuada pela EDM e com trabalhos ainda em curso com assinalável importância para a contenção e controlo dos efluentes 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 radionuclídeos 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 para consumo humano foi sempre amostrada nas povoações 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 e a filtração da amostra. A amostragem na totalidade dos locais aqui descritos foi efectuada em duas missões de campo, com a duração de uma semana cada, realizadas em Agosto.

### **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 HNO<sub>3</sub> 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, tais como cenoura, tomate, alface, e frutos, 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 (<sup>232</sup>U, <sup>229</sup>Th, <sup>224</sup>Ra, <sup>209</sup>Po e Pb estável). Procedeu-se à dissolução total das alíquotas em HNO<sub>3</sub>, 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 (<sup>222</sup>Rn) no ar de superfície foi efectuada 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

#### III.3.1. Zona da Mina dos Mortórios (Concelho de Meda) e Mina Maria Dónis (Concelho de Aguiar da Beira)

A **Mina de Mortórios** fica situada no concelho de Meda, a leste e próxima da estrada municipal de Carvalhal-Marialva, numa região pedregosa e com pouca aptidão agrícola (Figura III.3). A extracção do minério de urânio foi efectuada a céu aberto e a cratera mineira tem uma dimensão considerável. O seu contorno é quase oval, com cerca de 245 e 70 metros de comprimento dos eixos principais e 20 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 consumo alimentar (Figura III.4). 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 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.

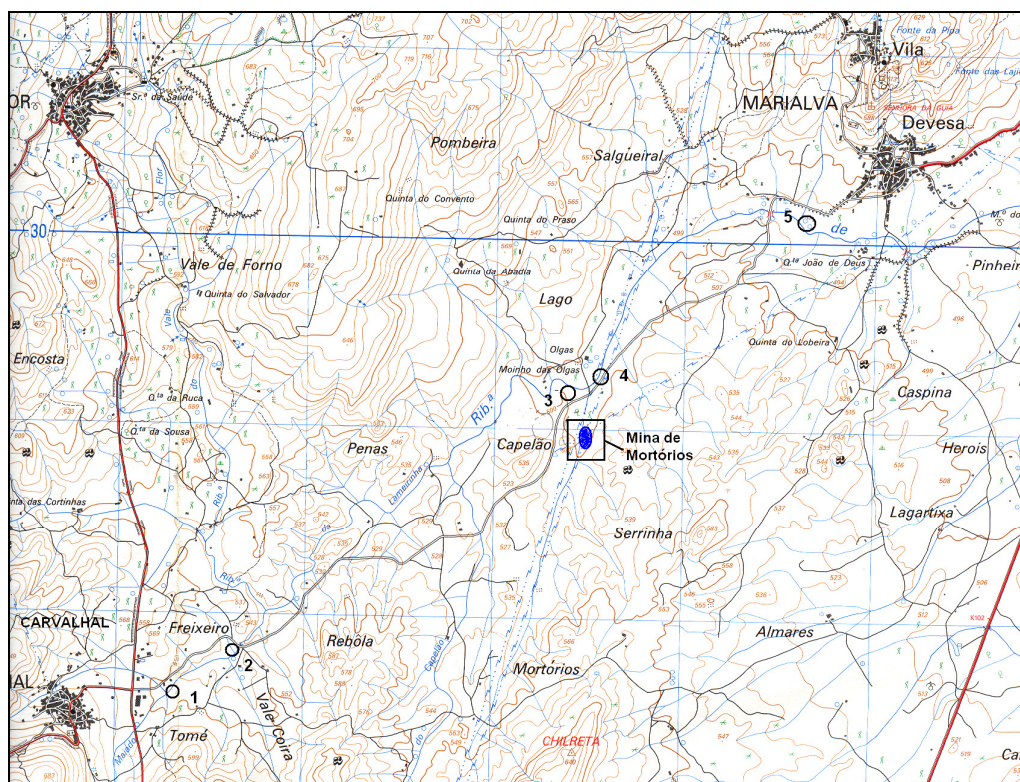


Figura III.3. Mina de Mortórios, no Concelho de Meda, e Ribeira de Marialva. As estações de amostragem estão assinaladas com números 1 a 5.



**Figura III.4. Mina de Mortórios, Concelho de Meda. Lagoa da cratera mineira e, ao fundo, parte das escombreiras.**

A Ribeira de Marialva, que corre de Sudoeste para Nordeste, passa a menos de 100 m destas escombreiras e, no passado, provavelmente recebeu as descargas das águas residuais da extracção mineira, continuando no presente a receber as escorrências superficiais das escombreiras durante o período das chuvas. Entre as povoações do Carvalhal e Devesa-Marialva, em ambas as margens da ribeira existem várias hortas com dimensões muito variáveis. Estas hortas são irrigadas com água da ribeira ou de poços de rega geralmente situados na margem da ribeira.

A análise de radionuclidos nos sedimentos da Ribeira de Marialva indica um aumento das concentrações de urânio na proximidade da Mina dos Mortórios, tal como verificado anteriormente, e que resultou seguramente de descargas e escorrências da mina e escombreiras ocorridas durante anos para esta linha de água. Os solos das hortas implantadas nas margens da ribeira têm concentrações dos radionuclidos mais baixas que as dos sedimentos do leito, e apresentam variações por vezes significativas de um local para outro. Os valores das concentrações são, no entanto, banais em regiões graníticas (Tabela III.1).

As concentrações de radionuclidos na fase dissolvida da água da Ribeira de Marialva e dos poços de rega, bem como na matéria em suspensão, são geralmente baixas para todos os radionuclidos, embora se tenha observado que a água da ribeira tem concentrações de urânio ligeiramente mais elevadas que as dos poços de rega (Tabela III.2 e III.3). A água de consumo, da rede de distribuição que abastece Marialva, e com origem na Barragem da Teja na bacia

hidrográfica da Ribeira da Teja, tem radioatividade total inferior às actividades determinadas na bacia da Ribeira de Marialva e, no plano radiológico, é potável.

Outro tanto não sucede com a água da cratera mineira da Mina de Mortórios, cuja concentração em  $^{238}\text{U}$ , medida a diferentes profundidades, variou entre 15,5 a 20,2 Bq/L, com os valores mais elevados registados á superfície. O  $^{226}\text{Ra}$  dissolvido apresentou valores duas a três ordens de grandeza mais baixos que os do urânio, e concentrações mais elevadas na água do fundo que na água de superfície. Estas variações das concentrações com a profundidade da coluna de água relacionam-se com a diferente solubilidade dos estados de oxidação do urânio e do rádio em função da ausência de oxigénio dissolvido na camada de água junto ao fundo da cratera. Os outros descendentes do urânio apresentaram concentrações na fase solúvel inferiores às do  $^{226}\text{Ra}$ . (Tabela III.3).

Na parte mais profunda desta cratera mineira, cerca de 20 m abaixo da superfície da lagoa, o sedimento acumulado ao longo de anos é uma vasa fina e anóxica, com elevado teor em  $\text{H}_2\text{S}$ , de provável origem biogénica (detritos de fitoplancton) e diagénica (Tabela III.3, amostra #8), contrastando com o sedimento arenoso-vasoso da orla da cratera colhido numa zona de crescimento de tífis (amostra #16). Enquanto a concentração de  $^{238}\text{U}$  na vasa do fundo da lagoa era de 12,3 kBq/kg no sedimento da margem era de 4 kBq/kg, o que mostra o efeito das partículas biogénicas, enriquecidas em U removido da camada de água superficial, na acumulação de urânio no fundo da lagoa. O urânio depositado na vasa do fundo, em virtude da ausência de oxigénio, é reduzido para U(IV), insolúvel, e mantém-se no sedimento. Em contrapartida, o urânio da rocha e cascalhos da orla e zonas mais superficiais da cratera mineira, onde a água está saturada de oxigénio dissolvido, é provavelmente oxidado para U(VI) e facilmente dissolvido, repondo a concentração de U na água de superfície da lagoa.

As concentrações de urânio ( $^{238}\text{U}$ ) determinadas na água superficial da cratera mineira foram semelhantes às determinações do ano anterior (19,4 Bq/L) o que sugere que a dissolução do urânio e descendentes do urânio das rochas da cratera se encontra estabilizada. As pequenas oscilações dos valores na camada de água superficial da lagoa são provavelmente devidas a variação do volume de água, dependente das chuvas e da evaporação. Não existe comunicação entre a lagoa da cratera mineira e a Ribeira de Marialva, pelo que a água contaminada da lagoa permanece confinada à cratera, embora não se exclua a possibilidade de infiltração nos poços de rega mais próximos.

A análise dos organismos aquáticos da lagoa da cratera mineira incluiu plantas aquáticas macrofíticas (tífis, juncos e ranúnculos), fitoplancton, macroinvertebrados (larvas e adultos de insectos aquáticos, sobretudo coleópteros) e peixes ciprinídeos (carpas, *Cyprinus carpio*). As concentrações de  $^{238}\text{U}$  atingiram um máximo de 24,8 kBq/kg (peso seco) nas

plantas aquáticas submersas e 3.85 kBq/kg (peso seco) no fitoplankton (Tabela III.3). No tecido muscular (filete) dos peixes ciprinídeos a concentração de  $^{238}\text{U}$  foi de 14,3 kBq kg<sup>-1</sup>(peso seco) determinada no ano anterior.

A elevada concentração de urânio na água da cratera mineira reflecte-se na acumulação deste radioelemento bem como de  $^{226}\text{Ra}$ , e sobretudo de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$  nos peixes, tanto no filete como nos outros tecidos e órgãos internos, numa distribuição que resulta do metabolismo destes radionuclidos (Carvalho e Oliveira, 2008). O consumo frequente de peixes desta lagoa, poderá originar uma exposição aos radionuclidos ingeridos que elevaria significativamente a dose de radiação interna anual dos consumidores. Esta transferência de radionuclidos por via alimentar seria semelhante, mas com valores de dose mais elevados do que foi calculado para o consumo de peixes do Rio Mondego junto à descarga da Ribeira da Pantanha (Carvalho et al., 2007). O consumo frequente de peixe desta lagoa poderia conduzir a uma exposição radiológica acima dos limites legalmente estabelecidos na União Europeia para membros do público (Directiva EU 96/29). Apesar de o limite de dose só ser ultrapassado no caso de se verificar um elevado consumo de peixe da cratera mineira, á taxa média de 1 kg por semana durante um ano, e de esta frequência não ser provável (o stock de peixes ficaria muito reduzido) esse consumo não deve ser permitido. Isto não obsta a uma eventual prática de pesca desportiva na lagoa da cratera mineira com a devolução dos peixes à água. Note-se que na região há escassez de água e de lagoas pelo que a procura desta lagoa pela população, embora não autorizada e com o acesso dificultado por uma vedação de arame, é compreensível e tem valor social.

