

Relatório LPSR-A, N.º 46/2018

Monitorização Radiológica do Ambiente em Portugal

- **controlo radiológico do Tejo**

Maria José Madruga, Mário Reis, Maria Manuel Meruje, João Alves

Dezembro 2018

Laboratório de Proteção e Segurança Radiológica

Diretor Adjunto: J. G. Alves
Endereço: Estrada Nacional 10 (ao km 139,7), 2695-066 Bobadela LRS, Portugal
Telefone: +351 - 21 994.62.91
e-mail: lpsr.secretariado@ctn.tecnico.ulisboa.pt
Pág. web <http://www.ctn.tecnico.ulisboa.pt>

Ficha Técnica

Título	Monitorização Radiológica do Ambiente em Portugal <ul style="list-style-type: none">• Controlo radiológico do Tejo
Autoria	Maria José Madruga, Mário Reis, Maria Manuel Meruje, João Alves
Edição	Laboratório de Proteção e Segurança Radiológica, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa
Impressão	Eletrónica (pdf)
ISBN	978-989-99833-3-5
Depósito Legal	
Data da Edição	Dezembro de 2018

Nota importante:

Os direitos de autor sobre este relatório são pertença do Instituto Superior Técnico e dos respetivos autores. A reprodução de todo ou de partes deste relatório ou qualquer outra sua utilização só pode ser realizada após a devida e prévia autorização dos titulares dos direitos de autor que sobre ele incidem.

Índice

Sumário executivo	4
Introdução	5
1. Resultados obtidos no período 2010 e 2017	8
1.1 H-3, Sr-90 e Cs-137 em amostras de água dos Rios Tejo e Zêzere	8
1.2 Análises de amostras de sedimentos, peixe e plantas aquáticas colhidos no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão	11
1.3 H-3, Be-7, atividade alfa e beta total em águas da chuva em Castelo Branco e Sacavém em 2014	14
1.4 Cs-137, I-131 e Sr-90 em amostras de leite colhidas em Portalegre e Vila do Conde	15
1.5 Débito de equivalente de dose ambiente em Castelo Branco, Penhas Douradas e Lisboa	16
2. Resultados históricos	18
2.1 H-3, Sr-90 e Cs-137 em amostras de água dos Rios Tejo e Zêzere	18
3. Conclusões	20

Sumário executivo

A monitorização radiológica do ambiente em Portugal é atualmente realizada pelo Instituto Superior Técnico (IST), através do Laboratório de Proteção e Segurança Radiológica (LPSR). Desde os anos 60, que esta atividade de monitorização é efetuada no país, tendo primeiramente sido desenvolvida pela Junta de Energia Nuclear (JEN) e ao longo dos anos pelas entidades que a sucederam até ser assumida pelo IST (Decreto-Lei n.º 29/2012, de 9 de fevereiro).

Os dados compilados e os resultados reunidos até à presente data permitem a caracterização radiológica do ambiente e determinar uma eventual influência do funcionamento da(s) central(is) nuclear(es) espanhola(s) localizada(s) na proximidade do Rio Tejo.

O presente estudo analisa a evolução temporal da concentração de atividade dos radionuclídeos de origem artificial trítio (H-3), estrôncio (Sr-90) e céσιο (Cs-137) em Portugal, medidos em amostras de água colhidas no Rio Tejo, em Vila Velha de Ródão e em Valada do Ribatejo. Adicionalmente, como termo de comparação, apresentam-se as análises do mesmo tipo realizadas em amostras colhidas no Rio Zêzere, na barragem de Castelo de Bode, provenientes de uma zona do país sem influência de centrais nucleares. Apresenta-se também a título ilustrativo as concentrações de atividade dos radionuclídeos naturais e artificiais detetados em amostras de sedimentos, peixes e plantas aquáticas colhidas em Vila Velha de Ródão. A monitorização do Rio Tejo inclui também a colheita de amostras nas barragens de Fratel e de Belver, cujos resultados não são apresentados por serem tecnicamente irrelevantes para este relatório.

Atendendo à localização da central nuclear de Almaraz, na província de Cáceres, apresentam-se os resultados das análises de amostras de água da chuva recolhidas em Castelo Branco, dos débitos de equivalente de dose ambiente medidos em Castelo Branco e Penhas Douradas, bem como de amostras de leite produzido na região de Portalegre. Adicionalmente, como termo de comparação apresentam-se análises do mesmo tipo de amostras colhidas em Sacavém (águas da chuva), Vila do Conde (leite) e Lisboa (débito de dose).

Em geral, conclui-se, que as concentrações de atividade dos radionuclídeos de origem artificial observadas, são baixas e, frequentemente, inferiores aos valores da atividade mínima detetável da técnica de medição, com exceção dos valores de trítio no rio Tejo que são superiores ao valor normal do fundo radioativo mas, sem significado do ponto de vista dos efeitos radiológicos para a população e o ambiente. Os resultados obtidos para os radionuclídeos de origem natural (potássio (K-40) e elementos das séries radioativas do urânio e tório) são da ordem de grandeza do fundo radioativo natural, ou seja, sem relevo do ponto de vista radiológico. Pode concluir-se que a população portuguesa não esteve exposta a níveis de radioatividade superiores ao fundo radioativo natural, não sendo necessário recomendar qualquer medida de proteção radiológica.

Introdução

A monitorização radiológica do ambiente em Portugal é atualmente realizada pelo Instituto Superior Técnico (IST), através do Laboratório de Proteção e Segurança Radiológica (LPSR). Este Laboratório sucedeu à anterior Unidade de Proteção e Segurança Radiológica (UPSR) do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), extinto e integrado no IST pelo Decreto-Lei n.º 29/2012, de 9 de fevereiro, que por sua vez sucedeu aos Departamentos de Proteção Radiológica e Segurança Nuclear (DPRSN), de Proteção e Segurança Radiológica (DPSR), que pertenceram à Direção Geral do Ambiente (DGA), ao Instituto e Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI e LNETI), e ainda ao Serviço de Proteção Contra Radiações do Laboratório de Física e Engenharia Nucleares (LFEN) da Junta de Energia Nuclear (JEN). Os vários relatórios sobre monitorização radiológica do ambiente em Portugal referem estas entidades [1-30].

O IST realiza as atividades de monitorização com base no disposto no Decreto-Lei n.º 138/2005, de 17 de agosto (*ex vi* Decreto-Lei n.º 29/2012, de 9 de fevereiro), no qual se identifica o tipo de medições que devem ser realizadas para cumprimento dos artigos 35º e 36º do Tratado EURATOM, que institui a Comunidade Europeia de Energia Atómica, assegurando o controlo permanente do grau de radioatividade da atmosfera, das águas e do solo [19-30].

Para além da monitorização radiológica do país, o IST efetua paralelamente a monitorização do *Campus* Tecnológico Nuclear, dada a existência neste *campus* do Reator Português de Investigação (RPI), bem como a monitorização da envolvente das antigas zonas de exploração de urânio. Os resultados da monitorização são publicados anualmente em relatórios internos, estando os mais recentes disponíveis *online* em: http://www.ctn.tecnico.ulisboa.pt/docum/pt_bib_reltec.htm.

O IST dá assim cumprimento às normas de base em proteção radiológica previstas no âmbito dos artigos 35º e 36º do Tratado EURATOM, comunicando à Comissão Europeia os resultados das monitorizações realizadas anualmente. Os resultados são inseridos na base de dados *Radioactivity Environmental Monitoring* (REM), do *Joint Research Centre* (JRC), em cumprimento do artigo 36º do Tratado EURATOM. Alguns desses dados são posteriormente publicados em relatórios gerais da Comissão Europeia.

Em geral, a monitorização radiológica do ambiente consiste na determinação de radionuclídeos artificiais e naturais em compartimentos ambientais (atmosférico, aquático e terrestre) considerados vias diretas de contaminação para o Homem. Analisam-se amostras de aerossóis e de água da chuva, amostras de águas de superfície, de sedimentos e de plantas aquáticas provenientes das principais bacias hidrográficas, amostras de águas de consumo, produtos alimentares, refeições completas, leite e solos. Realizam-se ainda medições contínuas da dose de radiação gama ambiental, usando sondas gama (detetores ativos) e dosímetros integradores termoluminescentes (detetores passivos). A concentração

de atividade dos radionuclídeos artificiais e naturais é determinada usando os métodos de medição por espectrometria gama, espectrometria alfa, medição alfa/beta total com contador proporcional e por cintilação em meio líquido e medição beta por cintilação em meio líquido.

