

## Avaliação da exposição a cádmio, arsénio e chumbo no primeiro Estudo da Dieta Total harmonizado em Portugal

*Exposure assessment of cadmium, arsenic and lead in the first harmonized Total Diet Study in Portugal*

Elsa Vasco, Maria Graça Dias, Luísa Oliveira

elsa.vasco@insa.min-saude.pt

Departamento de Alimentação e Nutrição, Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, Lisboa, Portugal

### \_Resumo

Este estudo avaliou a exposição crónica da população portuguesa adulta (18-74 anos) ao arsénio inorgânico (iAs), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) através da alimentação, usando a metodologia harmonizada dos Estudos de Dieta Total (TDS).

Os dados de consumo alimentar foram combinados com dados de ocorrência dos contaminantes em 164 amostras de alimentos, representativas da dieta da população, preparadas "como consumidas" e analisadas por espectrometria de massa com plasma indutivo acoplado (ICP-MS).

Os resultados indicaram que a exposição média ao iAs (0,28 µg/kg de peso corporal/dia) e os valores de P95 para iAs, Cd e Pb não permitem excluir riscos para a saúde, como cancro, efeitos cardiovasculares, nefrotoxicidade e disfunções renais. Os grupos de alimentos "pratos compostos", "cereais e derivados" e "peixes, marisco, anfíbios, répteis e invertebrados" foram as principais fontes de exposição, sendo o pão a única fonte comum aos três contaminantes.

Recomenda-se a continuidade do TDS nacional com o refinamento dos procedimentos analíticos, incluindo a redução dos limites de deteção e a análise de especiação do arsénio, assim como a utilização de dados de consumo obtidos por duas vezes, com questionários às 24 horas anteriores, a fim de orientar de forma mais eficaz as estratégias de gestão de risco em saúde pública.

### \_Abstract

*This study assessed the chronic dietary exposure of the Portuguese adult population (ages 18-74) to inorganic arsenic (iAs), cadmium (Cd), and lead (Pb) using the harmonized methodology of Total Diet Studies (TDS).*

*Food consumption data were combined with occurrence data on 164 food samples prepared "as consumed" and analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS).*

*Results showed that the mean exposure to iAs (0.28 µg/kg of body weight/day) and the 95th percentile (P95) values for iAs, Cd, and Pb suggest potential health risks, including cancer, cardiovascular effects, nephrotoxicity, and kidney dysfunction. The food groups "composite dishes," "grains and grain-based products," and "fish, seafood, and invertebrates" contributed significantly to the overall exposure, with bread being the only common source of all three contaminants.*

*It is recommended to continue the national TDS (Total Diet Study), with refined analytical procedures, including lower detection limits and arsenic speciation analysis, as well as the use of consumption data obtained through two 24-hour dietary recall questionnaires. These measures aim to more effectively guide public health risk management strategies.*

### \_Introdução

A exposição humana ao arsénio, cádmio e chumbo é motivo de preocupação, devido à elevada toxicidade destes elementos e à sua ampla distribuição. O arsénio inorgânico, a forma mais tóxica de arsénio, está naturalmente presente na crosta terrestre (1). O cádmio, usado em baterias, pigmentos e plásticos, presente no tabaco e em ambientes de trabalho também apresenta riscos significativos (2). Já o chumbo, presente em tintas antigas, gasolina, poeiras contaminadas e atividades industriais (baterias, soldagem, cerâmica), é especialmente tóxico na sua forma inorgânica (3). O arsénio, o cádmio e o chumbo, entram na cadeia alimentar, constituindo a dieta uma das principais vias de exposição a estes elementos (1,4,5).

A exposição crónica a arsénio, cádmio e chumbo pode causar sérios problemas de saúde. O arsénio inorgânico está associado a cancro, doenças cardiovasculares e neurotoxicidade (1,6); o cádmio afeta os rins, ossos e aumenta o risco de cancro (2); e o chumbo compromete o desenvolvimento infantil e causa problemas cardiovasculares e renais (3). Valores de referência como a Ingestão Semanal Tolerável (TWI) e Doses de Referência Limite ou níveis mínimos com efeitos adversos (BMDL) são fundamentais para estimar possíveis efeitos adversos na saúde das populações (1,4-6).