A utilização directa de água da cratera mineira para a rega das hortas deverá ser também desencorajada pois, com o decorrer dos anos essa prática pode 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 irrigação dos campos de cultivo com água da Ribeira de Marialva e água dos poços das hortas, dadas as concentrações relativamente baixas medidas, não conduz a acumulação de radionuclidos nos vegetais e frutas significativamente acima das concentrações determinadas nos locais de referencia. Contudo, os vegetais cultivados a logo a jusante da mina (Tabela III.5, estação #3), apresentam as concentrações mais elevadas da zona. Apesar disso, as amostras de hortícolas como alface e batatas, e frutos como peras, nas hortas a jusante da Mina de Mortórios perto de Marialva não apresentam elevação significativa das concentrações de radionuclidos quando comparadas com produtos idênticos da aldeia do Carvalhal, situada a montante da Mina (Tabela III.5, estação #1).



A **Mina de Maria Dónis**, ou Maria Dona, fica situada nos arredores de Aguiar da Beira, a cerca de uma centena de metros da represa e ETA de Carvalhal do Eiro, a qual abastece de água o concelho de Aguiar da Beira. A Mina foi explorada a céu aberto e a cratera circular deu origem a uma lagoa permanente, alimentada pela chuva. A lagoa tem cerca de 80 m de diâmetro e 8 m de profundidade, e uma importante vegetação aquática e arbustos ribeirinhos de origem espontânea. Há alguns anos foram introduzidos peixes na lagoa (ruivaco e bordalo) e que ali se adaptaram. Ao lado da cratera existe uma escombreira de resíduos mineiros, com acesso vedado e assinalada com uma tabuleta indicando «Escombros Mineiros» (Figura III.5).

O sedimento da zona mais profunda da cratera tem concentração elevada de urânio ( $^{238}\text{U}$ ), 5,07 kBq/kg. A água de superfície apresentou 0,05 Bq/L de  $^{238}\text{U}$ , apenas ligeiramente diferente da água da camada mais profunda da lagoa, e que é muito mais baixa que a da Mina de Mortórios (Tabela III.2). As plantas aquáticas apresentaram concentrações de urânio muito mais baixas que na mina de Mortórios, como seria de esperar em virtude das concentrações de urânio na água mais baixas (Tabela III.5).

No presente não há hortas activas nos terrenos próximos da mina, e a água da Mina de Maria Dónis não é utilizada para irrigação. Os terrenos circundantes são usados sobretudo para pinhal destinado à produção de celulose. Com as chuvas há escorrências superficiais das escombreiras, uma parte das quais é captada pela lagoa da cratera e outra parte desce a encosta até alcançar a linha de água e a zona de hortas de Aguiar da Beira. Devido à topografia do terreno não é provável que estas escorrências possam alcançar a represa da ETA de Carvalhal do Eiro.

### **III.3.2. Zona das minas do vale do Reboleiro (Concelho de Trancoso)**

A povoação do Reboleiro é a mais importante do vale da Ribeira do Paul, tributária da margem direita do Rio Távora, afluente do Douro. Neste vale foram operadas várias minas: Corguinha dos Prazos, Fonte Velha, Reboleiro e Lenteiros, alinhadas na direcção NE-SW (Figura III.6). A extracção do minério radioactivo foi feita por galeria em todas estas minas. No presente existem ainda escombreiras de minério em vários locais.

A mina de Corguinha teve pequena dimensão e foi já selada. Já a Mina da Fonte Velha tem escombreiras consideráveis depositadas no flanco da encosta e que, recentemente, foram objecto de intervenção para estabilização dos taludes e recuperação da água da mina. A autarquia recuperou uma das casas em granito que serviram de apoio á mina e o fio de água da mina foi canalizado para formar e abastecer uma pequena lagoa junto à casa com a finalidade de transformar este local num ponto de lazer para uso da população (Figuras III.7 A e B). Mais abaixo, no vale, fica a povoação do Reboleiro que cresceu em torno da mina de urânio e das

antigas instalações da Companhia Portuguesa do Rádio, mais tarde transferidas para o património da Junta de Energia Nuclear, depois ENU, ENU-SA e hoje EDM. O poço principal de acesso à mina foi recentemente selado. A escombreira desta mina fica praticamente no centro da povoação do Reboleiro e está rodeada por casario antigo e moderno (Figura III.8).



Figura III.5. Mina Maria Dónis, concelho de Aguiar da Beira. Vista parcial da lagoa da cratera mineira e das escombreiras.

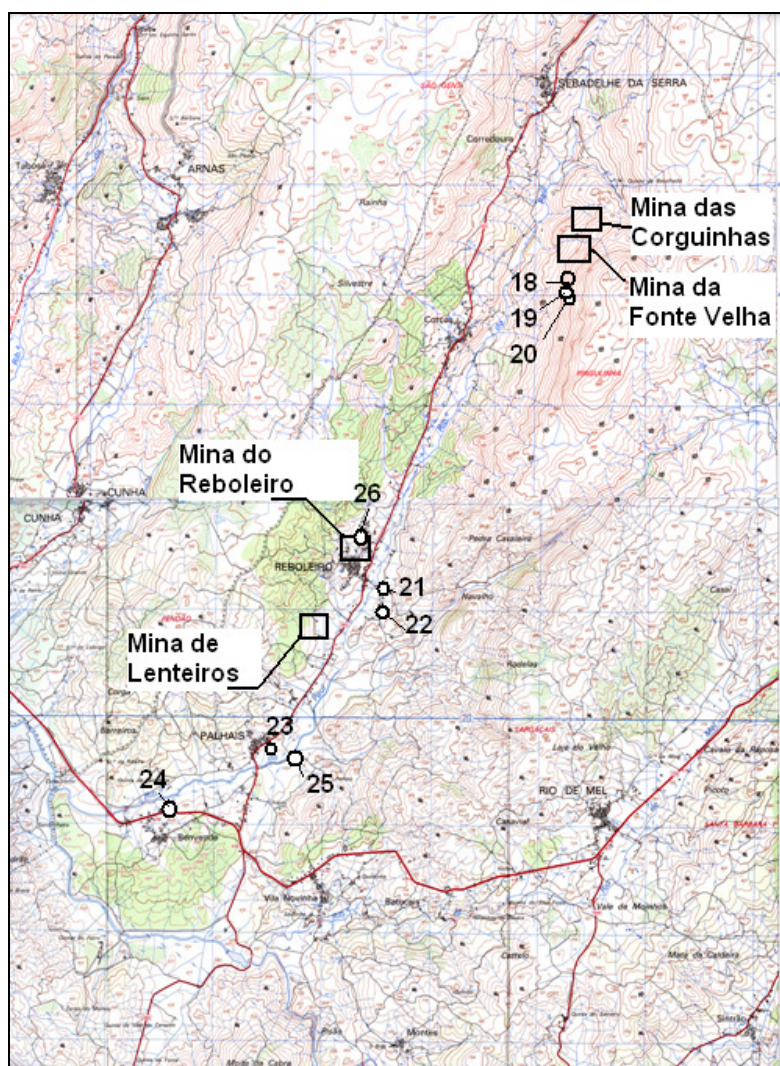


Figura III.6. Vale do Reboleiro, Concelho de Trancoso. São indicadas as quatro minas situadas neste vale e as estações de colheita de amostras.





A



B

**Figura III.7. Vale do Reboleiro. A) Escombrelas da Mina da Fonte Velha no flanco da encosta, vistas da aldeia de Corças. B) Azenha e lagoa recentemente reconstruídas junto à entrada da Mina da Fonte Velha.**



**Figura III.8. Mina do Reboleiro, concelho de Trancoso. Escombrelas já com vegetação espontânea, hortas e casas da povoação.**

A Mina de Lenteiros fica no pinhal do lado Oeste do vale, um pouco abaixo da povoação do Reboleiro, e tem escombros diminutos e já aterrados. No local foi instalado um aviário e há actividade agrícola.



A Ribeira do Paul tem a nascente próximo de Sebadelhe, recebe o fio de água proveniente da Mina da Fonte Velha e no seu curso ao longo do vale integra as escorrências das várias minas e potencialmente transporta-as para as várzeas junto à EN 226, desembocando no Rio Távora perto da povoação de Benvende (Figura III.6). Nas várzeas ao longo da Ribeira do Paul, sobretudo no seu troço inferior, existem hortas, campos de milho e alguma pecuária.

Os produtos recolhidos nas hortas existentes nas margens da Ribeira do Paul, e em particular as alfaces, apresentaram concentrações de  $^{238}\text{U}$  mais elevadas junto ao Reboleiro, 3,5 Bq/kg (peso fresco) e sobretudo na horta situada dentro da povoação e perto da escombeira da CPR/JEN (#26), 0,74 Bq/kg. Os valores de alfaces junto à povoação de Benvende (#24) e de Palhais (#23) são já significativamente mais baixos, 0,16 e 0,24 Bq/kg (peso fresco) (Tabela III.5).

Outros produtos hortícolas das hortas desta zona, como as cenouras, batatas e pepino e abóbora apresentaram concentrações mais baixas que as alfaces. Isso deve-se à mais fácil absorção dos radionuclídeos dissolvidos na água de rega pelos vegetais folhosos, como a alface, conforme se verificou através de cultivos numa horta experimental realizada com condições controladas na zona da mina da Cunha Baixa (Carvalho et al., 2009)

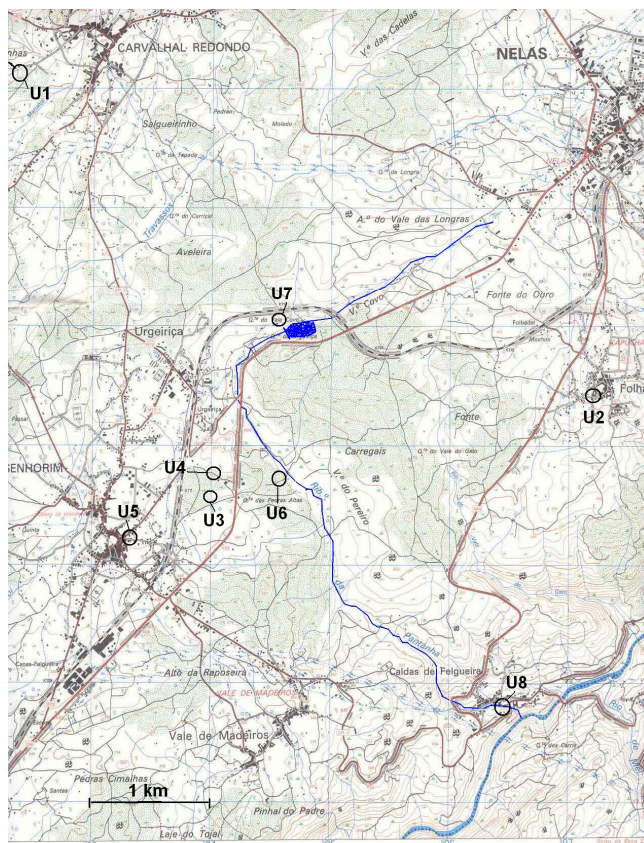
Algumas casas e hortas usam água de furos profundos que contêm concentrações de urânio dissolvido razoavelmente elevadas devido às características uraníferas desta região. Note-se que as águas de superfície, especialmente as da Ribeira do Paul têm, em comparação, valores mais baixos. As povoações da zona são hoje abastecidas com água da rede pública de distribuição, que é potável.

