

Avaliação da exposição ao mercúrio no primeiro estudo da dieta total harmonizado em Portugal

Assessment of mercury exposure 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

O objetivo deste estudo foi estimar a exposição da população portuguesa ao metilmercúrio e mercúrio inorgânico, usando uma metodologia harmonizada de Estudos de Dieta Total (TDS), e avaliar o risco de exceder a Dose Semanal Admissível (DSA) (1,3 e 4 µg/kg de peso corporal/ semana, respetivamente). Amostras de alimentos representativas do padrão alimentar da população foram preparadas de acordo com os hábitos de consumo e analisadas para determinar o teor de mercúrio total. O metilmercúrio e o mercúrio inorgânico foram estimados a partir do mercúrio total, utilizando a abordagem conservadora da Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) e a exposição aos mesmos foi estimada usando o Monte Carlo Risk Assessment (MCRA).

A exposição dos adultos e idosos dos 18 aos 74 anos, expressa em µg/kg peso corporal/semana, ao metilmercúrio foi de 1,25 (média), 0,01 (mediana) e 5,45 (P95), enquanto ao mercúrio inorgânico foi de 0,37 (média), 0,15 (mediana) e 1,27 (P95). Dos indivíduos, 27,6% excederam a DSA, para o metilmercúrio, e 3,5% para o mercúrio inorgânico. Entre as mulheres em idade fértil (18-45 anos), a exposição média ao metilmercúrio foi de 1,13 µg/kg peso corporal/semana, com 25% excedendo a DSA. O bacalhau seco e a pescada foram os principais contribuintes para a ingestão de mercúrio.

_Abstract

The aim of this study was to estimate the exposure of the Portuguese population to methylmercury and inorganic mercury using a harmonized Total Diet Study (TDS) methodology and to assess the risk of exceeding the Tolerable Weekly Intake (TWI) (1.3 and 4 µg/kg body weight/week, respectively). Food samples representative of the population's diet were prepared as consumed and analysed for total mercury. The European Food Safety Authority's (EFSA) conservative approach to estimating methylmercury and inorganic mercury was applied, and exposure was assessed using the Monte Carlo Risk Assessment (MCRA) software.

The mean, median, and P95 exposure of adults and elderly from 18 to 74 years old to methylmercury was 1.25, 0.01, and 5.45 µg/kg body weight/week, respectively, while exposure to inorganic mercury was 0.37, 0.15, and 1.27 µg/kg body weight/week. TWI was exceeded by 27.6% of the individuals for methylmercury and by 3.5% for inorganic mercury. Women of childbearing age (18–45 years) showed a mean exposure to methylmercury of 1.13 µg/kg body weight/week, with 25% exceeding the TWI. Cod and hake were the main contributors to mercury intake.

_Introdução

O mercúrio, um metal naturalmente presente na crosta terrestre, ocorre em diversas formas químicas, sendo o metilmercúrio a mais preocupante devido à sua bioacumulação nos organismos aquáticos e na cadeia alimentar (1,2). A exposição humana ao mercúrio ocorre por diversas vias, incluindo a inalação, ingestão de alimentos e contato dérmico, sendo o consumo de peixe e marisco uma das principais fontes. A exposição crónica ao metilmercúrio pode causar efeitos adversos na saúde, especialmente défice no neurodesenvolvimento em crianças e problemas neurológicos, cardiovasculares e renais em adultos (3).

Para proteger a saúde humana da exposição a substâncias químicas, entidades internacionais como o Comité conjunto da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura e da Organização Mundial da Saúde (FAO/OMS) de Peritos em Aditivos Alimentares (JECFA) e a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) estabeleceram valores de referência para a saúde, como a Dose Semanal Admissível (DSA) para o metilmercúrio e mercúrio inorgânico (3,4).

O consumo de pescado pela população portuguesa é elevado (59,41 kg *per capita* em 2021 (5)), resultando potencialmente numa exposição excessiva ao mercúrio cujo risco é importante avaliar. Os estudos de dieta total (TDS) são uma ferramenta de saúde pública, pois permitem estimar, de modo robusto, a exposição da população a contaminantes e nutrientes, uma vez que representam a alimentação da população de uma forma global e analisam os alimentos tal como são consumidos, refletindo as práticas de preparação culinária habituais. São, portanto, instrumentos essenciais

para desenvolver estratégias eficazes de gestão e redução da exposição. A utilização de metodologias harmonizadas para a avaliação da exposição alimentar, permite a análise de tendências temporais, facilita a comparabilidade entre países e fornece evidência científica para a adoção de medidas eficazes de gestão do risco (6,7).