Face à proximidade das duas centrais nucleares espanholas ativas em relação ao rio Tejo, designadamente, a central nuclear de Trillo, localizada na província de Guadalajara, a noroeste de Madrid, e a central nuclear de Almaraz, localizada na província de Cáceres, a cerca de 120 km da fronteira de Portugal, a monitorização radiológica ambiental reforça o seu relevo e justifica a monitorização do rio.

Os dados compilados e os resultados reunidos até à presente data permitem a caracterização radiológica do ambiente e determinar uma eventual influência do funcionamento da(s) central(is) nuclear(es) espanhola(s) localizada(s) na proximidade do Rio Tejo.

O presente estudo analisa a evolução temporal da concentração de atividade dos radionuclídeos de origem artificial trítio (H-3), estrôncio (Sr-90) e céσιο (Cs-137) em Portugal, medidos em amostras de água colhidas no Rio Tejo, em Vila Velha de Ródão e em Valada do Ribatejo. Adicionalmente, como termo de comparação, apresentam-se as análises do mesmo tipo realizadas em amostras colhidas no Rio Zêzere, na barragem de Castelo de Bode, provenientes de uma zona do país sem influência de centrais. Apresenta-se também a título ilustrativo as concentrações de atividade dos radionuclídeos naturais e artificiais detetados em amostras de sedimentos, peixes e plantas aquáticas colhidas em Vila Velha de Ródão. A monitorização do Rio Tejo inclui também a colheita de amostras nas barragens de Fratel e de Belver, cujos resultados não são apresentados por serem tecnicamente irrelevantes para este relatório.

Atendendo à localização da central nuclear de Almaraz, na província de Cáceres, apresentam-se os resultados das análises de amostras de água da chuva recolhidas em Castelo Branco, dos débitos de equivalente de dose ambiente medidos em Castelo Branco e em Penhas Douradas, bem como de amostras de leite produzido na região de Portalegre. Adicionalmente, como termo de comparação, apresentam-se análises do mesmo tipo de amostras colhidas em Sacavém (águas da chuva), Vila do Conde (leite) e Lisboa (débito de dose).

Na Figura I apresenta-se o mapa de Portugal com a identificação dos locais de amostragem.

Os resultados apresentados correspondem a duas séries temporais distintas:

- (a) Dados recentes, mais detalhados com valores mensais ou trimestrais, obtidos no período compreendido entre 2010 e 2017 [23-30];
- (b) Dados históricos da concentração de atividade de H-3, Sr-90 e Cs-137 em amostras de água dos Rios Tejo e Zêzere, com base em valores médios anuais obtidos desde 1976 até 2017, consoante o caso [1-30].

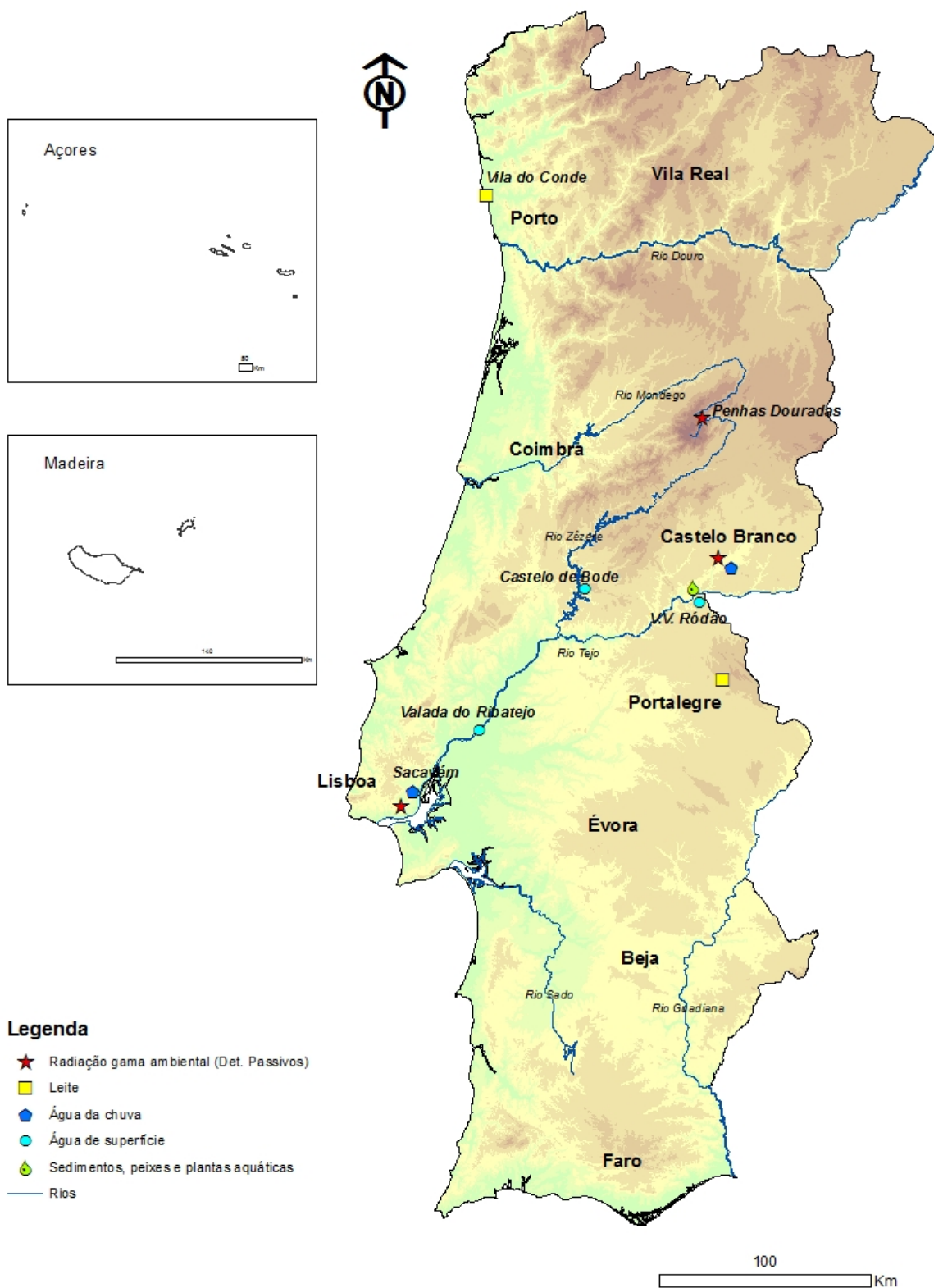


Figura I – Mapa de Portugal com a identificação dos locais de amostragem referidos no texto.

1. Resultados obtidos no período 2010 a 2017

1.1 H-3, Sr-90 e Cs-137 em amostras de água dos Rios Tejo e Zêzere

Na Figura 1.1 apresenta-se a evolução temporal da concentração de atividade de H-3 medida em amostras de água colhidas no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão e em Valada do Ribatejo, e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode. As colheitas foram realizadas todos os meses no período 2010 a 2017. Os valores representados sem a respetiva barra de incertezas correspondem ao valor da atividade mínima detetável.

De uma maneira geral a concentração de atividade de H-3 é mais elevada em Vila Velha de Ródão do que em Valada do Ribatejo, enquanto que no Rio Zêzere os valores medidos são quase sempre da ordem dos limites de deteção da técnica de medição (atividade mínima detetável).

A presença de H-3 nas águas tem origem antropogénica, ou seja, provém do funcionamento da central nuclear de Almaraz. No entanto, o valor limite para a concentração de atividade de H-3 nas águas para consumo humano é de 100 Bq.L^{-1} [31], pelo que os valores representados na Figura 1.1 são inferiores a este valor, não representando perigo para o ambiente, nem para a população.

Na Figura 1.2 apresenta-se a evolução temporal da concentração de atividade de Cs-137 e de Sr-90 medida em amostras de água colhidas nos mesmos locais no Rio Tejo (Vila Velha de Ródão e Valada do Ribatejo), e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode. As colheitas foram realizadas todos os meses no período 2010 a 2017. Para ambos os radionuclídeos, os valores representados sem a respetiva barra de incertezas correspondem ao valor da atividade mínima detetável.

De uma maneira geral, observa-se que a concentração de atividade de Cs-137 e de Sr-90 nas amostras recolhidas nos três locais de amostragem são muito próximas entre si e próximas dos limites de deteção das técnicas de medição (atividade mínima detetável), sendo possível concluir que os valores medidos correspondem a valores de fundo.