Os Estudos de Dieta Total (TDS) são uma ferramenta eficaz e económica para avaliar a exposição da população a substâncias químicas incluindo contaminantes e nutrientes, medindo os níveis presentes em alimentos representativos do padrão alimentar da população e preparados como habitualmente consumidos (7). Também fornecem dados sobre os riscos para a saúde dos hábitos alimentares.

Iniciativas internacionais e europeias têm procurado harmonizar as metodologias de realização de TDS, facilitando comparações, análises de tendências e a comparação dos riscos de exposição entre populações (8).

### \_Objetivo

O estudo teve como objetivo avaliar a exposição crónica da população portuguesa ao arsénio, cádmio e chumbo através da alimentação, utilizando uma metodologia TDS harmonizada, e estimar o risco de exceder os valores de referência admissíveis estabelecidos para proteção da saúde.

### \_Material e métodos

Este estudo foi realizado pelo Departamento de Alimentação e Nutrição do Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, seguindo a metodologia harmonizada desenvolvida no projeto TDS-Exposure (9) e conforme descrito em detalhe por Vasco, *et al.* (10).

#### **Dados de consumo alimentar e amostragem de alimentos**

Resumidamente, os dados do inquérito alimentar obtido através de questionários às 24 horas anteriores, realizado em Portugal em 2009 (11), foram utilizados para criar uma lista base de 1072 alimentos representativos da dieta da população portuguesa (homens e mulheres, 18-93 anos, n=3470). Os alimentos da lista base foram classificados e distribuídos em 20 grupos de alimentos de acordo com o sistema de classificação e descrição FoodEx2 (12) e usados para desenvolver a lista TDS para a população geral (adultos e idosos, 18-74 anos, n=3272), com 528 alimentos cobrindo 95% da dieta total. A recolha dos alimentos ocorreu entre abril de 2014 e março de 2016 em lojas da grande Lisboa, de acordo com as suas quotas de mercado. As amostras foram preparadas "como consumidas", de acordo com referências culinárias nacionais e informações das embalagens, homogeneizadas, aliquotadas e armazenadas a -20 °C até à análise.

### **Determinação analítica de arsénio, cádmio e chumbo**

O arsénio total (tAs), o cádmio (Cd) e o chumbo (Pb) foram determinados por espectrometria de massa com plasma indutivo acoplado (ICP-MS), utilizando um método acreditado pela norma ISO/IEC 17025. As amostras TDS foram digeridas em ácido e quantificadas pelo método de padrão externo com curvas de calibração de seis pontos (intervalo de trabalho: 0,25-2,5 µg L<sup>-1</sup> para tAs e Cd; 0,5-5 µg L<sup>-1</sup> para Pb). Os limites de deteção variaram entre 0,08-12 µg/kg (tAs e Cd) e 0,17-24 µg/kg (Pb); os limites de quantificação entre 0,25-40 µg/kg (tAs e Cd) e 0,5-70 µg/kg (Pb). A repetibilidade e a precisão intermédia foram inferiores a 10% e 13% respetivamente, e as recuperações entre 80 e 120%. A exatidão foi ainda avaliada pela participação em ensaios de aptidão (Fapas®) com valores de z-score ≤ |2| e pela análise de materiais de referência (DORM-3). A incerteza relativa dos resultados foi de 22 % (tAs) e 33 % (Cd e Pb) (13-15).

### **Ocorrência, avaliação da exposição e caracterização do risco**

Os resultados de ocorrência do Cd e do Pb foram utilizados diretamente na estimativa da exposição, enquanto para o arsénio utilizaram-se os valores estimados do arsénio inorgânico (iAs) resultantes da aplicação da abordagem da EFSA, atribuindo os valores de 0,03 mg/kg para amostras de peixe, 0,1 mg/kg para amostras de marisco e 70% do arsénio total (tAs) nas restantes amostras de alimentos (1).