_Objetivos

O presente estudo teve como principal objetivo avaliar a exposição crónica da população portuguesa ao metilmercúrio e mercúrio inorgânico, utilizando uma metodologia harmonizada de Estudos de Dieta Total (TDS), e estimar o risco de ultrapassar os valores de referência admissíveis estabelecidos para proteção da saúde.

_Material e métodos

O planeamento, a aquisição e a preparação das amostras de alimentos utilizadas no presente estudo, foram realizados pelo Departamento de Alimentação e Nutrição do Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, tal como descrito detalhadamente por Vasco (8), de acordo com a metodologia harmonizada desenvolvida no projeto TDS-Exposure (7,9).

Dados de consumo alimentar e amostragem de alimentos

Com base no inquérito de consumo alimentar “Alimentação e estilos de vida da população portuguesa” (10), foi elaborada uma lista de 1072 alimentos representativos da dieta da população portuguesa (18-93 anos, n=3529), classificando-os em 20 grupos segundo o sistema de classificação e descrição de alimentos FoodEx2 (11). Para os adultos e idosos dos 18 aos 74 anos (n=3272), foi criada uma lista TDS com 528 alimentos, cobrindo 95% da dieta. A seleção dos alimentos baseou-se em dois critérios: i) todos os que contribuíam para 90% do consumo alimentar, ii) e aqueles que, não estando cobertos pelo critério anterior, eram relevantes como possíveis fontes de exposição a substâncias de interesse (8). Os alimentos foram agrupados, resultando em 164 amostras TDS, cada uma composta por 12 subamostras. Para considerar variações sazonais e regionais, foram analisadas 227

amostras TDS (2724 subamostras). A recolha dos alimentos decorreu entre abril de 2014 e março de 2016, em diferentes estabelecimentos comerciais da Grande Lisboa. Os alimentos foram preparados como consumidos pela população, seguindo os hábitos culinários mais comuns. As partes edíveis foram homogeneizadas, agrupadas nas respetivas amostras TDS, alíquotadas e armazenadas a -20°C até à análise (8).

Determinação analítica de mercúrio

A determinação da ocorrência de mercúrio total nas amostras TDS foi realizada por um método acreditado ISO/IEC 17025, utilizando um analisador direto de mercúrio DMA-80 (Milestone Inc., EUA), baseado na decomposição térmica, amálgama e deteção espectrométrica atómica (254 nm). Os resultados foram expressos em µg/kg. Os limites de deteção (LOD) e quantificação (LOQ) do método variaram entre 0,07-4,6 µg/kg e 0,2-13,8 µg/kg, respetivamente. A precisão da medição, expressa em coeficiente de variação de repetibilidade e de precisão intermédia, foi igual ou inferior a 0,70% e 1,16%, respetivamente. A avaliação do desempenho laboratorial incluiu a participação em testes de proficiência (Fapas®, Reino Unido) e a análise de material de referência certificado (NIST 1566b, tecido de ostra), apresentando z-scores entre -2,9 e 1,2. A incerteza relativa dos resultados foi de 5%.

Ocorrência, avaliação da exposição e caracterização do risco

Para os resultados da ocorrência os valores obtidos na determinação analítica abaixo do limite de deteção (LOD) e/ou limite de quantificação (LOQ) foram tratados pelo método de substituição *Upper Bound* (UB) e *Lower Bound* (LB) (12,13). No UB, aos valores não detetados foi atribuído o valor do LOD e aos valores entre LOD e LOQ o valor de LOQ. No LB, valores não detetados foram considerados zero e aos valores entre LOD e LOQ foi atribuído o valor de LOD.

Para estimar os níveis de metilmercúrio a partir dos valores de mercúrio total, seguiu-se a abordagem conservadora da EFSA, assumindo 100% de metilmercúrio no peixe e 80% nos mariscos. O mercúrio inorgânico foi estimado como 20% do mercúrio total no peixe e 50% nos mariscos. Nos restantes alimentos, o mercúrio total foi considerado 100% inorgânico (3).

A avaliação da exposição ao metilmercúrio e mercúrio inorgânico foi realizada por uma abordagem semiprobabilística, combinando os dados de ocorrência (UB e LB) com os consumos alimentares de cada indivíduo, registados no inquérito alimentar. A combinação dos dados de ocorrência com os de consumo foi realizada por meio da codificação utilizando o sistema FoodEx2, e a exposição foi calculada com o *software Monte Carlo Risk Assessment* (MCRA), utilizando o modelo "Observed Individual Mean" (OIM) (14). A exposição foi estimada para os alimentos "como medidos" (amostras TDS) e "como consumidos" (subamostras TDS), sendo expressa em média, mediana (P50) e percentil 95 (P95), representando a população com exposição média e muito alta. A exposição foi calculada, para os adultos e idosos dos 18 aos 74 anos (n=3272) e segmentada por sexo. A exposição para mulheres em idade fértil (18-45 anos, n=905) foi também avaliada.