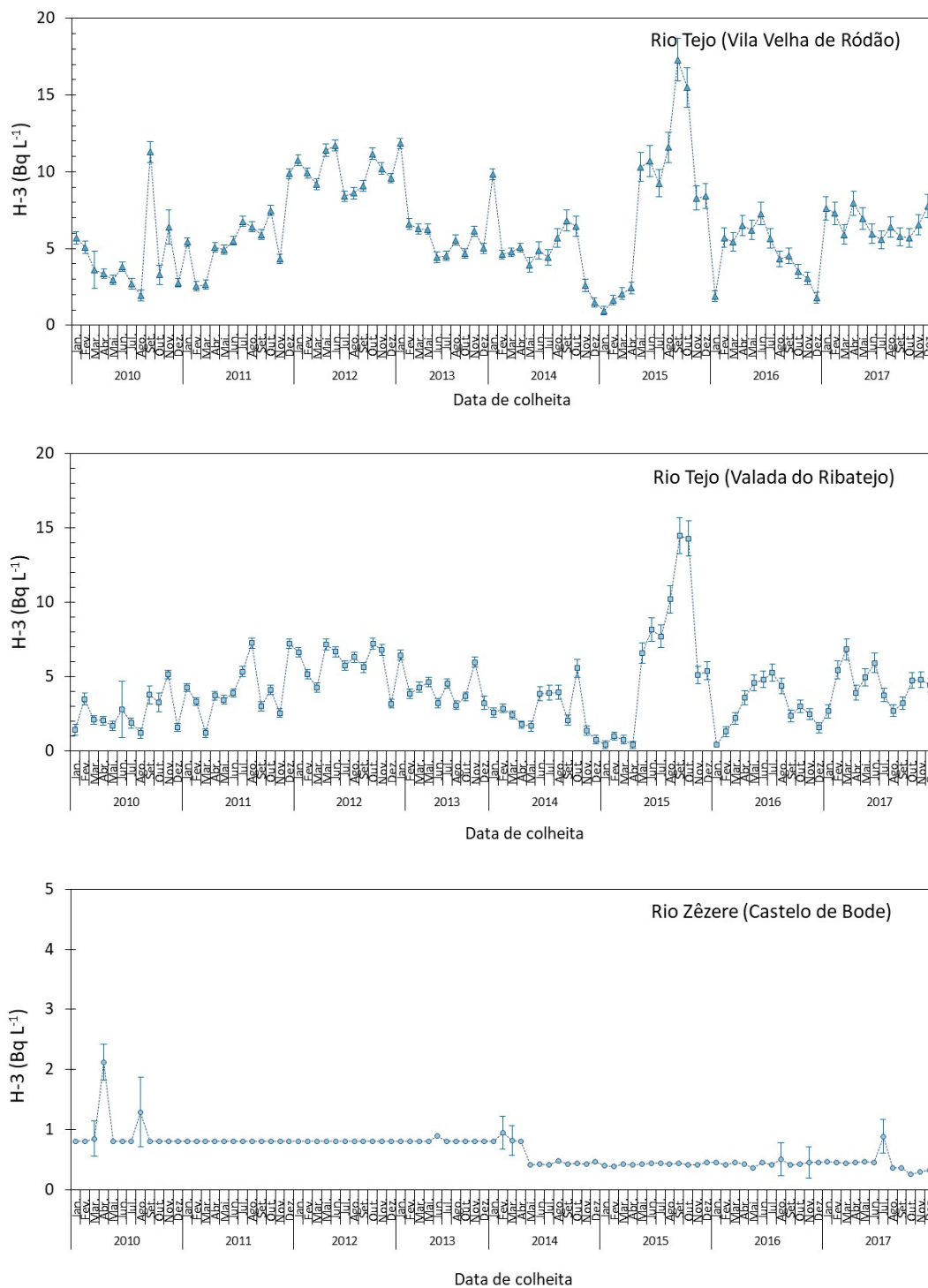


Figura 1.1 – Evolução da concentração de atividade de H-3 (Bq.L⁻¹) medida em amostras de água colhidas no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão, no Rio Tejo em Valada do Ribatejo e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode. As avaliações foram realizadas mensalmente no período 2010 a 2017 [23-30]. Os valores representados sem a respetiva barra de incertezas correspondem ao valor da atividade mínima detetável.

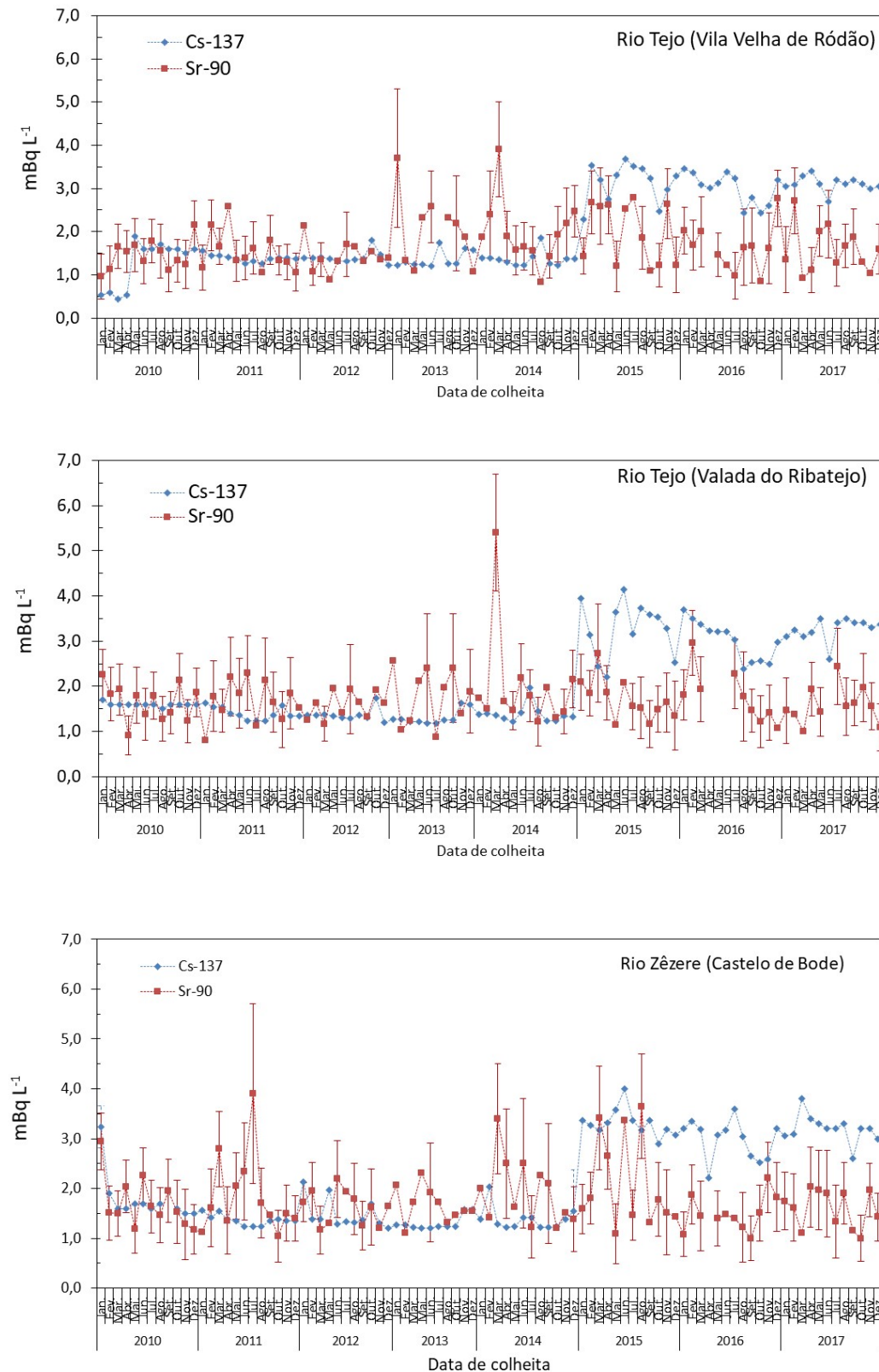


Figura 1.2 – Evolução da concentração de atividade de Cs-137 e de Sr-90 (mBq.L⁻¹) medidas em amostras de água colhidas no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão e em Valada do Ribatejo e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode. As avaliações foram realizadas mensalmente no período 2010 a 2017 [23-30]. Para ambos os radionuclídeos, os valores representados sem a respetiva barra de incertezas correspondem ao valor da atividade mínima detetável.