### **III.3.3. Zona das minas da Urgeiriça, Quinta do Bispo e Cunha Baixa**

A escombeira da Barragem Velha da Mina da Urgeiriça foi recoberta com solo e outros materiais para selar os resíduos radioactivos da zona da Urgeiriça num aterro que permanece como uma área vedada e de acesso restrito (Figura III.9). A Barragem Nova, onde foram e são depositadas as lamas do tratamento das águas contaminadas, continua activa e nela se situa a Estação de Tratamento de águas ácidas e radioactivas da Mina da Urgeiriça. Não houve ainda acções de remediação ambiental nas antigas minas de Quinta do Bispo e da Cunha Baixa. Estas áreas mineiras permanecem vedadas e assinaladas como crateras mineiras.

Na zona entre Urgeiriça e Cunha Baixa houve duas outras explorações de urânio, as Minas de Valinhos e de Espinho, de menor dimensão e respectivamente de lavra subterrânea e a céu aberto. Estas duas zonas foram objecto de intervenção recente pela EDM para a sua recuperação ambiental. Em ambas foram mantidas as lagoas que preencheram as antigas crateras mineiras. As áreas foram limpas, as lagoas dragadas e as margens e terrenos circundantes arranjados para as transformar em áreas de lazer, providas com bosque, parque de

merendas e plano de água, e equipadas com algumas infra estruturas (casas de apoio, mesas e bancos, passareiras de acesso à água para pessoas e barcos). Ambas se destinam a usufruto pela população (Figura III.10). Contudo, embora os trabalhos estivessem concluídos em 2008, na altura da amostragem efectuada em 2009 ainda não tinham sido formalmente entregues a concessionários ou autarquias. A área da mina de Espinho permanecia vedada, enquanto a de Valinhos tinha acesso fácil e já era usada por passeantes e banhistas. Tornava-se pois importante avaliar o risco de exposição radiológica por membros do público também nestas áreas.



**Figura III.9. Região da Mina da Urgeiriça e Ribeira da Pantanha, Concelho de Nelas. Estações de amostragem assinaladas com círculos.**



**Figura III.10. Mina de Valinhos, Concelho de Nelas. A lagoa da barragem construída na Ribeira da Pantanha, preenche a antiga cratera mineira e foi arranjada como zona de lazer.**

As Minas de Valinhos e da Urgeiriça e as escombrelas da Barragem Velha e da Barragem Nova estão situadas na bacia hidrográfica da Ribeira da Pantanha, que é afluente do rio Mondego (Figura III.9). As Minas de Quinta do Bispo, Cunha Baixa e Espinho e as respectivas escombrelas estão situadas na bacia da Ribeira do Castelo, também afluente do rio Mondego (Figura III.11).

Os materiais das escombrelas da Mina da Quinta do Bispo, que incluem minérios de baixo teor e materiais rejeitados após lixiviação ácida para extracção do urânio, têm concentrações muito elevadas de  $^{238}\text{U}$  e radionuclidos descendentes. O mesmo sucede na área da Mina da Cunha Baixa, onde há sinais de mistura de alguns escombros radioactivos com solo das hortas mais próximas (ITN, 2008)). Para além disso, houve utilização de escombros destas minas, como no caso de um aterro para construção de um pátio de armazém junto á estação ferroviária de Cubos-Mangualde (Tabela III.1). Esta situação foi herdada do passado da actividade mineira, não tendo havido transporte assinalável de escombros nesta zona durante a última década. Contudo as escorrências superficiais das escombrelas e as águas ácidas destas minas continuaram a ser uma fonte de dispersão de urânio e outros radionuclidos nas áreas de influência ambiental destas explorações.

As águas dos poços situados perto da Mina da Cunha Baixa, ao longo da linha de água na margem esquerda da Ribeira do Castelo, apresentam concentrações de radionuclidos elevadas e pH baixo, cerca de 4-5 (Tabela III.2 e Tabela III.3). Estas concentrações elevadas devem-se à infiltração das águas ácidas da mina da Cunha Baixa no aquífero superficial local. A linha de água que recebe as descargas das águas da Mina da Quinta do Bispo alimenta o aquífero superficial na margem direita da Ribeira do Castelo e a sua influencia faz-se sentir nos poços de rega das hortas, sobretudo no pH baixo e elevada concentração de urânio. A Ribeira do Castelo recebe as descargas destas duas linhas de água e, perto da aldeia de Póvoa de Luzianes, conflui no Rio Mondego. Os resultados de anos anteriores mostraram que há um aumento das concentrações de urânio nos sedimentos da ribeira a partir do ponto de descarga das linhas de água das minas, e gradualmente essas concentrações diminuem para jusante, atingindo valores idênticos aos do fundo radioactivo ambiente antes da descarga no Rio Mondego (Carvalho et al., 2007).

Os poços de rega das hortas situados ao longo das linhas de água provenientes destas duas minas têm concentrações acima do fundo radioactivo ambiente atingindo 7,4 Bq/L de  $^{238}\text{U}$ , o que se pode comparar com as concentrações inferiores a 0,1 Bq/L medidas em poços de zonas não afectadas pelas águas das minas. Os produtos hortícolas das hortas situadas ao longo das linhas de água das duas minas apresentam também concentrações significativamente mais elevadas dos radionuclidos da série do urânio. Os vegetais com concentrações mais altas são as

alfaces, particularmente em urânio,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$  (Tabela III.5). Estes parecem ser os radionuclidos, com destaque para o  $^{226}\text{Ra}$ , com maior transferência do solo e água de rega para os vegetais e destes para os consumidores (Carvalho et al., 2009). As concentrações dos radionuclidos em produtos hortícolas produzidos vários quilómetros a jusante das descargas das linhas de água das minas, como em Póvoa de Luzianes, já apresentam valores ambientais normais (Tabela III.5)

A Mina da Urgeiriça e as escombrelas da Urgeiriça bem como a Mina de Valinhos estão situadas na bacia da Ribeira da Pantanha na qual existem algumas hortas e uma significativa exploração pecuária. As concentrações de radionuclidos nos sedimentos e água da Ribeira da Pantanha mostram a existência de um aumento a partir da zona de descarga dos efluentes mineiros, consistente com o observado no passado.

As águas dos poços de rega da zona apresentaram elevada concentração de radionuclidos, sobretudo de urânio nos poços situados mais perto da Barragem Velha, lugar do Vale Escuro. Contudo a água de poços no interior da povoação de Canas de Senhorim tem concentrações semelhantes às dos poços dos locais de referencia, nas aldeias da Agueira e Folhadal. A água da rede que abastece Canas de Senhorim, proveniente da Barragem de Fagilde no Rio Dão, tem valores ainda mais baixos de radioactividade e está em conformidade com a Lei da Água para os parâmetros radiológicos, isto é, inferior a 1,0 Bq/L e 0,5 Bq/L para actividade beta total e alfa total, respectivamente.

Os produtos das hortas da zona, incluindo as margens da Ribeira da Pantanha e da povoação de Canas de Senhorim e da povoação da Agueira, esta última tomada como referencia, apresentam idênticas concentrações dos radionuclidos e que são as do ambiente radioactivo normal para a região. Já os produtos hortícolas de hortas em Caldas da Felgueira, regadas com água da Ribeira da Pantanha, apresentam concentrações elevadas de urânio acima dos valores habituais da região (Tabela III.5). Isto deve-se, muito provavelmente, ao uso continuado de água e de lamas da Ribeira aspiradas pelas moto-bombas para as hortas dos quintais.

As poeiras atmosféricas analisadas para os principais radionuclidos emissores alfa, indicam valores razoavelmente baixos, com excepção apenas do  $^{210}\text{Pb}$  (Tabela III.6). Não sendo acompanhado por outros radionuclidos da família do urânio, este  $^{210}\text{Pb}$  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.7). 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

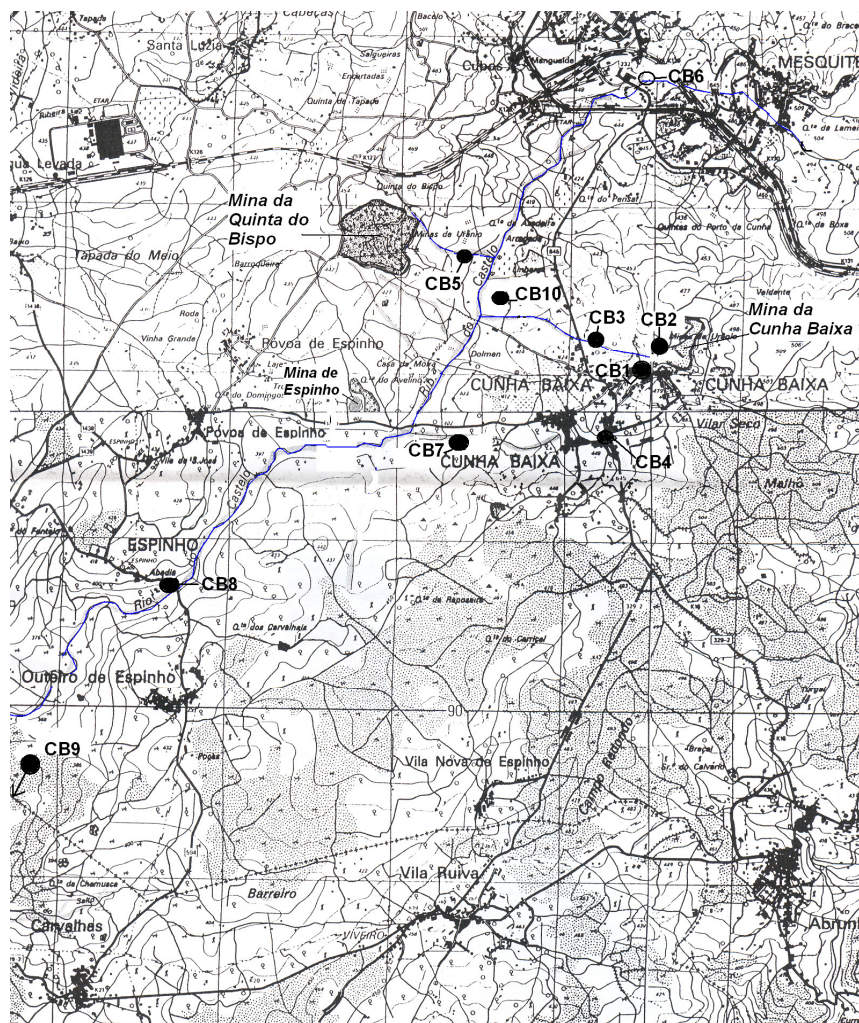
indicam que nas zonas de habitação mais próximas da Barragem Velha a qualidade do ar melhorou no plano radiológico em comparação com anos anteriores (Relatório da Vigilância Radiológica das Minas, 2007).