Para a caracterização do risco, os valores estimados de exposição ao metilmercúrio e mercúrio inorgânico foram comparados com os valores da DSA de 1,3 e 4 µg/kg de peso corporal (pc), respetivamente, estabelecidos pela EFSA (3). Foi também estimada a percentagem de indivíduos que excederam a DSA, assim como, a contribuição de cada alimento para a exposição total, destacando-se os principais contribuintes.

_Resultados e discussão

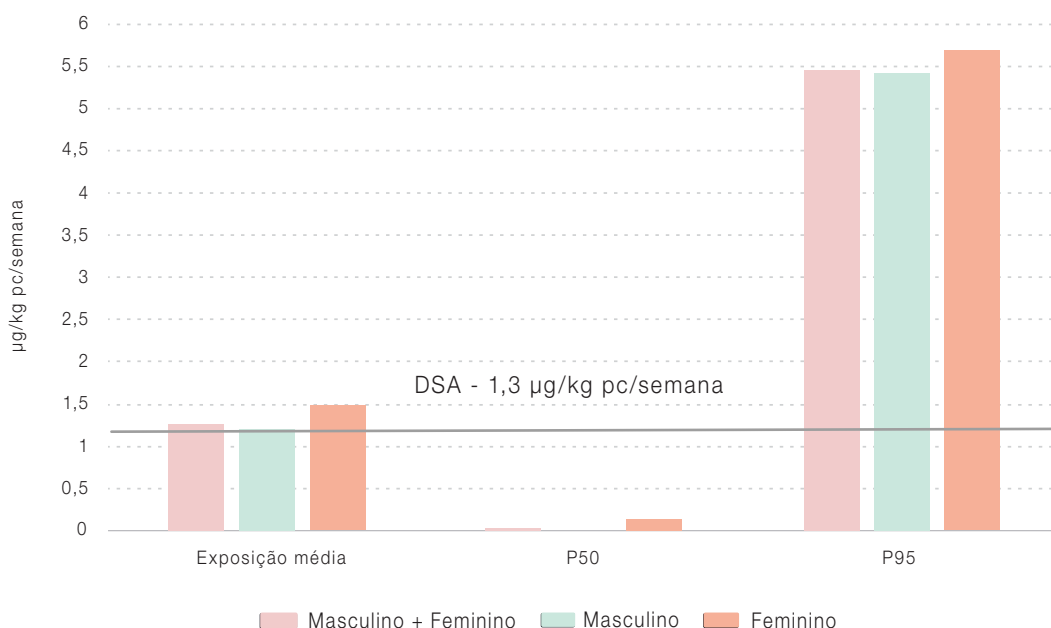
Mercúrio

Os níveis de ocorrência de mercúrio total abaixo do LOD e LOQ representaram 77% das amostras analisadas, no entanto, todas as amostras TDS compostas por peixe e/ou marisco apresentaram valores de ocorrência acima do LOQ. O grupo alimentar "peixe, marisco, anfíbios, répteis e invertebrados" teve o maior valor médio de ocorrência de mercúrio total (0,136 mg/kg), incluindo a amostra com o maior valor (0,574 mg/kg, peixe-espada). Outros grupos alimentares apresentaram valores médios iguais ou abaixo de 0,0195 mg/kg.

Metilmercúrio

Somente as estimativas UB do metilmercúrio são apresentadas, pois não houve diferenças significativas entre os valores de UB e LB. O gráfico 1 apresenta a estimativa de exposição ao metilmercúrio dos adultos e idosos dos 18 aos 74 anos. A média semanal de exposição foi de 1,25 µg/kg pc/semana, com a mediana (P50) próxima de zero (0,01 µg/kg pc/semana) e o P95 estimado em 5,45 µg/kg pc/semana. A exposição média ao metilmercúrio atingiu 96% da DSA, e o percentil 95 o valor de 419%. A proporção de indivíduos que excederam a DSA foi de 27,6%. Os grupos alimentares "peixe, mariscos,

Gráfico 1: ⬇️ Exposição estimada dos adultos e idosos dos 18 aos 74 anos ao metilmercúrio.



anfíbios, répteis e invertebrados" e "pratos compostos" foram os únicos responsáveis pela exposição ao metilmercúrio. Os principais alimentos contribuintes para a exposição ao metilmercúrio foram o bacalhau seco (18,3%) e pescada (14,3%).