1.2 Análises de amostras de sedimentos, peixe e plantas aquáticas colhidos no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão

Atendendo aos valores baixos da concentração de atividade de H-3, Sr-90 e Cs-137 observados nas águas colhidas no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão, apresentam-se a título ilustrativo nas Tabelas seguintes as concentrações de atividade dos radionuclídeos detetados em amostras de sedimentos (2014) [27], peixe (2012) [25] e plantas aquáticas (2014) [27] em anos isolados em vez de no período 2010-2017.

Os resultados deste tipo de análise relativos a outros anos estão publicados e disponíveis em http://www.ctn.tecnico.ulisboa.pt/docum/pt_bib_reltec.htm. [21-30]

Na Tabela 1.1 apresenta-se a concentração de atividade dos radionuclídeos naturais U-235, Ra-228, Ra-226 e K-40 bem como do radionuclídeo artificial Cs-137 medida em amostras de sedimentos ($\varnothing < 63\mu\text{m}$) colhidas no Rio Tejo, em Vila Velha de Ródão, no ano de 2014 [27].

Tabela 1.1 – Valores de concentração de atividade, $A \pm U$ ($k=2$), ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$), de radionuclídeos naturais e artificiais emissores de radiação gama, na fração silte/argila ($\varnothing < 63\mu\text{m}$) em sedimentos colhidos no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão, em 2014 [27].

Data de colheita	U-235	Ra-228	Ra-226	Cs-137	K-40
Janeiro	<25 (a)	652±30	423±19	<4,2 (a)	735±83
Fevereiro	<21 (a)	129,0±8,1	80,5±6,9	6,0±2,5	556±73
Março	<25 (a)	330±17	205±11	<4,2 (a)	700±82
Abril	<22 (a)	207±12	158±10	7,0±3,5	712±94
Mai	<24 (a)	291±15	216±12	<4,4 (a)	567±80
Junho	<25 (a)	134,3±9,5	120,6±7,4	<4,5 (a)	624±77
Julho	<23 (a)	385±19	265±12	3,7±2,1	668±72
Agosto	<31 (a)	83,2±6,3	82,6±6,8	7,4±2,9	711±86
Setembro	<32 (a)	81,7±8,9	71,6±9,3	5,4±3,3	665±97
Outubro	<20 (a)	400±20	286±13	<3,9 (a)	621±75
Novembro	<31 (a)	376±19	255±12	<4,3 (a)	645±80
Dezembro	28±17	383±19	251±12	<3,8 (a)	676±79
Média $\pm \sigma$ (n=12)	<26	288±169	201±104	<4,9	657±57

(a) - Atividade mínima detetável

Na Tabela 1.2 apresenta-se a concentração de atividade dos radionuclídeos naturais Ra-228, Ra-226 e K-40 e do radionuclídeo artificial Cs-137 medida em amostras de peixe colhidas no Rio Tejo, em Vila Velha de Ródão, no ano de 2012 [25].

Tabela 1.2 – Valores de atividade específica, $A \pm U$ ($k=2$), ($Bq \cdot kg^{-1}$, músculo fresco), de radionuclídeos naturais e artificiais emissores de radiação gama em peixe capturado no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão, em 2012 [25].

Data de colheita	Espécie	Cs-137	Ra-226	Ra-228	K-40
Janeiro	<i>Barbus bocagei</i> L.	<0,071 (a)	<0,24 (a)	<0,14 (a)	110±10
Fevereiro	<i>Barbus bocagei</i> L.	<0,10 (a)	<0,26 (a)	<0,21 (a)	116±11
Março	<i>Barbus bocagei</i> L.	<0,090 (a)	<0,21 (a)	<0,098 (a)	117±11
Abril	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Maio	<i>Barbus bocagei</i> L.	<0,092 (a)	1,04±0,21	<0,15 (a)	113±10
Junho	<i>Barbus bocagei</i> L.	<0,096 (a)	<0,32 (a)	<0,25 (a)	105,7±9,8
Julho	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Agosto	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Setembro	<i>Barbus bocagei</i> L.	<0,077 (a)	0,27±0,15	<0,11 (a)	114±10
Outubro	<i>Barbus bocagei</i> L.	<0,060 (a)	<0,20 (a)	<0,11 (a)	37,5±3,7
Novembro	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Dezembro	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)

Atividade mínima detetável (a); Não foi possível a recolha da amostra pelo pescador (b).

Nas Tabelas seguintes apresenta-se a concentração de atividade dos radionuclídeos naturais U-235, Ra-228, Ra-226, Pb-210 e K-40 e do radionuclídeo artificial Cs-137 medida em amostras de plantas aquáticas colhidas no Rio Tejo, em Vila Velha de Ródão, no ano de 2014 [27].

Tabela 1.3 – Valores de concentração de atividade, $A \pm U$ ($k=2$) ($Bq \cdot kg^{-1}$, peso seco), de radionuclídeos emissores de radiação gama em raízes da planta emergente *Cyperus eragrostis* presente em Vila Velha de Ródão, no rio Tejo, em 2014 [27].

Data de colheita	U-235	Ra-228	Ra-226	Pb-210	Cs-137	K-40
Janeiro	3,9±2,4	37,3±3,8	19,3±1,9	25,5±6,5	<0,72 (a)	429±56
Março	18,2±6,2	139±12	89,3±7,0	75±17	<2,29 (a)	669±90
Abril	6,8±3,4	16,4±3,8	13,2±1,9	20,6±6,8	1,32±0,69	363±35
Maio	<5,7 (a)	25,1±4,6	15,6±3,0	<29,1 (a)	<1,3 (a)	439±64
Junho	<8,2 (a)	<9,5 (a)	42,7±4,8	38±14	<3,0 (a)	390±66
Julho	<11,9 (a)	18,3±5,6	21,5±3,5	34±13	<2,7 (a)	170±42
Agosto	<12,8 (a)	27±14	17,2±3,9	<40,0 (a)	<2,9 (a)	218±53
Setembro	9,2±5,8	20,0±5,4	23,7±3,9	39±11	<1,8 (a)	186±40
Outubro	6,5±2,5	28,5±3,3	28,9±3,0	31,1±7,7	<0,9 (a)	417±55
Novembro	<9,0 (a)	32,2±5,1	41,8±3,5	41±12	<1,9 (a)	268±42
Dezembro	<7,9 (a)	37,5±4,9	38,6±3,5	30±10	<2,04 (a)	212±39
Média $\pm \sigma$ (n=11)	<9,1	<35,5	32,0±21,8	<36,7	<1,9	342±150

Atividade mínima detetável (a).

Tabela 1.4 – Valores de concentração de atividade, $A \pm U$ ($k=2$) ($Bq \cdot kg^{-1}$, peso seco), de radionuclídeos emissores de radiação gama nas partes aéreas da planta emergente *Cyperus eragrostis* presente em Vila Velha de Ródão, no rio Tejo, em 2014 [27].

Data de colheita	U-235	Ra-228	Ra-226	Pb-210	Cs-137	K-40
Janeiro	<4,5 (a)	14,0±2,9	<3,9 (a)	22,9±7,0	<1,2 (a)	1065±134
Março	<7,5 (a)	19,5±4,6	<7,1 (a)	20±11	<2,2 (a)	1520±119
Abril	<3,1 (a)	5,4±2,9	<3,7 (a)	16,0±6,1	<1,1 (a)	1249±92
Maio	<4,2 (a)	6,9±2,7	<3,1 (a)	<9,7 (a)	<0,8 (a)	670±53
Junho	<5,8 (a)	<4,2 (a)	7,4±1,6	12,4±5,7	<0,9 (a)	567±48
Julho	<4,5 (a)	<3,4 (a)	3,3±1,9	7,5±4,7	<0,72 (a)	486±40
Agosto	<8,5 (a)	14,7±8,4	<6,6 (a)	25±12	<2,4 (a)	795±74
Setembro	<5,5 (a)	<5,0 (a)	5,0±2,7	13,6±6,6	<1,1 (a)	602±51
Outubro	<4,4 (a)	8,7±2,8	6,4±1,3	10,6±5,9	<0,9 (a)	769±60
Novembro	<9,3 (a)	21,4±5,8	24,7±3,3	24±12	<1,9 (a)	817±75
Dezembro	<4,9 (a)	8,8±4,7	9,6±2,6	20,2±7,9	<1,5 (a)	1080±84
Média $\pm \sigma$ (n=11)	<5,7	<10,2	7,4±6,1	<16,5	<1,3	875±319

Atividade mínima detetável (a).