#### **III.3.4. O sistema hidrográfico Ribeira da Pantanha-Ribeira do Castelo-Rio Mondego**

A Ribeira da Pantanha e a Ribeira do Castelo tal como foi referido acima, são afluentes da margem direita do Rio Mondego (Figuras III.9 e III.11). 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 escombreyras 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 escombreyras 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 o Rio. Vários quilómetros a jusante destas Ribeiras e das antigas minas de urânio, o Rio Mondego está represado pela Barragem da Aguieira. A albufeira da Barragem da Aguieira 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, conforme se mediu em anos anteriores (ITN, 2008).





**Figura III.11. Minas da Quinta do Bispo, de Espinho e da Cunha Baixa, Concelho de Mangualde e Ribeira do Castelo. Estações de amostragem indicadas com círculos pretos.**

Os resultados de 2009 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 Agueira.

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

A lagoa que preenche a cratera da Mina de Mortórios, situada perto de Marialva, apresenta elevadas concentrações de urânio dissolvido. Este urânio, e outros radionuclídeos como o  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$ , são significativamente concentrados pelas plantas aquáticas e pela fauna piscícola ali introduzida. O acesso ao sítio deve permanecer vedado e o consumo do peixe da cratera mineira deve ser desencorajado. O uso da água desta cratera mineira para rega de hortas ou pasto para gado deve ser desencorajado também. No entanto, em virtude da

escassez de lençóis de água na região, nada obsta a que a lagoa possa vir a ser aproveitada para alguns usos futuros, mas o risco radiológico e a regulamentação para uso do local da actual concessão mineira deverão ser avaliados previamente. A Ribeira de Marialva e as hortas ao longo deste curso de água apresentam sinais do impacto da exploração mineira. Contudo, as concentrações de radionuclidos que têm sido determinadas são baixas e, no presente, não requerem qualquer intervenção ou mesmo restrição ao consumo.

A cratera da Mina de Maria Dónis, situada perto de Aguiar da Beira, está também preenchida por uma lagoa permanente povoada com peixes. As concentrações na água e sedimentos da cratera são muito inferiores às da Mina dos Mortórios. Não há hortas activas na redondeza e os terrenos são actualmente usados para pinhal para produção de pasta de papel. Não parece haver risco de as escorrências das escombrelas desta mina alcançarem a barragem de água de consumo de Carvalhal do Eiro (Aguiar da Beira).

As minas situadas no vale do Reboleiro, concelho de Trancoso, têm escombros depositados há superfície e alguns deles remontam ao tempo da Companhia Portuguesa do Rádio em actividade no primeiro quartel do século XX. Estes escombros, sobretudo na aldeia do Reboleiro, têm elevadas concentrações de radionuclidos da família do urânio e estão próximos de habitações, antigas e recentes, e de hortas. Neste vale existem algumas anomalias radioactivas que originam teores relativamente elevados na água de furos profundos. As escorrências superficiais e águas das minas são descarregadas para a linha de água da Ribeira do Paul, que transporta os materiais dissolvidos e em suspensão para as várzeas das margens do Rio Távora, onde a Ribeira do Paul desagua.

As concentrações de radionuclidos nas águas de alguns poços e furos, bem como em vegetais das hortas são mais elevadas que a média da zona. Contudo o consumo destes produtos hortícolas não conduzirá a uma exposição radiológica significativa. As povoações são abastecidas com água da rede, que tem valores mais baixos e normais da radioactividade de origem natural.

As minas da Cunha Baixa e Quinta do Bispo (Mangualde) têm consideráveis volumes de escombros mineiros expostos á erosão e originam águas ácidas contendo elevadas concentrações de radionuclidos que continuam a exigir atenção e tratamento para evitar a contaminação radioactiva do ambiente. Devido á existência de poços de rega com contaminação ácida e radioactiva, as hortas situadas mais próximas das linhas de água provenientes destas minas, deverão continuar a merecer aturada monitorização radiológica. A água destes poços é imprópria para consumo humano, e os habitantes foram informados dos resultados das análises das águas que cederam para análise. Note-se que a generalidade dos

poços é usada apenas para rega, pois as povoações são hoje abastecidas com água de rede pública de distribuição, de qualidade controlada.

As escombrelas situadas na zona da Mina da Urgeiriça foram já objecto de um projecto de remediação ambiental e selagem dos resíduos sólidos. As escorrências desta escombrela e as águas ácidas da mina são tratadas numa estação de neutralização. 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 2009 descargas significativas de contaminantes radioactivos pelas Ribeiras do Castelo e da Pantanha, provenientes das antigas minas monitorizadas.



**Tabela III.1 – Concentração dos radionuclídeos em escombros das explorações mineiras, solos de hortas e sedimentos do leito de ribeiras, fracção < 63 µm (Bq kg<sup>-1</sup> peso seco).**

Designação	Amostra	Id.	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb= <sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
<b>Missão 3-7.8.2009</b>									
<i>Zona da Mina de Mortórios</i>									
Horta, Marialva	Solo	#1	538±16	26,8±2,0	555±16	498±19	2850±272	614±22	143±7
Ribeira Marialva	Sedimento	#2	961±31	38,8±3,2	1006±33	565±23	1047±98	766±23	123±8
Horta, Marialva	Solo	#3	427±13	20,7±1,7	468±14	390±14	300±27	359±13	181±7
Ribeira Marialva	Sedimento	#4	2144±57	90,2±4,7	2204±59	1180±42	783±74	1125±36	200±9
Horta, Marialva	Solo	#5	386±12	18,2±1,8	399±12	391±20	713±81	390±15	148±10
Mina Murtórios -18m	Sedimento	#8	12284±308	532±17	12029±302	8443±286	4881±310	8001±246	133±8
Mina Murtórios, tifas	Sedimento	#16	4805±136	209±8	4715±134	2356±75	1562±94	1851±58	253±10
<i>Zona das Minas do Vale do Reboleiro</i>									
Sup., Mina Fonte Velha	Escombros	#18	714±19	33,9±2,4	756±20	696±31	709±48	680±21	132±9
Lagoa, Mina Fonte Velha	Sedimento	#19	1974±52	83,8±4,1	1982±52	1268±45	2120±197	5825±177	51,2±3,8
Inf., Mina Fonte Velha	Escombros	#20	434±12	21,2±1,8	448±13	553±44	1070±104	530±19	144±17
Ribeira do Paúl	Sedimento	#21	544±14	25,0±1,7	563±15	396±24	876±82	490±16	139±12
Horta, Reboleiro	Solo	#22	504±14	24,7±1,8	524±15	687±25	871±350	868±32	170±8
Horta, Palhais	Solo	#23	458±13	21,5±1,6	472±13	430±19	490±64	524±19	141±8
Horta, Benvende	Solo	#24	689±16	28,0±1,4	709±16	444±16	509±39	401±12	152±7
Ribeira do Paúl	Sedimento	#25	824±18	33,7±1,9	894±20	587±36	945±113	734±26	111±12

Designação	Amostra	Id.	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb= <sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Horta, Reboleiro	Solo	#26	1035±22	48,9±1,9	1043±22	1450±46	6132±332	748±24	172±6
Mina do Reboleiro	Escombros	#27	19090±472	831±25	19067±472	19493±746	13544±1367	16172±790	149±9
<b>Zona da Mina Maria Donis</b>									
Mina Maria Donis	Sedimento	#29	5070±134	244±10	4960±131	5050±184	3101±171	13161±407	125±8
<b>Missão 10-14.8.2009</b>									
<b>Zona da Urgeiriça; Quinta do Bispo e Cunha Baixa</b>									
Horta, Aguieira	Solo	#1	198±6	9,6±0,9	201±6	456±19	395±46	302±12	178±9
Horta, Folhadal	Solo	#2	275±10	12,2±1,5	265±10	433±18	564±63	473±18	280±12
Horta, Urgeiriça	Solo	#3	279±9	12,3±1,3	276±9	303±12	384±85	254±10	270±11
Horta, Urgeiriça	Solo	#5	350±12	13,2±1,4	338±11	320±22	531±64	314±14	241±17
Horta, Urgeiriça	Solo	#6	369±12	18,1±1,8	365±12	375±14	280±30	333±15	269±11
Horta, Valinhos, Urgeiriça	Solo	#7	533±15	24,2±1,8	514±15	681±28	832±76	334±14	220±11
Horta, Caldas da Felgueira	Solo	#8	6458±155	278±9	6324±152	1153±50	1000±101	628±24	261±14
Horta, Cunha Baixa	Solo	#1	5506±137	254±9	5409±135	2715±91	2183±239	2589±90	190±9
Horta, Cunha Baixa	Solo	#2	10111±267	396±13	9581±253	2872±94	4452±274	4899±162	250±10
Horta, Cunha Baixa	Solo	#3	2010±49	97,6±4,2	1985±49	1414±48	1956±136	1128±35	207±9
Horta, Cunha Baixa	Solo	#5	584±18	25,7±2,2	605±18	726±31	695±48	734±28	228±11
Horta, Cubos	Solo	#6	314±10	15,0±1,6	316±11	560±24	512±52	567±26	132±8
Horta, Cunha Baixa	Solo	#7	223±8	10,4±1,4	237±9	286±14	336±28	327±15	282±13

Designação	Amostra	Id.	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}=\text{}^{210}\text{Po}$	$^{232}\text{Th}$
Horta, Cunha Baixa	Solo	#8	334±8	15,8±1,1	341±8	376±17	580±56	385±14	236±12
Horta, P. Luzianes	Solo	#9	516±17	18,9±2,0	526±18	761±28	550±33	476±18	284±12
Pomar Pisão, Cunha Baixa	Solo	#10	382±9	19,1±1,1	402±9	572±20	453±35	494±17	330±12
Solo aterro gare, Cubos	Solo		2894±76	140±6	2951±77	3587±122	2598±146	3308±114	208±9

**Tabela III.2 – Concentração dos radionuclídeos nas águas de Poços, ribeiras e rêdes de distribuição de água para consumo (fase solúvel, < 0.45 µm) (mBq L<sup>-1</sup>).**