A avaliação da exposição foi realizada por meio de uma abordagem semiprobabilística, integrando os dados de ocorrência com os dados de consumo alimentar, associados através dos códigos FoodEx2. A estimativa da exposição foi feita através do *software* Monte Carlo Risk Assessment (MCRA) (16), e os resultados expressos em µg/kg de peso corporal por dia ou por semana. A exposição foi estimada, para os adultos e idosos dos 18 aos 74 anos (n=3272) e segmentada por sexo sendo expressa em média, mediana (P50) e percentil 95 (P95), representando este último a exposição muito elevada da população.

## artigos breves\_ n. 2

No caso do Cd, para avaliar o risco, os níveis de exposição estimados, foram comparados com a TWI de 2,5 µg/kg de peso corporal/semana (4) e estimada a percentagem da população que excedeu esse valor. Para o iAs e o Pb foram calculadas as Margens de Exposição (MoE), dividindo as Doses de Referência Limite (BMDL) pela média e P95 de exposição. Para o iAs, foram utilizadas as BMDL01 (Limite inferior do intervalo de confiança da dose estimada que provoca um efeito adverso em 1% dos indivíduos expostos) entre 0,3 e 8 µg/kg de peso corporal/dia (relacionadas com cancro e lesões cutâneas) (1) e a BMDL05 (Limite inferior do intervalo de confiança da dose estimada que provoca um efeito adverso em 5% dos indivíduos expostos) de 0,06 µg/kg de peso corporal/dia para carcinoma espinocelular (6). A EFSA não identificou MoEs de baixo risco para iAs, pois, as BMDLs são baseados em dados de cancro humano. Para o Pb, foram aplicados a BMDL01 de 1,5 µg/kg de peso corporal/dia (efeitos cardiovasculares) e a BMDL10 de 0,63 µg/kg de peso corporal/dia (nefrotoxicidade) (5). O painel CONTAM da EFSA considera MoEs ≥10 como seguras e entre 1 e 10 como risco muito baixo, no caso do chumbo. Também foi avaliada a contribuição de cada alimento para a exposição total, identificando os principais responsáveis pela exposição a cada contaminante.

## \_ Resultados e discussão

### Arsénio

Em 56% das amostras analisadas, os níveis de arsénio total (tAs) estavam abaixo do limite de deteção (LOD) ou do limite de quantificação (LOQ) do método. O grupo de alimentos com maior ocorrência média de tAs foi o dos “peixes, marisco, anfíbios, répteis e invertebrados”, com 2,4 mg/kg, destacando-se o Congro europeu, que apresentou o maior nível, 14 mg/kg; ao qual se seguiu o grupo dos ‘Pratos compostos’, com valor médio de 0,33 mg/kg. Todos os demais grupos de alimentos apresentaram médias iguais ou inferiores a 0,029 mg/kg.

### Arsénio inorgânico

A exposição estimada ao arsénio inorgânico (iAs) para a população geral, em µg/kg de peso corporal/dia, foi: média, 0,28, mediana 0,22 e P95 0,70 (gráfico 1A).

Com base na BMDL01 (0,3 a 8 µg/kg de peso corporal/dia), a MoE variou entre 1,1 e 29 para a média e 0,4 a 11 para o P95 e para a BMDL05 (0,06 µg/kg de peso corporal/dia), as MoEs foram 0,2 para a média e 0,1 para o P95, o que não permite descartar riscos aumentados para a saúde como cancro e lesões cutâneas (gráfico 2A).

As principais fontes alimentares de exposição ao iAs foram os grupos ‘pratos compostos’, ‘peixes, marisco, anfíbios, répteis e invertebrados’, ‘cereais e derivados’ e ‘leite e laticínios’. Para a população geral, o leite meio-gordo e o arroz foram os maiores contribuintes para a exposição ao iAs, seguidos por arroz de polvo e pão.