Tabela 1.5 – Valores de concentração de atividade, $A \pm U$ ($k=2$) ($Bq \cdot kg^{-1}$, peso seco), de radionuclídeos emissores de radiação gama no hidrófito submerso *Potamogeton pectinatus* (limo mestre) presente em Vila Velha de Ródão, no rio Tejo, em 2014 [27].

Data de colheita	U-235	Ra-228	Ra-226	Pb-210	Cs-137	K-40
Janeiro	<5,0 (a)	111,0±6,6	197,3±8,0	21,2±6,9	<1,0 (a)	1440±104
Março	4,6±2,5	86,2±5,6	137,0±5,7	27,4±7,4	<1,0 (a)	1326±96
Abril	<3,5 (a)	62,1±4,0	98,0±4,5	22,2±5,5	<0,7 (a)	850±63
Setembro	<3,5 (a)	51,3±4,8	64,6±4,8	37,6±8,2	1,13±0,40	1461±180
Outubro	<4,3 (a)	61,3±5,5	80,4±5,9	13,8±6,2	<0,9 (a)	1402±173
Novembro	<4,2 (a)	96,5±9,5	146±10	27,3±8,1	<1,0 (a)	2215±272
Dezembro	<4,8 (a)	85,0±7,4	117,5±8,4	23±7,7	<0,9 (a)	1472±182
Média $\pm \sigma$ (n=7)	<4,3	79,1±21,5	120,1±44,8	24,6±7,3	<1,0	1452±401

Atividade mínima detetável (a).

De uma maneira geral, observa-se que os valores da concentração de atividade dos radionuclídeos naturais correspondem aos valores normais e são comparáveis aos registados no mesmo tipo de análises de amostras colhidas nas principais bacias hidrográficas correspondendo aos Rios Douro, Mondego e Guadiana. A concentração de atividade de Cs-137 é quase sempre da ordem dos limites de deteção das técnicas de medição.

Estes resultados e os relativos ao mesmo tipo de análises noutros anos estão publicados e disponíveis no site http://www.ctn.tecnico.ulisboa.pt/docum/pt_bib_reltec.htm.

1.3 H-3, Be-7, atividade alfa e beta total em águas da chuva em Castelo Branco e Sacavém em 2014

Na Figura 1.3 apresenta-se os valores dos fluxos mensais de deposição (Bq m^{-2}) em atividade alfa e beta total, Be-7 e H-3 obtidos a partir da concentração de atividade dos radionuclídeos em amostras de água da chuva, bem como os valores de precipitação acumulada mensalmente em Castelo Branco e Sacavém, no ano de 2014 [27].

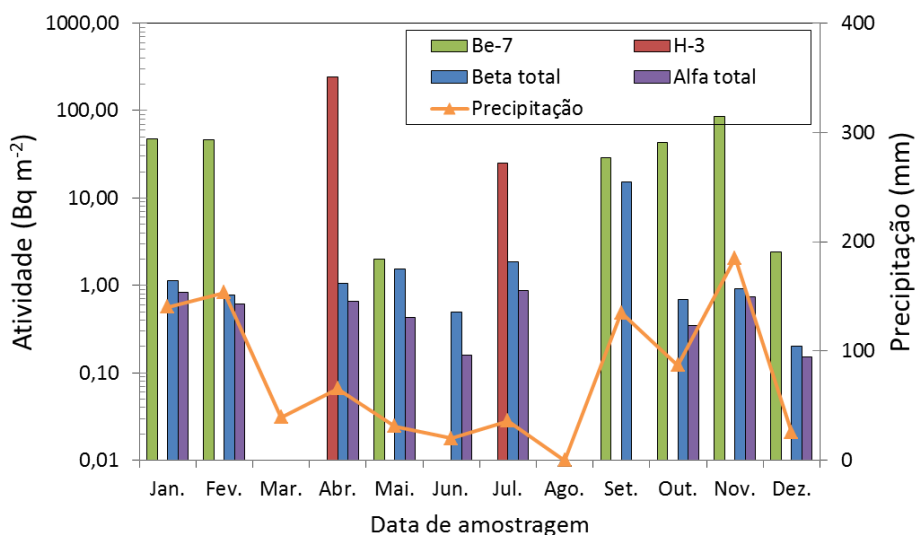


Figura 1.3a – Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em Be-7, H-3, atividade beta total e atividade alfa total em Castelo Branco (estação meteorológica).

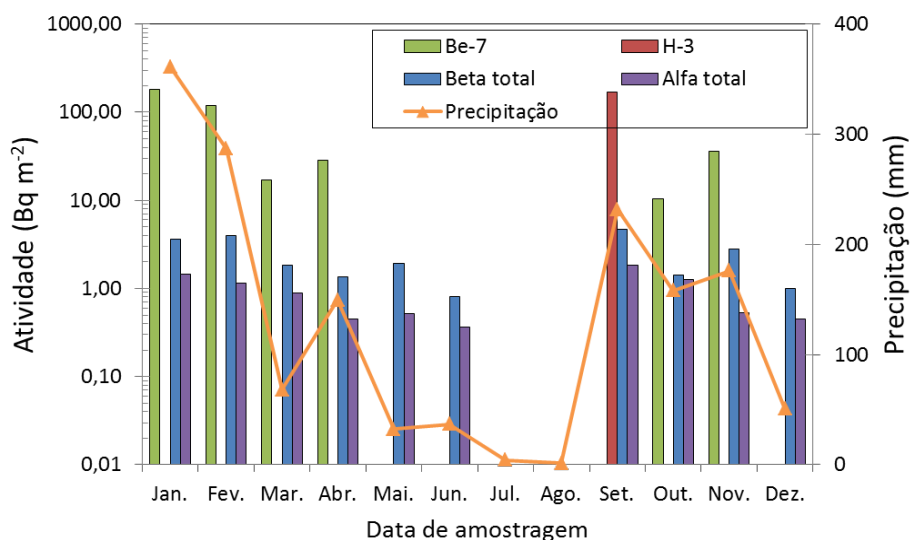


Figura 1.3b – Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em Be-7, H-3, atividade beta total e atividade alfa total em Sacavém (CTN).

Os fluxos de deposição de atividade beta total e atividade alfa total registados em Castelo Branco são semelhantes aos valores obtidos em Sacavém. No caso do H-3, o fluxo de deposição foi superior em Castelo Branco em comparação a Sacavém, contrariamente ao observado para o Be-7. De uma maneira

geral, os fluxos de deposição registados são baixos e correspondem a valores de fluxos em situações normais. Os resultados deste tipo de análise relativos a outros anos estão publicados e disponíveis em http://www.ctn.tecnico.ulisboa.pt/docum/pt_bib_reltec.htm.

1.4 Cs-137, I-131 e Sr-90 em amostras de leite colhidas em Portalegre e Vila do Conde

Na Figura 1.4 apresenta-se a evolução temporal da concentração de atividade (Bq L^{-1}) em Cs-137, I-131 e Sr-90 em leite proveniente de Portalegre e Vila do Conde. As colheitas foram realizadas todos os meses no período 2010 a 2017 [23-30]. Os valores representados sem a respetiva barra de incertezas correspondem ao valor da atividade mínima detetável.

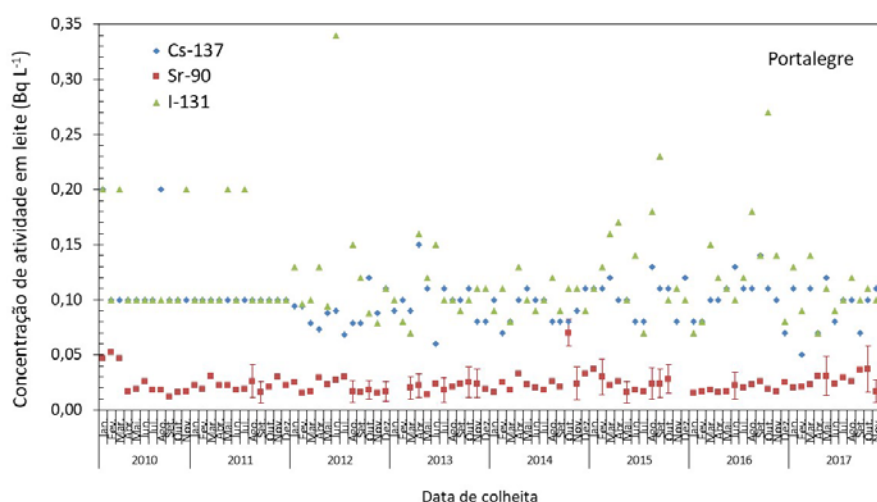


Figura 1.4a - Valores de concentração de atividade em Cs-137, I-131 e Sr-90 (Bq L^{-1}) em leite (Serraleite) recolhido em Portalegre, durante os anos 2010 a 2017 [23-30]. Os valores representados sem a barra das incertezas correspondem ao valor da atividade mínima detetável.