Local da colheita	Id.	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
<b>Missão 3-7.08.2009</b>									
<i>Zona da Mina de Mortórios</i>									
Poço, Lameirinhas, Marialva	#1	53,8±1,5	2,6±0,2	55,7±1,5	0,47±0,07	19,0±1,2	43,9±1,3	17,8±0,5	0,07±0,02
Ribeira de Marialva	#2	118±3	5,4±0,2	119±3	0,31±0,05	13,7±1,1	8,7±0,3	14,2±0,5	<0,2
Poço, horta, Murtórios	#3	15,3±0,5	0,74±0,08	15,7±0,5	0,85±0,13	9,7±0,7	4,1±0,2	21,4±0,9	0,15±0,06
Ribeira de Marialva	#4	70,7±1,7	3,4±0,2	73,5±1,8	1,3±0,1	13,6±0,8	14,0±0,5	21,9±1,0	0,08±0,03
Poço, Marialva	#5	33,1±0,9	1,6±0,1	33,4±0,9	1,1±0,2	10,2±0,7	7,4±0,3	20,0±0,9	0,04±0,03
Consumo, Marialva	#6	16,0±0,5	0,74±0,08	15,6±0,5	1,5±0,2	10,7±0,9	0,62±0,05	6,9±0,4	0,5±0,1
Mina de Murtórios, fundo (-15m)	#7	15562±413	703±26	15126±402	0,95±0,11	91,5±6,1	3,2±0,2	21,4±1,0	0,20±0,04
Mina de Murtórios, fundo (-18m)	#8	15730±414	776±27	15479±408	2,1±0,2	495±17	12,6±0,6	45,5±2,0	0,20±0,04
Mina de Murtórios, meio (-10m)	#9	19399±509	888±30	19067±500	0,37±0,07	134±8	0,76±0,04	23,6±1,1	0,14±0,04
Mina de Murtórios, superfície	#10	20183±533	925±32	19848±525	0,84±0,11	50,0±4,2	1,06±0,05	27,8±1,4	0,11±0,05
<i>Zona das Minas do Vale do Reboleiro</i>									
Mina da Fonte Velha	#19	419±12	20,3±0,9	406±12	1,7±0,2	30,3±1,8	15,5±0,5	64,7±3,1	0,03±0,02
Ribeira do Paúl, Reboleiro	#21	258±9	11,6±0,7	255±9	0,81±0,12	58,3±4,3	7,5±0,3	35,8±1,7	0,18±0,06
Furo (-100m), Reboleiro	#22	4205±184	192±9	5863±257	0,90±0,11	29,9±1,3	60,9±2,4	33,0±1,6	0,12±0,04
Poço, horta, Palhais	#23	214±7	10,2±0,6	255±8	0,60±0,07	39,2±2,1	19,8±1,0	13,9±0,8	0,10±0,02
Poço, horta, Benvende	#24	51,9±1,6	2,6±0,2	58,0±1,8	0,10±0,02	129±6	51,9±2,2	42,4±2,4	0,14±0,03

Local da colheita	Id.	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Ribeira do Paúl, Palhais	#25	38,0±1,3	1,5±0,2	40,8±1,4	0,74±0,09	30,8±2,3	9,4±0,4	35,9±2,2	0,09±0,02
Poço superior, Reboleiro	#26	191±5	9,2±0,4	198±5	1,2±0,2	524±22	113±4	67,4±2,4	0,12±0,04
Poço inferior, Reboleiro	#26	62,7±1,4	2,9±0,1	64,4±1,5	0,49±0,06	70,4±3,2	80,9±3,2	58,9±2,9	< 0,2
<b>Zona da Mina Maria Donis</b>									
Mina Maria Donis, fundo	#27	45,3±1,1	2,1±0,1	45,2±1,1	1,4±0,1	770±34	55,6±1,6	65,0±3,0	0,13±0,05
Mina Maria Donis, superfície	#28	51,6±1,3	2,4±0,2	54,3±1,4	1,6±0,2	104±4	5,8±0,2	41,7±2,2	0,05±0,03
<b>Missão 10-14.08.2009</b>									
<b>Zona da Urgeiriça; Quinta do Bispo e Cunha Baixa</b>									
Poço, Aguieira	#1	83,4±2,6	5,7±0,4	76,9±2,4	0,42±0,014	178±10	80,0±2,3	21,2±0,8	0,24±0,08
Poço, Folhadal	#2	49,8±1,7	2,5±0,2	57,3±1,9	0,91±0,08	128±7	39,4±1,2	34,6±2,0	0,04±0,01
Poço, Vale Escuro Urgeiriça	#3	61,0±1,8	2,9±0,2	68,1±2,0	0,11±0,02	130±5	96,1±2,8	8,1±0,2	0,09±0,03
Poço, Vale Escuro Urgeiriça	#4	513±14	21,6±0,9	530±15	0,17±0,04	88,0±6,4	30,4±1,0	2,5±0,1	0,08±0,02
Poço, L. Bento, Urgeiriça	#5	91,5±3,1	5,5±0,4	97,5±3,3	0,04±0,02	234±14	137±5	8,3±0,4	0,003±0,002
Poço, Batuquinho, Urgeiriça	#6	54,8±1,9	2,7±0,3	56,8±2,0	0,38±0,07	29,1±1,4	18,0±0,8	3,30±0,07	0,31±0,06
Poço, Valinhos, Urgeiriça	#7	24,5±0,9	1,6±0,2	27,2±1,0	4,1±0,3	12,0±0,6	65,1±2,5	33,9±0,9	0,60±0,08
Poço, Caldas da Felgueira	#8	28,8±0,7	1,27±0,07	28,4±0,7	0,23±0,04	40,9±1,8	78,2±3,2	2,2±0,1	0,12±0,03
Consumo, Canas de Senhorim	#9	41,4±1,4	3,7±0,3	46,0±1,5	0,36±0,09	21,5±1,2	12,9±0,7	3,1±0,2	< 0,2
Poço, Cunha Baixa, M. Gomes	#1	2236±71	103±4	2103±67	1,2±0,1	228±15	171±6	0,62±0,02	0,19±0,04
Poço, Cunha Baixa	#2	7377±190	341±14	6699±173	9,8±0,2	8803±692	1598±53	153±5	1,6±1,1

Local da colheita	Id.	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Poço, Cunha Baixa	#3	701±20	33,2±1,3	664±19	1,1±0,1	359±20	140±5	0,94±0,04	0,18±0,04
Poço, Cunha Baixa	#4	153±5	9,6±0,7	143±5	0,70±0,09	42,8±3,5	307±10	21,8±1,0	0,21±0,04
Poço, Cunha Baixa, Adelino	#5	1221±48	50,4±2,6	1182±47	1,0±0,1	189±9	123±4	10,4±0,4	0,10±0,05
Poço, Cunha Baixa	#6	130±4	5,8±0,3	127±3	1,9±0,1	157±10	162±6	11,5±0,4	0,21±0,05
Poço, Cunha Baixa	#7	63,2±1,9	2,6±0,2	60,2±1,9	0,50±0,07	71,1±4,1	21,9±1,2	3,7±0,1	0,07±0,02
Consumo, Cunha Baixa	#8	37,3±1,4	1,7±0,2	35,5±1,3	0,46±0,07	13,7±0,7	83,3±2,4	3,5±0,2	0,05±0,02
Cunha Baixa	#9	439±13	21,5±1,0	426±13	-	52,5±2,4	18,0±0,6	7,7±0,4	-
Poço, Pisão, Cunha Baixa	#10	139±4	7,2±0,4	141±4	0,45±0,06	17,8±1,1	3,6±0,2	3,7±0,2	0,22±0,04

**Tabela III.3 – Contribuição da radioactividade nas partículas (> 0,45 µm) em suspensão na água de poços e ribeiras para a actividade total da água (mBq/L).**

Designação	Id.	mg/L	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
<b>Zona da Mina dos Mortórios</b>										
Poço, Lameirinhas, Marialva	#1	3,3	8,8±0,2	0,36±0,03	8,9±0,2	1,8±0,1	6,3±0,5	82,3±2,4	15,6±0,5	0,14±0,04
Ribeira de Marialva	#2	19,0	19,0±0,5	0,93±0,05	20,4±0,5	4,9±0,3	10,4±0,6	21,4±3,9	23,7±0,7	0,60±0,06
Poço, horta, Murtórios	#3	1,8	13,4±0,3	0,55±0,04	13,8±0,4	3,9±0,3	14,4±1,0	21,8±0,8	24,2±0,7	0,43±0,06
Ribeira de Marialva	#4	10,0	71,3±1,8	3,3±0,1	73,8±1,9	28,4±1,2	31,0±1,5	64,3±2,2	60,3±2,0	0,81±0,05
Poço, Marialva	#5	3,4	13,7±0,4	0,66±0,06	13,5±0,4	6,0±0,3	7,7±0,5	15,0±0,6	15,8±0,5	0,51±0,04
Mina de Murtórios, fundo (-15m)	#7	4,4	53,5±1,4	2,6±0,1	53,3±1,4	7,3±0,4	288±17	57,4±2,3	64,4±3,2	0,42±0,04
Mina de Murtórios, fundo (-18m)	#8	71,5	718±16	31,1±0,8	694±16	372±26	166±13	648±23	517±27	5,4±0,4
Mina de Murtórios, meio (-10m)	#9	3,1	123±3	5,6±0,2	121±3	115±5	67,2±2,9	189±7	76,1±3,8	2,2±0,1
Mina de Murtórios, superfície	#10	1,5	70,4±1,8	3,4±0,1	66,3±1,7	74,8±3,2	35,0±1,5	115±4	106±6	1,57±0,09
<b>Zona das Minas do Vale do Reboleiro</b>										
Mina da Fonte Velha	#19	4,8	334±9	15,6±0,5	327±8	145±7	152±8	581±20	436±20	2,7±0,2
Ribeira Do Paúl, Reboleiro	#21	10,5	113±3	5,2±0,2	108±3	75,9±3,8	45,1±2,2	132±5	144±7	1,9±0,1
Furo (-100m), Reboleiro	#22	0,4	40,2±1,1	2,3±0,1	48,4±1,3	16,5±0,9	14,6±0,8	2,5±3,0	32,8±1,8	0,35±0,05
Poço, horta, Palhais	#23	17,0	75,4±2,0	3,5±0,2	78,6±2,1	41,0±2,3	33,1±1,9	104±3	62,4±3,4	1,1±0,1
Poço, horta, Benvende	#24	1,2	15,7±0,5	0,63±0,06	16,6±0,5	8,4±0,5	12,2±0,7	46,9±1,4	16,7±1,0	0,21±0,04
Ribeira do Paúl, Palhais	#25	6,7	23,4±0,7	1,07±0,08	24,8±0,7	9,3±0,6	15,1±0,9	39,1±1,3	30,9±1,0	0,47±0,05
Poço superior, Reboleiro	#26	3,3	76,8±2,1	3,6±0,2	78,5±2,1	25,5±1,2	37,8±2,0	440±14	366±8	0,32±0,04