### Chumbo

Em 92% das amostras analisadas, os níveis de chumbo (Pb) estavam abaixo do LOD ou do LOQ. O grupo de alimentos ‘peixes, marisco, anfíbios, répteis e invertebrados’ apresentou a ocorrência média mais elevada, 0,047 mg/kg, fazendo parte dele a amostra com o maior teor (moluscos bivalves, 0,26 mg/kg). Os demais grupos de alimentos apresentaram médias iguais ou inferiores a 0,024 mg/kg.

A exposição média estimada ao Pb para a população geral foi de 0,35 µg/kg de peso corporal/dia, tanto para homens quanto para mulheres. O valor do P95 foi de 0,67 µg/kg de peso corporal/dia (gráfico 1B).

Considerando a BMDL01 de 1,5 µg/kg de peso corporal/dia, estabelecido para efeitos cardiovasculares, os valores de MoE foram de 4,3 para a média e 2,2 para o P95 (gráfico 2B). Com base na BMDL10 de 0,63 µg/kg de peso corporal/dia, definido para efeitos nefrotóxicos, as MoEs foram de 1,8 para a média e 0,9 para o P95 (gráfico 2B). Perante estes resultados, pode considerar-se muito baixa a possibilidade de efeitos adversos cardiovasculares e nefrotóxicos associados à exposição ao chumbo.

Os principais contribuintes para a exposição ao Pb na população geral foram os grupos de alimentos: ‘Pratos compostos’. ‘Frutas e produtos à base de frutas’ e ‘Cereais e produtos à base de cereais’. A maçã foi o principal contribuinte, seguida pelo pão. Outros alimentos que também contribuíram significativamente foram o café e o vinho.

Gráfico 1: Exposição estimada dos adultos e idosos dos 18 aos 74 anos ao arsénio inorgânico (A) e ao chumbo (B).