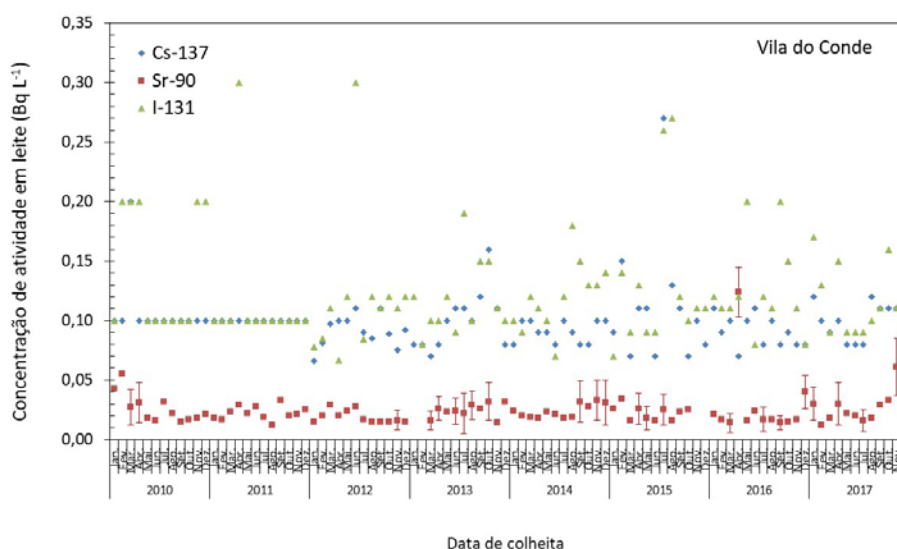


Figura 1.4b - Valores de concentração de atividade em Cs-137, I-131 e Sr-90 (Bq L^{-1}) em leite (Lactogal) recolhido em Vila do Conde, durante os anos 2010 a 2017 [23-30]. Os valores representados sem a respetiva barra de incerteza correspondem ao valor da atividade mínima detetável.

Verifica-se que os valores de concentração de atividade em Cs-137 e I-131 são inferiores ao valor da atividade mínima detetável. Na generalidade, foram obtidos valores inferiores ao valor da atividade mínima detetável para o Sr-90. Em algumas amostras, obtiveram-se valores mensuráveis para este radionuclido, mas da ordem de grandeza da atividade mínima detetável. Estes resultados são idênticos para ambos os locais de colheita (Portalegre e Vila do Conde).

1.5 Débito de equivalente de dose ambiente em Castelo Branco, Penhas Douradas e Lisboa

Nas Figuras 1.5 apresenta-se a evolução temporal do débito de equivalente de dose ambiente medido trimestralmente nas estações meteorológicas de Castelo Branco, Penhas Douradas e Lisboa (este último no Instituto Geofísico da Universidade de Lisboa) com detetores passivos termoluminescentes, no período compreendido entre 2010 e 2017 [23-30].

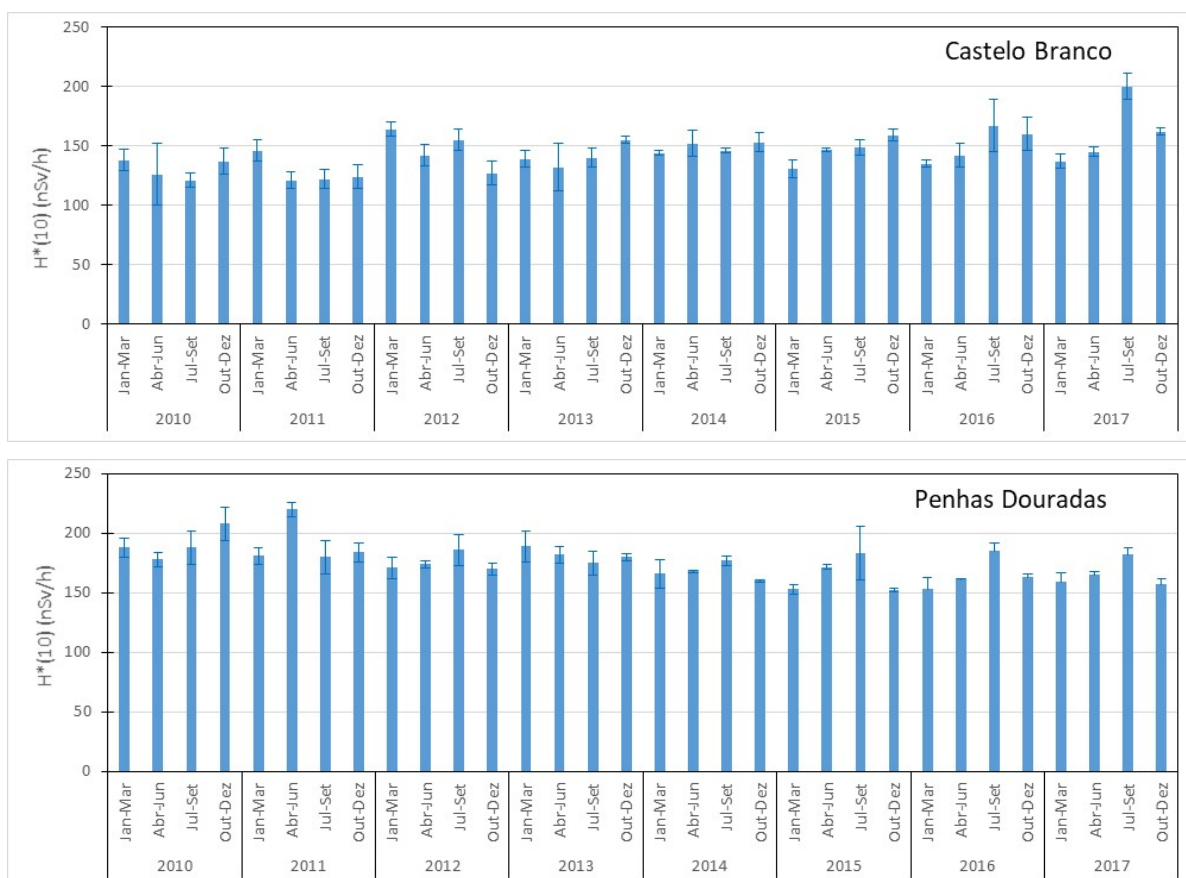


Figura 1.5a – Evolução do débito de equivalente de dose ambiente ($\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$) medido trimestralmente em Castelo Branco e em Penhas Douradas, no período entre 2010 e 2017 [23-30].

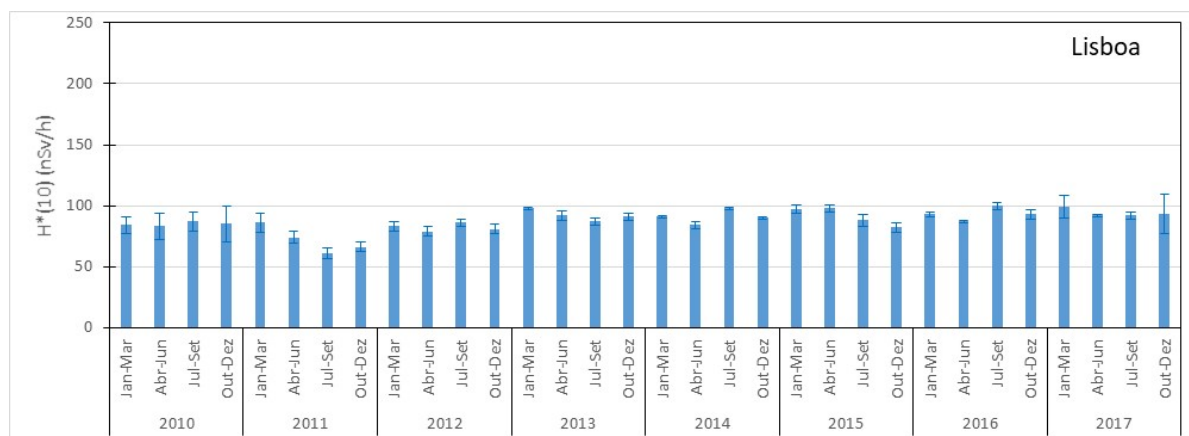


Figura 1.5b – Evolução do débito de equivalente de dose ambiente ($\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$) medido trimestralmente em Lisboa, no período entre 2010 e 2017 [23-30].