Designação	Id.	mg/L	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Poço inferior, Reboleiro	#26	0,5	10,8±0,4	0,50±0,07	11,0±0,4	4,0±0,3	5,4±0,5	37,9±1,4	24,9±0,6	0,28±0,05
<b>Zona da Mina Maria Donis</b>										
Mina Maria Donis, fundo	#27	10,0	38,4±1,2	1,9±0,1	38,5±1,2	12,0±0,7	145±9	79,4±2,5	123±16	0,39±0,06
Mina Maria Donis, superfície	#2	1,8	22,7±0,8	1,4±0,1	20,9±0,7	7,2±0,4	45,0±1,8	31,2±1,1	44,4±1,1	0,29±0,05
<b>Missão 11-15.08.2009</b>										
<b>Zona da Urgeiriça, Quinta do Bispo e Cunha Baixa</b>										
Poço, Agueira	#1	3,1	9,8±0,3	0,68±0,06	9,6±0,3	2,8±0,1	5,0±0,2	67,1±8,7	40,4±2,1	0,09±0,01
Poço, Folhadal	#2	1,7	5,8±0,2	0,28±0,04	6,1±0,2	0,98±0,07	5,8±0,4	16,9±0,6	9,5±0,2	0,12±0,02
Poço, Vale Escuro Urgeiriça	#3	1,0	4,5±0,1	0,22±0,03	4,7±0,1	0,84±0,05	8,4±0,6	33,6±1,3	6,4±0,2	0,12±0,02
Poço, Vale Escuro Urgeiriça	#4		14,2±0,3	0,63±0,03	14,6±0,3	0,78±0,05	3,8±0,4	11,2±0,5	4,1±0,1	0,13±0,02
Poço, L. Bento, Urgeiriça	#5		4,3±0,1	0,21±0,02	4,3±0,1	0,78±0,06	7,7±0,9	8,9±0,4	4,1±0,1	0,17±0,02
Poço, Batuquinho, Urgeiriça	#6	3,6	17,8±0,4	0,87±0,04	19,1±0,4	1,4±0,1	4,0±0,5	41,8±1,7	14,2±0,4	0,15±0,02
Poço, Caldas da Felgueira	#8	0,2	24,6±0,6	1,10±0,06	24,3±0,6	2,6±0,2	29,4±1,6	117±4	7,2±0,2	0,34±0,06
Poço, Cunha Baixa, M. Gomes	#1	1,3	36,9±0,8	1,73±0,07	35,8±0,8	2,7±0,2	11,1±0,9	14,4±0,7	11,3±0,5	0,18±0,03
Poço, Cunha Baixa	#2	6,8	174±7	7,8±0,5	164±6	18,2±1,0	38,5±2,5	52,7±2,0	69,9±3,2	0,30±0,04
Poço, Cunha Baixa	#3	1,8	48,9±1,0	2,23±0,07	46,7±0,9	5,5±0,3	16,3±0,6	25,6±3,4	19,9±0,7	0,11±0,02
Poço, Cunha Baixa, Adelino	#5	4,2	45,4±1,3	2,2±0,1	44,6±1,3	1,7±0,1	9,5±0,9	10,7±0,5	7,6±0,3	0,17±0,03
Poço, Cunha Baixa	#6	2,7	10,9±0,4	0,50±0,06	11,3±0,4	1,7±0,1	6,3±0,4	82,6±3,1	24,0±0,6	0,13±0,02
Poço, Cunha Baixa	#7	2,3	9,0±0,4	0,39±0,06	8,6±0,3	1,40±0,09	4,6±0,4	23,8±1,0	5,4±0,2	0,19±0,02



Designação	Id.	mg/L	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Cunha Baixa	#9	31,8	36,6±1,0	1,7±0,1	35,8±1,0	6,7±0,4	50,3±4,5	28,0±1,1	32,0±0,9	0,92±0,07
Poço, Pisão, Cunha Baixa	#10	35,0	95,6±2,5	4,7±0,2	94,5±2,5	8,9±0,4	58,8±4,6	55,5±2,3	38,4±2,6	1,39±0,09

**Tabela III.4 – Concentração de radionuclídeos na matéria em suspensão (> 0,45 µm) nas águas de poços e ribeiros (Bq kg<sup>-1</sup> peso seco).**

Designação	Id.	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
<b>Zona da Mina dos Mortórios</b>									
Poço,Lameirinhas,Marialva	#1	2695±78	109±10	2707±78	538±43	1906±154	24915±322	4716±154	43±11
Ribeira de Marialva	#2	1001±25	49±3	1071±27	260±16	548±34	1126±207	1244±40	32±3
Poço, horta, Murtórios	#3	7633±197	312±21	7857±202	2198±160	8210±548	12381±485	13778±434	244±33
Ribeira de Marialva	#4	7136±185	328±15	7386±191	2845±125	3100±152	6427±223	6087±190	81±5
Poço, Marialva	#5	3992±133	193±19	3939±132	1760±82	2238±155	4372±179	4634±156	148±11
Mina de Murtórios, fundo (-15m)	#7	12060±322	594±32	12024±321	1641±82	64903±3818	12933±515	14531±715	94±9
Mina de Murtórios, fundo (-18m)	#8	10044±228	434±11	9708±220	5203±357	2320±181	9063±319	7235±378	75±6
Mina de Murtórios, meio (-10m)	#9	39760±1012	1815±70	38959±993	37108±1629	21634±925	60843±2137	24509±1212	708±38
Mina de Murtórios, superfície	#10	46972±1214	2263±97	44202±1146	49875±2166	23327±989	76465±2651	70574±3686	1048±58
<b>Zona das Minas do Reboleiro</b>									
Mina da Fonte Velha	#19	69222±1816	3236±104	67651±1776	30095±1524	31418±1632	120313±4092	90161±4111	569±34
Ribeira do Paúl, Reboleiro	#21	10765±276	493±19	10334±265	7230±362	4290±212	12610±463	13766±684	182±12
Furo (-100m), Reboleiro	#22	101710±2780	5742±296	122533±3298	41829±2331	36920±1941	233977±7618	82895±4456	878±117
Poço, horta, Palhais	#23	4434±119	208±10	4622±124	2409±138	1946±110	6094±182	3668±196	64±6
Poço, horta, Benvende	#24	13192±420	531±50	13915±439	7043±446	10217±566	39287±1205	13908±813	174±33
Ribeira do Paúl, Palhais	#25	3516±106	160±13	3725±111	1388±84	2258±140	5863±192	4629±150	70±8
Poço superior, Reboleiro	#26	23283±625	1101±58	23813±638	7735±375	11472±622	133379±4422	111198±2507	96±12
Poço inferior, Reboleiro	#26	21534±830	998±139	21886±839	7923±560	10676±960	75132±2717	49208±1224	545±97

Designação	Id.	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
<b>Zona da Mina Maria Donis</b>									
Mina Maria Donis, fundo	#27	3838±116	187±14	3856±116	1200±73	14472±881	7938±249	12326±1561	39±6
Mina Maria Donis,superfície	#28	12435±437	781±77	11458±410	3958±214	24690±1005	17074±602	24293±611	161±27
<b>Missão 11-15.08.2009</b>									
<b>Zona da Urgeiriça, Quinta do Bispo e Cunha Baixa</b>									
Poço, Agueira	#1	3175±110	222±21	3122±108	891±40	1625±69	21672±2800	13049±667	30±4
Poço, Folhadal	#2	3437±132	164±21	3608±137	579±40	3392±246	9450±346	5650±142	72±11
Poço, Vale Escuro, Urgeiriça	#3	4491±143	221±29	4689±146	840±52	8403±648	33553±1321	6456±170	118±16
Poço, Vale Escuro, Urgeiriça	#4	-	-	-	-	-	-	-	-
Poço, L. Bento, Urgeiriça	#5	-	-	-	-	-	-	-	-
Poço, Batuquinho, Urgeiriça	#6	4992±110	244±11	5376±118	406±29	1136±130	11756±472	3999±133	43±7
Poço, Caldas da Felgueira	#8	127290±3146	5676±339	125900±3119	13547±1090	151675±8116	602949±22632	37067±1291	1776±314
Poço, Cunha Baixa, M. Gomes	#1	28460±604	1335±53	27632±587	2111±136	8542±694	11089±510	8711±352	138±21
Poço, Cunha Baixa	#2	25758±1019	1153±73	24280±963	2684±152	5696±376	7787±303	10346±526	45±6
Poço, Cunha Baixa	#3	27210±531	1240±42	25958±508	3071±189	9057±353	14206±1874	11063±388	62±14
Poço,Cunha Baixa, Adelino	#5	10936±320	531±31	10744±315	413±26	2298±215	2580±124	1833±66	42±6
Poço, Cunha Baixa	#6	4052±135	187±22	4174±138	616±38	2345±167	30558±1138	8874±286	48±7
Poço, Cunha Baixa	#7	3953±148	172±24	3797±144	614±40	2031±181	10451±434	2389±70	83±11
Cunha Baixa	#9	1154±31	54±3	1128±31	212±11	1583±143	881±34	1009±29	29±2

---

Designação	Id.	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Poço, Pisão Cunha Baixa	#10	2732±72	133±6	2701±71	253±12	1678±132	1586±67	1098±70	40±2

**Tabela III.5 – Actividade específica dos radionuclidos nas plantas aquáticas e produtos hortícolas (peso fresco).**

Local da colheita	Id.	PS/PH	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
<b>Bq/kg</b>										
<b>Missão 3-7.08.2009</b>										
Tifas, fruto, Mina de Murtórios		0,32	1,33±0,04	0,055±0,0	1,26±0,04	0,225±0,015	3,5±0,1	0,24±0,04	0,63±0,03	0,012±0,03
Tifas, folhas, Mina de Murtórios		0,19	9,2±0,2	0,44±0,02	9,0±0,2	1,25±0,06	20,4±1,6	795±88	990±28	0,035±0,004
Tifas, caule, Mina de Murtórios		0,29	4,7±0,1	0,23±0,01	4,5±0,1	1,1±0,1	27,1±3,0	0,20±0,01	0,55±0,03	0,024±0,008
Plantas aquáticas, Mina de Murtórios		0,13	3178±160	146±9	3035±153	119±6	445±38	68,8±7,9	86,3±4,6	9,8±0,6
Juncos, Mina de Murtórios		0,39	55,7±2,6	2,7±0,2	51,7±2,5	1,53±0,08	30,5±3,1	11,22±0,42	12,77±0,34	0,050±0,008
Plantas aquáticas, Mina Maria Donis		0,09	63,2±3,2	3,0±0,2	60,5±3,1	21,3±1,1	136±24	38,5±3,7	136±8	0,41±0,02
Tifas, Mina Maria Donis		0,22	2,30±0,05	0,11±0,05	2,27±0,05	0,44±0,02	120±17	2,08±0,11	26,51±0,73	0,019±0,002
<b>mBq/kg</b>										
Tomate, Marialva	#1	0,07	6,1±0,4	0,07±0,02	6,7±0,4	-	60,2±6,7	10,7±1,4	9,5±1	-
Batatas, Marialva	#1	0,22	2,5±0,3	<1,5	1,9±0,2	-	24,8±2,5	14,2±2,8	6,5±0,7	-
Tomate, Marialva	#3	0,05	58,4±6,8	9,9±3,8	49,0±6,7	101±10	435±23	23, 3±3,4	24,0±1,8	14,4±3,6
Batatas, Marialva	#3	0,18	99,3±5,7	5,1±1,3	120±6	62,3±5,1	550±38	33,6±8,5	216±8	20,6±2,6
Abóbora, Marialva	#3	0,10	20,2±1,0	1,9±0,4	22,7±1,1	6,40±0,8	186±12	52,42±4,0	4,7±0,2	1,3±0,2
Pepino, Marialva	#3	0,07	47,9±4,4	1,9±1,3	55,1±5,1	121±11	700±53	17,4±2,8	1,6±0,1	56,5±7,5
Maçã , Marialva	#4	0,16	15,7±1,0	1,0±0,3	18,3±1,1	6,0±0,5	650±25	69,3±4,8	142±5	1,2±0,2
Abóbora , Marialva	#5	0,04	7,5±0,5	1,1±0,2	9,8±0,6	4,20±0,4	66,2±5,3	14,19±1,1	0,31±0,02	2,1±0,2
Couves, Marialva	#5	0,06	26,6±1,2	1,7±0,3	27,8±1,2	6,8±1,6	366,0±24	20,5±1,8	1,16±0,06	1,9±0,8