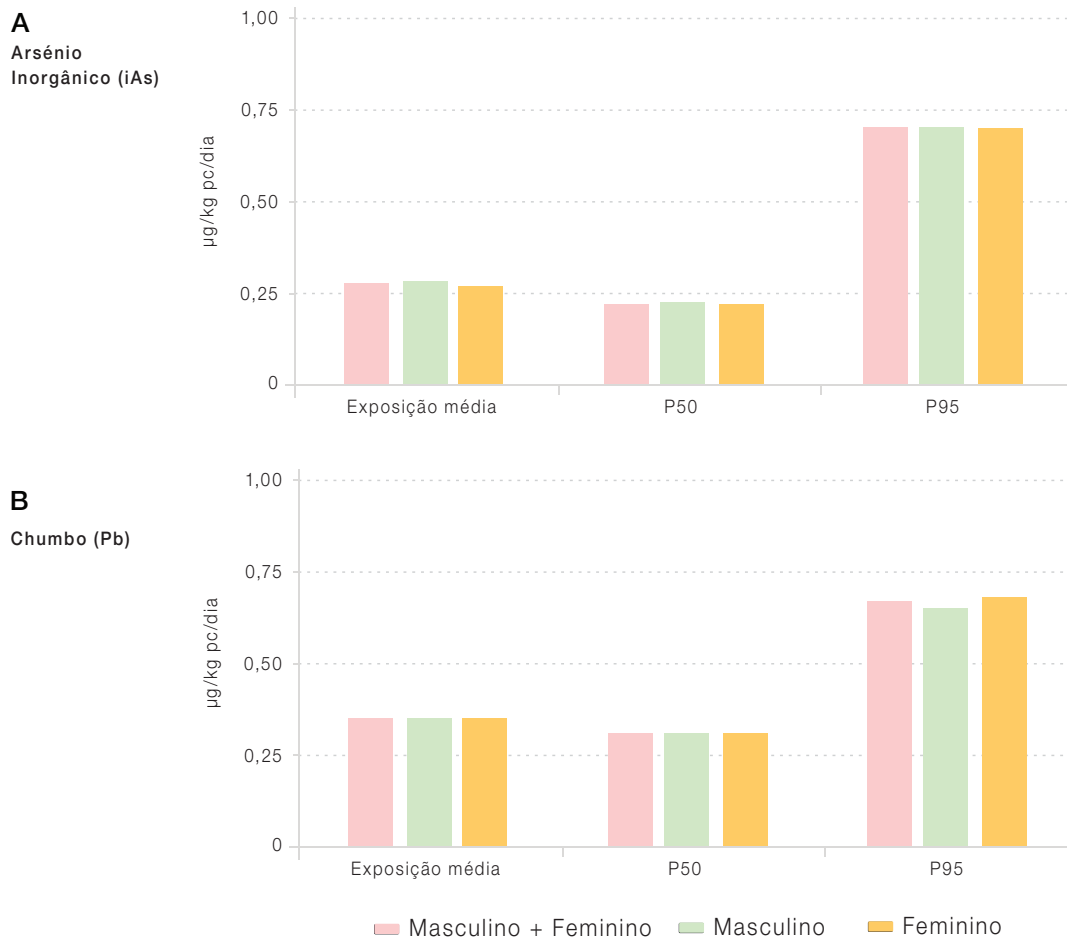
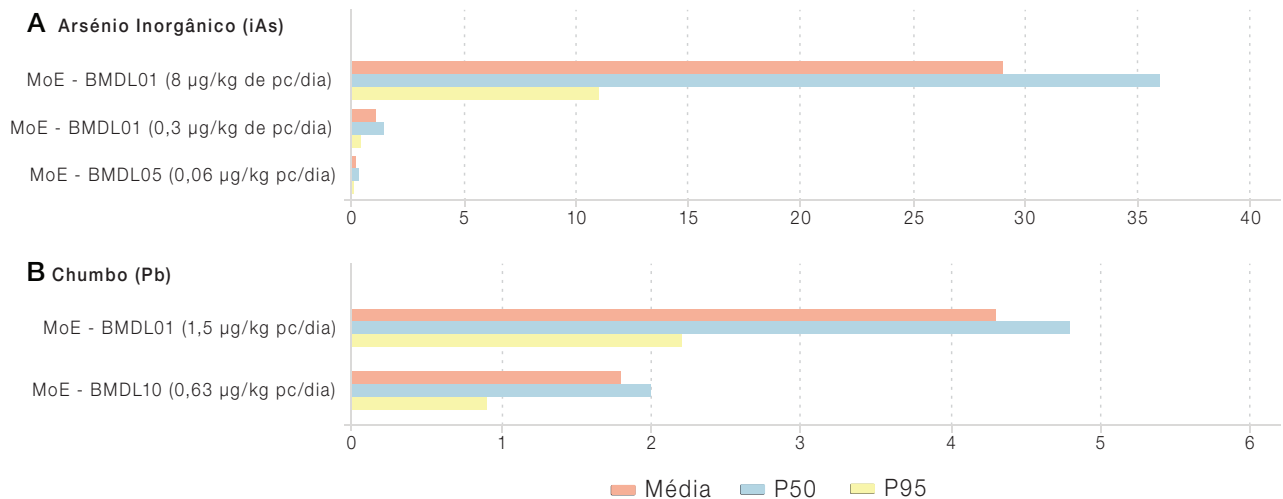


Gráfico 2: Margens de exposição para o arsénio inorgânico (A) e para o chumbo (B).



MoE – Margem de Exposição; BMDL - Doses de Referência Limite (Limite inferior do intervalo de confiança da dose estimada que provoca um efeito adverso 01, 05 e 10 em 1%, 5% e 10% dos indivíduos expostos, respetivamente); P50 – Mediana; P95 – Percentil 95; pc - peso corporal.