O débito de equivalente de dose ambiente varia de local para local, dependendo da constituição geológica do terreno e da altitude média do ponto de medida. Em cada local, as flutuações observadas são consideradas normais.

Na Figura 1.6 apresenta-se a evolução temporal do valor médio anual do débito de equivalente de dose ambiente medido nos locais acima referidos, no período compreendido entre 2010 e 2017 [23-30]. Os valores médios anuais foram calculados a partir dos valores trimestrais obtidos em cada ano.

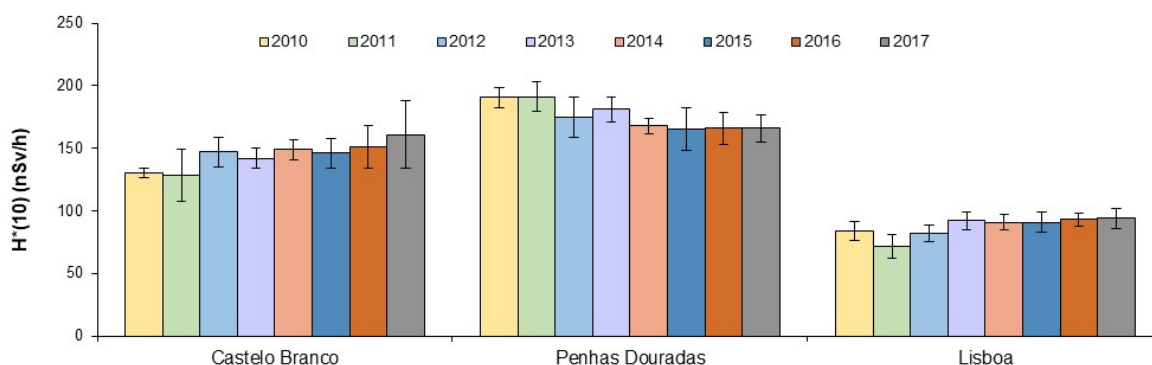


Figura 1.6 – Evolução do valor médio anual do débito de equivalente de dose ambiente ($\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$) medido em Castelo Branco, Penhas Douradas e em Lisboa. Os valores médios foram calculados com base nos valores trimestrais no período entre 2010 e 2017 [23-30].

Os resultados deste tipo de análise relativos a outros anos e pontos de medida localizados em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores estão publicados e disponíveis em http://www.ctn.tecnico.ulisboa.pt/docum/pt_bib_reltec.htm.

2 Resultados históricos

2.1 H-3, Sr-90 e Cs-137 em amostras de água dos Rios Tejo e Zêzere

Na Figura 2.1 apresenta-se a evolução temporal da concentração de atividade de H-3 medida em amostras de água colhidas no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão e em Valada do Ribatejo, e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode. Os valores apresentados são valores médios anuais relativos ao período compreendido entre 1982 e 2017 [4-30].

Tal como se concluiu a partir dos resultados apresentados na Figura 1.1 relativos ao período 2010 a 2017, de uma maneira geral a concentração de atividade média anual de H-3 é mais elevada em Vila Velha de Ródão do que em Valada do Ribatejo, enquanto que no Rio Zêzere os valores medidos são quase sempre da ordem dos limites de deteção da técnica de medida (atividade mínima detetável).

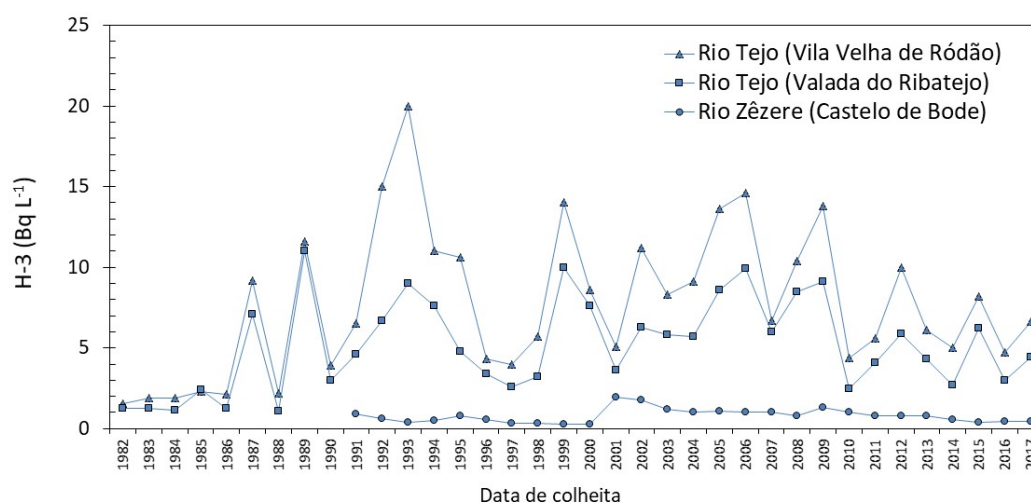


Figura 2.1 – Evolução dos valores médios anuais da concentração de atividade de H-3 (Bq.L⁻¹) medida em amostras de água colhidas no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão, no Rio Tejo em Valada do Ribatejo e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode, no período compreendido entre 1982 e 2017 [4-30].

Na Figura 2.2 apresenta-se a evolução temporal dos valores médios anuais da concentração de atividade de Cs-137 e de Sr-90 medida em amostras de água colhidas nos mesmos locais no Rio Tejo (Vila Velha de Ródão e Valada do Ribatejo), e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode, desde que se dispõe de registos históricos tabelados até 2017. Ou seja, em Vila Velha de Ródão dispõe-se de registos desde 1976 [1], em Valada do Ribatejo desde 1987 [5] e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode desde 1991 [8].