Local da colheita	Id.	PS/PH	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Batatas, Marialva	#5	0,19	2,4±0,8	0,20±0,05	5,4±1,3	0,14±0,04	85,1±7,9	78,2±6,3	13,9±0,6	2,5±0,6
Alfaces, Marialva	#5	0,03	57,7±4,4	2,8±1,2	63,8±4,2	42,0±2,6	239±18	63,7±2,8	55,4±3,3	17,0±1,4
Rábanos, Marialva	#5	0,13	430±67	44,9±38,3	701±76	< 5,3	1719±215	115±18	124±4,7	4,6±0,8
Alfaces , Reboleiro	#22	0,03	3534±93	176±8	4864±125	176±9	858±82	347±19	190±5,9	37,4±2,7
Batatas, Reboleiro	#22	0,03	8,2±1,2	0,92±0,46	13,1±1,7	-	88,0±4,1	347±19	190±6	-
Alfaces, Palhais	#23	0,05	240±8	13,3±1,5	249±8	63,8±3,2	1243±84	259±15	431±15	21,2±1,5
Cenouras, Palhais	#23	0,10	45,3±3,5	2,2±1,2	43,8±3,5	21,4±2,6	1142±59	104±16	41,5±1,1	8,8±1,6
Alfaces, Benvende	#24	0,03	155±4	7,6±0,6	164±4	109±4	390±31	247±11	210±5	31,7±1,6
Batatas, Benvende	#24	0,17	4,3±0,4	0,45±0,19	5,0±0,5	3,3±0,4	128±6	12,5±1,8	4,8±0,4	1,4±0,3
Abóbora, Benvende	#24	0,06	1,7±0,4	0,27±0,22	4,8±0,6	0,61±0,08	268±12	373±45	127±4	1,9±0,3
Erva pessegueira, Palhais	#25	0,15	305±61	10,1±0,3	347±52	147±8	5054±1007	934±56	1224±37	16,6±1,7
Juncos, Palhais	#25	0,50	194±11	9,2±3,0	180±10	78,6±6,9	12836±1128	5128±610	3571±87	16,8±2,9
Pepino, Reboleiro	#26	0,06	58,7±2,4	3,1±0,6	60,0±2,4	-	215±16	216±16	1209±88	-
Tomate, Reboleiro	#26	0,07	38,7±1,4	2,2±0,3	41,7±1,5	17±9,1	235±26	65,8±0,4	16,1±0,6	3,0±2,8
Batatas, Reboleiro	#26	0,20	6,2±1,0	<2,4	8,0±0,9	5,6±0,6	212±11	54,1± 4,7	20,2±0,8	2,7±0,4
Cenouras, Reboleiro	#26	0,10	81,3±5,0	4,4±1,1	99,9±5,7	66,0±3,9	2877±198	309±18	308±8	9,1±1,1
Alfaces, Reboleiro	#26	0,03	739±16	26,6±1,8	734±16	255±11	1196±45	1033±45	943±22	28,9±1,9
Abóbora, Reboleiro	#26	0,06	10,4±2,5	0,51±0,11	12,5±3,3	6,5±0,5	4556±706	-	-	3,1±0,4
<b>Missão 10-14.08.2009</b>										
Tomate, Aguieira	#1	0,06	10,0±3,1	0,46±0,17	4,1±2,0	-	97,1±9,3	20,8±2,7	2,7±0,1	-

Local da colheita	Id.	PS/PH	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Alfaces, Aguieira	#1	0,06	287±15	13,5±2,6	270±14	267±11	663±42	561±14	420±11	210±9
Alfaces, Folhadal	#2	0,06	101±4	5,1±0,8	106±4	83,3±4,7	298±28	63,5±5	626±34	50,0±3,2
Tomate, Folhadal	#2	0,05	13,6±0,7	1,8±0,3	13,4±0,7	44,6±37,6	74,3±6,9	8,1±2,7	15,4±1,1	< 35
Cenouras, Folhadal	#2	0,12	2907±80	128±9	2696±75	319±32	32816±1317	2531±242	1456±35	19,5±6,1
Pepino, Urgeiriça	#2	0,052	4,4±0,7	1,0±0,4	5,2±0,6	6,3±1,0	341±22	15,8±1,9	9,3±0,5	2,8±0,6
Tomate, Urgeiriça	#3	0,05	17,6±1,8	<2,4	18,6±1,9	15,5±5,6	66,1±5,3	14,0±1,9	5,1±0,3	10,3±4,2
Batatas, Urgeiriça	#3	0,15	5,4±0,6	0,40±0,22	4,7±0,6	1,5±0,2	108±7	12,6±3,2	0,35±0,09	5,8±0,7
Alfaces, Urgeiriça	#5	0,04	75,4±8,7	3,4±2,6	73,3±7,8	54,3±8,0	266±26	61,6±5,3	57,4±5,2	28,0±5,9
Pepino, Urgeiriça	#5	0,04	69,4±5,0	1,0±1,0	63,8±4,9	-	96,4±5,6	12,2±2,1	8,2±0,7	-
Batatas, Urgeiriça	#5	0,14	7,7±0,5	0,64±0,20	8,5±0,6	4,5±0,6	72,2±7,2	28,2±2,4	11,1±0,9	5,4±0,7
Tomate, Urgeiriça	#5	0,06	4,1±0,4	0,51±0,16	3,9±0,4	< 3,6	87,3±7,1	11,1±1,5	0,92±0,006	<4,7
Batatas, Urgeiriça	#6	0,20	9,4±0,9	0,43±0,27	8,9±0,9	2,4±0,4	113±11	37,7±2,8	24,4±1,9	3,8±0,6
Tomate, Urgeiriça	#6	0,08	6,4±0,5	0,12±0,08	6,0±0,5	47,7±37,5	35,2±3,4	17,0±3,0	13,9±1,1	22,1±22,0
Abóbora, Urgeiriça	#6	0,06	3,3±0,8	0,42±0,41	4,2±0,8	2,4±0,3	56,2±4,5	54,9±9,9	117±5,4	1,8±0,3
Alfaces, Urgeiriça	#7	0,01	1119±67	42,5±22,1	1205±67	420±36	3640±352	182±8	3130±84	217±25
Tomate, Urgeiriça	#7	0,06	17,4±1,6	1,4±0,5	16,4±1,5	2,0±0,3	101±11	13,5±1,8	8,1±0,7	2,2±0,4
Abóbora, Urgeiriça	#7	0,05	2,9±0,6	0,70±0,36	4,3±0,7	6,4±1,7	65,7±5,2	20,2±4,2	4,2±0,4	1,8±1,0
Alfaces, Caldas da Felgueira	#8	0,04	1093±29	51,5±3,4	1050±28	183±12	265±21	295±23	25,8±2	20,3±2,4
Tomate, Caldas da Felgueira	#8	0,07	22,8±1,5	1,2±0,4	21,3±1,4	5,0±1,5	94,4±9,5	9,9±1,4	4,6±0,3	2,6±1,0
Pepino, Caldas da Felgueira	#8	0,06	65,4±2,2	2,6±0,3	71,9±2,3	48,4±8,9	111±7	33,7±3,2	142±12	12,9±4,4

Local da colheita	Id.	PS/PH	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Abóbora, Caldas da Felgueira	#8	0,03	18,4±0,7	0,9±0,1	20,3±0,8	2,0±0,3	140±16	19,4±1,0	3,2±0,1	2,0±0,4
Cenouras, Caldas da Felgueira	#8	0,13	1328±37	56,0±5,0	1438±40	178±12	1899±115	117±22	182±4,9	3,8±1,5
Maçã, Caldas da Felgueira	#8	0,17	23,3±1,0	1,1±0,2	25,8±1,1	55,1±21,9	80,3±4,9	56,2±5,1	13,3±0,8	14,4±9,3
Pepino, Cunha Baixa	#1	0,06	112±3	5,2±0,5	114±3	70,9±5,5	464±28	39,7±2,6	4,6±0,3	2,0±0,8
Tomate, Cunha Baixa	#1	0,05	20,3±3,7	1,0±1,0	16,3±3,7	11,0±0,8	215±10	12,1±1,4	31,7±1,6	1,6±0,3
Cebolas, Cunha Baixa	#1	0,09	77,6±3,0	3,7±0,6	79,8±3,1	41,7±9,7	761±43	135±13	49±1,1	< 10
Cenouras, Cunha Baixa	#1	0,11	2029±48	97,8±4,1	2019±48	568±71	12312±937	1433±56	191±0,4	18,7±7,1
Maçã, Cunha Baixa	#1	0,18	155±4	6,7±0,6	152±4	158±19	803±32	28,2±9,8	721±24	7,3±2,6
Alfaces, Cunha Baixa	#2	0,06	15720±622	694±44	14852±590	3209±122	6666±292	9435±31	1708±53	157±7
Tomate, Cunha Baixa	#2	0,07	26,3±1,3	1,2±0,4	22,9±1,2	5,6±0,7	287±19	15,7±3,0	31,7±2,6	3,4±0,6
Batatas, Cunha Baixa	#2	0,21	108±4	8,1±0,9	106±4	28,6±1,9	1802±55	175±10	72,8±2,7	5,8±0,7
Abóbora, Cunha Baixa	#2	0,05	69,3±3,2	3,2±0,6	66,0±3,1	4,7±0,5	551±20	66,5±11	20,2±1,4	1,7±0,3
Maçã, Cunha Baixa	#2	0,18	135±3	6,8±0,5	134±3	31,5±1,5	388±15	-	-	< 0,7
Alfaces, Cunha Baixa	#3	0,09	1566±35	68,7±4,4	1500±33	594±32	3758±257	1060±47	1803±55	60,2±5,6
Cenouras, Cunha Baixa	#3	0,13	528±14	27,1±2,2	492±13	55,2±29,2	5298±296	1115±115	1922±49	38,4±17,8
Pimentos, Cunha Baixa	#3	0,06	27,8±6,9	< 1,3	25,6±5,5	17,0±4,6	327±41	103±21	87,7±2,9	3,3±2,2
Batatas, Cunha Baixa	#3	0,17	42,6±4,2	<6,0	31,2±3,6	-	1039±38	-	-	-
Alfaces, Cunha Baixa	#5	0,07	354±18	15,4±3,2	349±18	219±5	3233±309	730±38	381±12	60,7±5,0
Tomate, Cunha Baixa	#5	0,07	4,6±0,4	0,50±0,16	4,6±0,4	3,5±0,5	160±11	14,3±1,3	0,40±0,02	4,9±0,6
Batatas, Cunha Baixa	#5	0,20	18,7±1,4	0,9±0,4	19,3±1,4	17,9±1,4	333±23	37,7±3,2	9,9±0,6	7,6±0,9