artigos breves\_ n. 2

### Cádmio

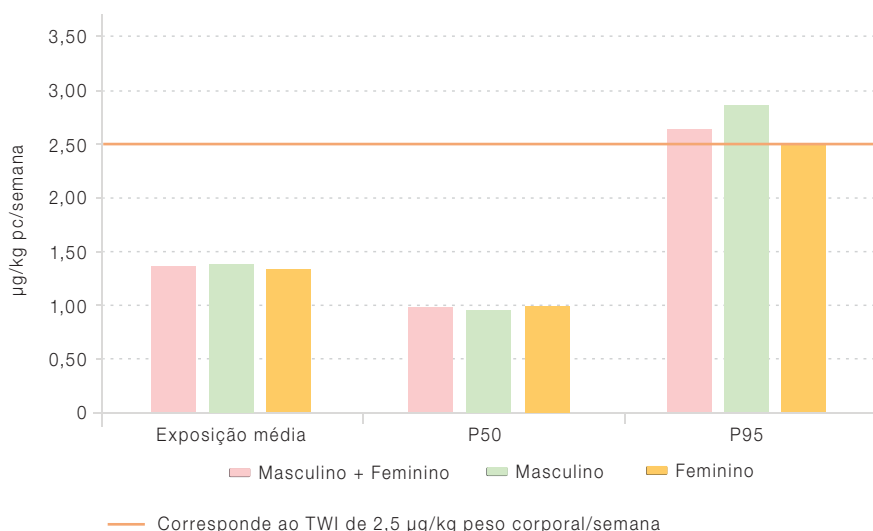
Em 87% das amostras analisadas, os níveis de cádmio (Cd) estavam abaixo do LOD ou do LOQ. O grupo de alimentos “peixes, marisco, anfíbios, répteis e invertebrados” apresentou a maior média de ocorrência, com 0,062 mg/kg, e o maior teor quantificado (0,5 mg/kg, em lulas) enquanto os demais grupos apresentaram valores médios iguais ou inferiores a 0,015 mg/kg.

Para a população geral, a exposição média semanal estimada ao Cd foi 1,36 µg/kg de peso corporal/semana (homens: 1,38; mulheres: 1,33), e o valor do P95 foi de 2,63 µg/kg de peso corporal/semana (homens: 2,86; mulheres:

2,53) (gráfico 3). A exposição média semanal ao Cd pela população geral foi estimada em 54,3% da Ingestão Semanal Tolerável (TWI) e 5,4% dos indivíduos ultrapassaram o valor da TWI. Os resultados não permitem excluir risco para a saúde associado à exposição ao cádmio, o qual deve ser investigado com mais profundidade.

Os principais contribuintes para a exposição ao Cd foram os grupos de alimentos ‘peixes, marisco, anfíbios, répteis e invertebrados’, ‘Pratos compostos’ e ‘Cereais e produtos à base de cereais’. Para a população geral, a lula foi o principal contribuinte, seguida da batata cozida.

Gráfico 3: ↓ Exposição estimada dos adultos e idosos dos 18 aos 74 anos ao cádmio.



### \_Conclusões

Este estudo estimou a exposição da população portuguesa entre 18 e 74 anos, ao arsénio inorgânico, cádmio e chumbo e os resultados indicam que não podem ser excluídos efeitos adversos à saúde.

Com base na metodologia adotada, a população portuguesa apresenta, em geral, um risco muito baixo de desenvolver efeitos cardiovasculares ou nefrotóxicos associados à exposição ao chumbo. Relativamente ao arsénio inorgânico, não é possível excluir a ocorrência de efeitos adversos, nomeadamente cancro, lesões cutâneas e carcinoma espinocelu-

lar, uma vez que a EFSA não estabeleceu margens de exposição consideradas seguras. No caso do cádmio, verifica-se preocupação em relação aos 5% da população com níveis de exposição mais elevados.

Os grupos de alimentos “pratos compostos”, “cereais e derivados de cereais” e “peixes, marisco, anfíbios, répteis e invertebrados” foram responsáveis por mais de 12% da exposição total aos três contaminantes. Entre os cinco principais alimentos que mais contribuíram para a exposição, o pão revelou-se como a única fonte comum de exposição ao iAs, Cd e Pb.

artigos breves\_ n. 2

A implementação regular de um TDS nacional, com base na metodologia harmonizada descrita em Vasco *et al.* (9) e em dados atualizados de consumo alimentar, obtidos por questionários aplicados duas vezes às 24 horas anteriores permitiria monitorizar tendências de exposição e orientar estratégias eficazes de gestão de risco em saúde pública.