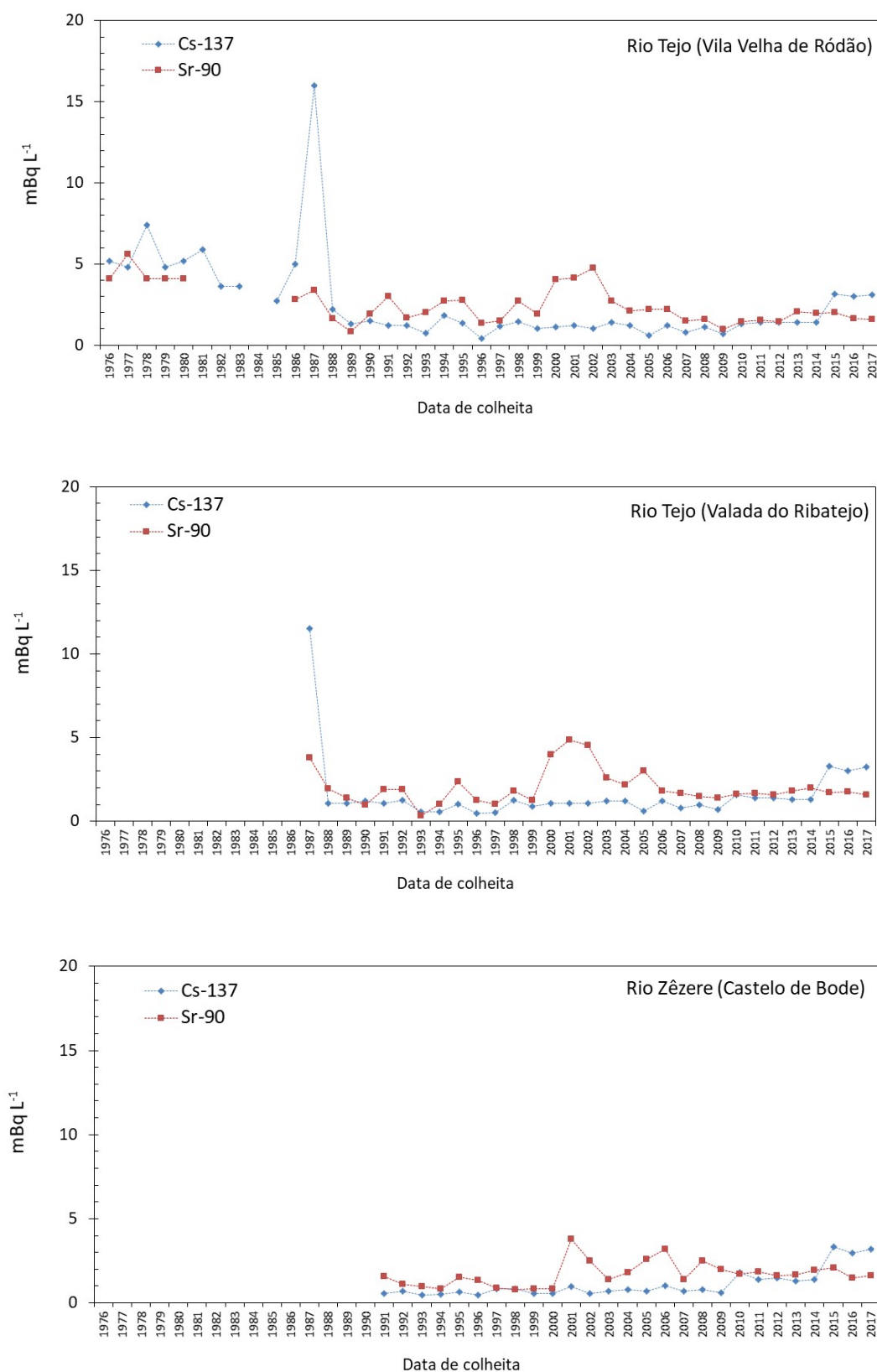


Figura 2.2 – Evolução dos valores médios anuais da concentração de atividade de Cs-137 e de Sr-90 (mBq.L⁻¹) medidas em amostras de água colhidas no Rio Tejo em Vila Velha de Ródão no período compreendido entre 1976 e 2017 [1-30]; em Valada do Ribatejo no período compreendido entre 1987 e 2017 [5-30]; e no Rio Zêzere na barragem de Castelo de Bode, no período compreendido entre 1991 e 2017 [8-30].

De uma maneira geral, observa-se que a concentração de atividade de Cs-137 e de Sr-90 nas amostras recolhidas nos três pontos de amostragem em períodos homólogos são muito próximas entre si e próximas dos limites de deteção das técnicas de medida (atividade mínima detetável), sendo possível concluir que os valores medidos correspondem a valores de fundo. Muito provavelmente, o pico de Cs-137 detetado em 1987 teve origem na deposição atmosférica da pluma devido ao acidente nuclear de Chernobyl (1986). Mesmo estes valores são inferiores a 20 mBq.L^{-1} , sem importância do ponto de vista radiológico.

3 Conclusões

Em geral, conclui-se, que as concentrações de atividade dos radionuclídeos de origem artificial observadas, são baixas e, frequentemente, inferiores aos valores da atividade mínima detetável da técnica de medição, com exceção dos valores de trítio no rio Tejo que são superiores ao valor normal do fundo radioativo mas, sem significado do ponto de vista dos efeitos radiológicos para a população e o ambiente. Os resultados obtidos para os radionuclídeos de origem natural (potássio (K-40) e elementos das séries radioativas do urânio e tório) são da ordem de grandeza do fundo radioativo natural, ou seja, sem relevo do ponto de vista radiológico. Pode concluir-se que a população portuguesa não esteve exposta a níveis de radioatividade superiores ao fundo radioativo natural, não sendo necessário recomendar qualquer medida de proteção radiológica.

Referências

- [1] Carreiro M.C.V., Sequeira M.M., Contribution to the study of the radioactive pollution of Rivers Douro and Tejo, during 1976. LFEN/UPCR, Série A, nº 3 (1978).
- [2] Carreiro M.C.V., Sequeira M.M., Contribution to the study of the radioactive pollution of Rivers Douro and Tejo, during 1977-1978. LNETI/DPSR, Série A, nº 4 (1980).
- [3] Sequeira M.M., Bettencourt A.O., Teixeira, M.M., Radioactivity in Rivers Douro and Tejo during 1979 and 1980; evolution since 1976. LNETI/DPSR, Série B, nº 80 (1984).
- [4] Sequeira M.M., Carreiro M.C.V., Bettencourt A.O., Controlo Radiológico do Rio Tejo 1981 a 1986. LNETI/DPSR, Série B, nº 106 (1988).
- [5] Sequeira M.M., Carreiro M.C.V., Bettencourt A.O. Controlo Radiológico do Rio Tejo, 1987-1988, Relatório LNETI/DPSR, Série B, nº 110, (1989).
- [6] Sequeira M.M., Carreiro M.C.V., Controlo de Radioatividade do Rio Tejo (Ano 1989), Relatório LNETI/DPSR, B, nº 7, III Série (1990).
- [7] Protocolo GPSN/LNETI (DPSR), Medidas de Radioatividade nos Rios Tejo e Zêzere, Relatório Anual de 1990, (1991).
- [8] Sequeira M.M., Carreiro M.C.V., Controlo da radioatividade nos Rios Tejo, Zêzere e Guadiana 1991-1992, Relatório SRA nº26/94, INETI/DPSR, B-nº 32, III série, (1993).
- [9] Carreiro M.C.V., Sequeira M.M., Medidas de radioatividade natural e artificial nos Rios Tejo, Zêzere e Guadiana em 1993, Relatório SRA nº26/94, DGA/DPSR, ISBN 972-9392-40-4 (1994).

- [10] Carreiro M.C.V., Sequeira M.M., Radioatividade natural e artificial nos Rios Tejo e Zêzere em 1994-1995, Relatório DGA/DPSR, ISBN 972-9392-94-3 (1996).
- [11] Sequeira M.M., Carreiro M.C.V., Radioatividade nos Rio Tejo e Zêzere em 1996, Relatório DGA/DPSR, ISBN 972-8419-10-4 (1997).
- [12] Sequeira M.M., Carreiro M.C.V., Radioatividade nos Rio Tejo e Zêzere em 1997, Relatório DGA/DPSR, ISBN 972-8419-21-X (1998).
- [13] Sequeira M.M., Carreiro M.C.V., Radioatividade nos Rio Tejo e Zêzere em 1998, Relatório DPRSN, nº 18/99 (1999).
- [14] Sequeira M.M. et al. Vigilância Radiológica a Nível Nacional (1999-2001). Relatório DPRSN, Série A, nº 18/2002, ISBN 972-95401-9-5 (2002).
- [15] Madruga M.J. et al. Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2002). Relatório DPRSN, Série A, nº 26/2003, ISBN 972-8660-27-8 (2003).
- [16] Madruga M.J. et al. Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2003). Relatório DPRSN, Série A, nº 28/2004, ISBN 972-8660-29-4 (2004).
- [17] Madruga M.J. et al. Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2004). Relatório DPRSN, Série A, nº 29/2005, ISBN 972-8660-30-8 (2005).
- [18] Madruga M.J. et al. Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2005). Relatório DPRSN, Série A, nº 30/2006, ISBN 972-8660-31-6 (2006).
- [19] Madruga M.J. et al. Vigilância Radiológica A Nível Nacional (Ano 2006). Relatório DPRSN, Série A, nº 31/2007, ISBN 978-972-8660-32-1 (2007).
- [20] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2007). Relatório UPSR, Série A, nº 32/2008, ISBN 978-972-8660-33-8 (2008).
- [21] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2008). Relatório UPSR, Série A, nº 33/2009, ISBN 978-989-96542-0-4 (2009).
- [22] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2009). Relatório UPSR, Série A, nº 37/2010, ISBN 978-989-96542-5-9 (2010).
- [23] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2010). Relatório UPSR, Série A, nº 38/2011, ISBN 978-989-96542-6-6 (2011).
- [24] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2011). Relatório LPSR, Série A, nº 39/2013, ISBN 978-989-96542-7-3 (2013).
- [25] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2012). Relatório LPSR, Série A, nº 40/2014, ISBN 978-989-96542-8-0 (2015).
- [26] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2013). Relatório LPSR, Série A, nº 41/2015, ISBN 978-989-96542-9-7 (2015).
- [27] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2014). Relatório LPSR, Série A, nº 42/2016, ISBN 978-989-20-6528-1 (2016).
- [28] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2015). Relatório LPSR, Série A, nº 43/2017, ISBN 978-989-99833-0-4 (2017).
- [29] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2016). Relatório LPSR, Série A, nº 44/2018, ISBN 978-989-99833-1-1 (2018).
- [30] Madruga M.J. et al. Programas de Monitorização Radiológica Ambiental (Ano 2017). Relatório LPSR, Série A, nº 45/2018, ISBN 978-989-99833-2-8 (2018).
- [31] Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro, Imprensa Nacional da Casa da Moeda. (2017).