Local da colheita	Id.	PS/PH	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
Abóbora, Cunha Baixa	#5	0,043	4,1±0,5	0,52±0,22	4,3±0,6	3,9±2,5	202±10	19,4±3,6	32,0±1,2	<6,8
Cebolas, Cunha Baixa	#5	0,09	10,4±0,6	1,4±0,2	10,0±0,6	7,0±0,8	214±20	34,1±2,8	3,6±0,2	3,1±0,5
Tomate, Cunha Baixa	#6	0,05	8,9±0,7	1,0±0,3	7,8±0,7	5,8±0,6	88,0±5,7	10,9±1,4	4,7±2,5	2,0±0,3
Batatas, Cunha Baixa	#6	0,21	3,6±0,4	0,24±0,16	4,3±0,6	2,6±0,4	257±15	16,4±2,7	25,1±2,5	1,4±0,4
Pera, Cunha Baixa	#6	0,21	34,4±1,3	1,6±0,3	34,4±1,3	8,9±1,2	579±44	70,1±4,7	148±7	3,5±0,8
Alfaces, Cunha Baixa	#7	0,02	63,0±2,8	4,1±0,7	68,3±3,0	29,4±2,7	319±27	87,6±5,7	173±7	33,7±2,9
Tomate, Cunha Baixa	#7	0,071	11,6±2,0	0,49±0,08	10,2±2,2	7,5±1,2	116±6	56,9±7,6	59,7±1,9	2,4±0,7
Batatas, Cunha Baixa	#7	0,17	5,5±0,7	<1,6	6,7±0,9	2,4±0,4	140±21	34,8±3,1	2,3±0,2	8,1±1,0
Pepino, Cunha Baixa	#7	0,04	5,2±0,9	0,5±0,4	6,1±0,8	8,2±0,8	140±12	6,0±0,7	8,2±0,5	4,5±0,6
Cebolas, Cunha Baixa	#7	0,09	28,4±1,7	1,2±0,3	27,8±1,7	27,3±3,3	401±59	32,0±1,7	10,5±0,5	2,5±1,0
Cenouras, Cunha Baixa	#7	0,10	48,6±3,4	1,6±0,8	53,5±3,6	26,4±2,0	1085±98	143±13	96±2,4	16,8±1,5
Maçã, Cunha Baixa	#7	0,19	23,7±1,7	1,5±0,5	24,4±1,8	-	319±28	72,1±4,9	51,3±1,9	-
Alfaces, Cunha Baixa	#8	0,06	63,2±3,8	5,7±1,0	73,4±3,9	17,3±1,9	806±40	250±17	93,5±3,8	8,3±1,2
Tomate, Cunha Baixa	#8	0,07	13,1±2,9	0,30±0,10	10,9±2,5	<3,4	242±16	17,14±3,2	0,1±0,005	0,25±0,11
Alfaces, Cunha Baixa	#9	0,04	32,8±2,0	0,93±0,48	35,9±2,0	15,0±1,6	388±38	85,1±3,1	47,9±1,2	8,7±1,1
Tomate, Cunha Baixa	#9	0,06	76,0±39,1	< 7,8	48,6±28,4	4,8±0,6	215±17	6,2±1,5	10,6±0,9	5,2±0,8
Corgete, Cunha Baixa	#9	0,08	18,7±1,2	0,76±0,26	18,8±1,2	17,6±1,8	215±13	70,7±4,9	107±3	5,3±0,9
Pepino, Cunha Baixa	#9	0,06	28,6±2,4	0,85±0,56	25,1±2,4	-	62,1±6,7	-	-	-
Maçã bravo, Cunha baixa	#10	0,21	5,9±1,6	<2,7	8,3±1,6	3,3±0,5	336±14	39,56,9	105±5	3,7±0,6

Tabela III.6 – Actividade dos radionuclidos nas poeiras atmosféricas na zona da Urgeiriça.

Local	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$	$^{232}\text{Th}$
<b>Bq kg<sup>-1</sup></b>								
<b>1 a 5 de Setembro de 2008</b>								
Quinta Abetos	151±4	7,3±0,6	152±4	174±10	190±18	29722±1512	427±21	60±4
Casal de São José	151±4	7,0±0,5	149±4	129±7	208±18	18336±897	1830±61	62±4
<b>µBq m<sup>-3</sup></b>								
Quinta Abetos	8,9±0,3	0,43±0,04	8,9±0,3	10,2±0,6	11,1±1,1	1748±89	25,6±1,6	3,5±0,2
Casal de São José	11,0±0,3	0,51±0,04	10,8±0,3	9,4±0,5	15,2±1,3	1335±65	133±4	4,5±0,2

**Tabela III.7 – Concentração de radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) no ar de superfície na zona da Urgeiriça.**

Local	Data	Média (Bq m <sup>-3</sup> )	Mínimo – Máximo (Bq m <sup>-3</sup> )
Quinta dos Abetos exterior	10 – 14 Agosto 2009	75±3,4%	12 – 214
Bombeiros de Canas de Senhorim exterior	10 – 14 Agosto 2009	24±3,3%	0 – 177
Casal São José exterior	10 – 14 Agosto 2009	91±3,1%	12 – 483
Vale Escuro (Casa Solage) interior	3 Novembro – 3 de Dezembro 2009	92±1,1%	29 – 305

## REFERENCIAS

- BETTENCOURT, A.O., TEIXEIRA, M.M.G.R., MADRUGA, M.J., FAÍSCA, M.C., (1988). Dispersion of  $^{226}\text{Ra}$  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- Radioatividade 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. Radioatividade 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). Radioatividade 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. Steinhausler (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.
- CARVALHO F. P., OLIVEIRA J. M., FARIA I. (2009).Alpha Emitting Radionuclides in Drainage from Quinta do Bispo and Cunha Baixa Uranium Mines (Portugal) and

- Associated Radiotoxicological Risk, Bulletin Environmental Contamination and Toxicology 83:668-673.
- 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 Urânio e seus Resíduos. Efeitos na Saúde da População. Relatório Científico I (Julho de 2005). Publ. INSA, INETI, ITN. (available from [WWW.ITN.pt](http://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](http://WWW.ITN.pt)).
- FALCÃO, J.M., FERNANDO P. CARVALHO, MÁRIO MACHADO LEITE, MADALENA ALARCÃO, EUGÉNIO 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 15<sup>th</sup> 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. BOSHKOVA, 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 URÂNIO (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 anualmente à avaliação externa da qualidade analítica dos resultados das análises participando em exercícios de intercomparação para a determinação da concentração de radionuclídeos artificiais e naturais em amostras ambientais (aerossóis, águas, solos, leite, etc.). Estes exercícios são organizados normalmente por entidades internacionais, tais como, Organização Mundial de Saúde, Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA), Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Comissão Europeia, etc.

Em 2009, no âmbito da vigilância radiológica ambiental a UPSR participou nos seguintes exercícios:

- Determinação de radionuclídeos naturais e artificiais em solo orgânico e água contaminada (ALMERA-IAEA-CU-2009-03) organizado pela IAEA no âmbito da rede ALMERA;
- Determinação de radionuclídeos emissores gama em aerossóis (filtros de ar simulados) (ALMERA-IAEA-CU-2009-04) organizado pela IAEA no âmbito da rede ALMERA;
- Determinação de radionuclídeos emissores gama,  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e actividades alfa total, beta total e beta residual em água organizada pelo Laboratorio de Medidas de Baja Actividad, Departamento de Ingenieria Nuclear y Mecánica de Fluidos, Universidad del País Vasco (Espanha);
- Determinação de radionuclídeos emissores gama numa amostra de água organizada pelo National Physics Laboratory (NPL), U.K.

Os resultados da participação da UPSR nestes exercícios de intercomparação, comunicados informalmente ou já publicados em relatórios foram em geral aceitáveis e podem ser consultados nos seguintes documentos:

- IAEA/AQ/3. ALMERA Proficiency Test on the Determination of Radionuclides in Spinach, Soil and Water, IAEA-CU-2007-04, ISBN 2074-7659, Vienna, October 2009.
- IAEA/AQ/7. Worldwide Open Proficiency Test on the Determination of Po-210 in Water, IAEA-CU-2007-09/A, ISBN 2074-7659, Vienna, November 2009.
- IAEA/AQ/8. Worldwide Open Proficiency Test on the Determination of Radionuclides in Spinach, Soil and Water, IAEA-CU-2007-03, ISBN 2074-7659, Vienna, November 2009.
- IAEA/AQ/10. Interlaboratory Comparison Radionuclides in Irish Sea Water, ISBN 2074-7659, Vienna, 2009.
- IAEA/AQ/16. ALMERA Proficiency Test on the Determination of Gamma Emitting Radionuclides in Simulated Air Filters, IAEA-CU-2009-04, ISBN 2074-7659, Vienna, July 2010.

- Intercomparación Analítica entre Laboratorios da Radioactividad Ambiental, 2008-2009. Evaluación de la Intercomparación Analítica de Radionucleidos en Muestras Ambientales, Campaña 2008-2009. CSN, Espanha, 2009.
- Ejercicio Interlaboratorios-2009. Informe de Evaluation de Resultados, Laboratorio de Medidas de Baja Actividad, Departamento de Ingenieria Nuclear y Mecánica de Fluidos, Universidad del País Vasco, Espanha, Marzo 2010.
- Harms A., Gilligan C. Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2009, NPL Report IR21, ISSN 1754-2952, August 2010.