Adicionalmente, devem ser feitos esforços para melhorar a avaliação da exposição ao Cd, Pb e As em estudos de dieta total, através da redução dos limites de quantificação analíticos para o Cd e o Pb e da realização de análises de especificação para o As.

Este artigo corresponde a uma versão reduzida, em português, do artigo original: Vasco E, Dias MG, Oliveira L. The first harmonised total diet study in Portugal: Arsenic, cadmium and lead exposure assessment. *Chemosphere*. 2025 Mar;372:144003. Epub 2025 Jan 23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.144003>

Referências bibliográficas:

- (1) EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on Arsenic in Food. *EFSA J*. 2009 Oct 22;7(10):1351. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351>
- (2) World Health Organization. Preventing disease through healthy environments: exposure to cadmium: a major public health concern. Geneva: WHO, 2019. <https://iris.who.int/handle/10665/329480>
- (3) World Health Organization. Exposure to lead: a major public health concern: preventing disease through healthy environments. 3rd ed. Geneva: WHO, 2023. <https://iris.who.int/handle/10665/372293>
- (4) European Food Safety Authority. Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA J*. 2012 Jan;10(1):255. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551>
- (5) European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA J*. 2010 Apr;8(4):1570. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570>
- (6) European Food Safety Authority. Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food. *EFSA J*. 2024 Jan; 22(1):e8488. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8488>
- (7) Moy GG. Total Diet studies. Protecting the Public from Chemical Hazards in Food. *Ernahrungs Umschau*. 2015;62(8):132–9. <https://doi.org/10.4455/eu.2015.021>
- (8) European Food Safety Authority. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Towards a harmonised Total Diet Study approach: a guidance document. *EFSA J*. 2011;9(11):2450. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2450>
- (9) Vasco E, Dias MG, Oliveira L. The first harmonised total diet study in Portugal: Planning, sample collection and sample preparation. *Food Chem*. 2021 Nov 30;363:130258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130258>
- (10) Vasco E, Dias MG, Oliveira L. The first harmonised total diet study in Portugal: Arsenic, cadmium and lead exposure assessment. *Chemosphere*. 2025 Mar;372:144003. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.144003>
- (11) Póinhos R, Franchini B, Afonso C, et al. Alimentação e estilos de vida da população portuguesa: metodologia e resultados preliminares. *Alimentação Humana*. 2009;15(3):43-60. [http://www.spcna.pt/download.php?path=pdfs&filename=SPCNA\\_20101209222339\\_SPCNA\\_n3\\_2009\\_1.pdf](http://www.spcna.pt/download.php?path=pdfs&filename=SPCNA_20101209222339_SPCNA_n3_2009_1.pdf)
- (12) European Food Safety Authority. The food classification and description system FoodEx 2 (draft-revision 1). *EFSA Support Publ*. 2011;215:1-438. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/sp.efsa.2011.EN-215>
- (13) Coelho I, Gueifão S, Matos AS, et al. Experimental approaches for the estimation of uncertainty in analysis of trace inorganic contaminants in foodstuffs by ICP-MS. *Food Chem*. 2013 Nov 1;141(1):604-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.040>
- (14) Ventura M, Cardoso C, Bandarra NM, et al. Bromine, arsenic, cadmium, and lead in several key food groups: an assessment of relative risk. *Int J Environ Anal Chem*. 2018;98(15):1398-412. <https://doi.org/10.1080/03067319.2018.1559307>
- (15) Ventura M, Cardoso C, Bandarra NM, et al. Effect of season and proximate composition on the Br, As, Cd and Pb contents in different kinds of key foods consumed in Portugal. *Int J Food Sci Technol*. 2019;55(5):2219-31. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14475>
- (16) Boon PE, Boer WJ, Kruisselbrink J, et al. Monte Carlo Risk Assessment (MCRA) computational model: maintenance and management 2017. Bilthoven: RIVM, 2018. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0001.pdf>