Quando considerados apenas os consumidores (1659 indivíduos), a exposição ao metilmercúrio foi estimada em 2,46 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana (média) e 1,57 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana (P50), correspondendo a 189% e 121% do DSA, respetivamente.

O metilmercúrio está associado a efeitos adversos no desenvolvimento neurológico em fetos e crianças, por isso a exposição foi estimada para 905 mulheres portuguesas em idade fértil (18 a 45 anos). A exposição semanal média estimada foi de 1,13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana, correspondendo a 86,9% do DSA (1,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana), enquanto a mediana (P50) foi 0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana. No percentil 95, a exposição foi de 5,56 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana, aproximadamente quatro vezes a DSA, com 25% das mulheres excedendo esse limite. Para as consumidoras de peixe e marisco (409 indivíduos), a exposição média foi de 2,50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana (192% a DSA), o dobro do valor estimado para todas as mulheres em idade fértil. Os principais contribuintes para a exposição foram a pescada (20,2%), o bacalhau seco (14,5%) e o atum em conserva (12,8%).

Mercúrio inorgânico

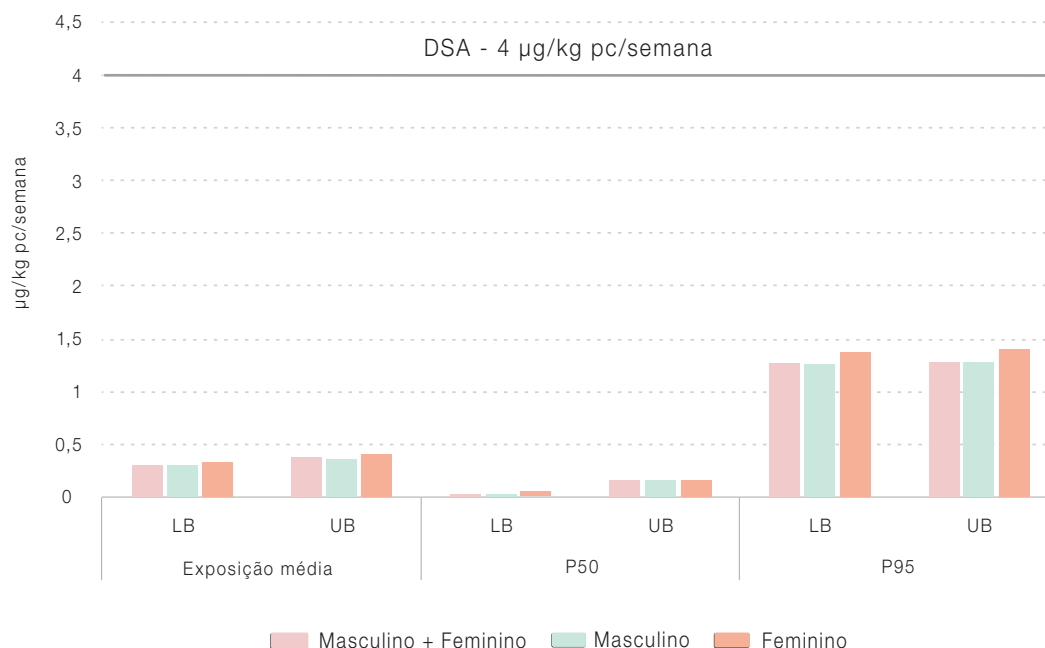
O **gráfico 2** apresenta a estimativa de exposição ao mercúrio inorgânico para os adultos e idosos dos 18 aos 74 anos em Portugal.

A exposição média foi de 0,30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana (LB) e 0,37 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana (UB), com a mediana de 0,03 e 0,15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana, LB e UB, respetivamente. No percentil 95, a exposição semanal foi de 1,26 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana (LB) e 1,27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pc/semana (UB). Apenas 3,4% (LB) e 3,5% (UB) dos indivíduos excederam a DSA.

Os grupos alimentares 'peixes, mariscos, anfíbios, répteis e invertebrados' e 'pratos compostos' foram responsáveis por 79% a 85% da exposição ao mercúrio inorgânico.

Os principais alimentos que contribuíram para a exposição foram o bacalhau seco (11,6% a 16,8%) e a pescada (9,3% a 9,9%).

Gráfico 2:  Exposição estimada dos adultos e idosos dos 18 aos 74 anos ao mercúrio inorgânico.



_Conclusões

A exposição média estimada dos adultos e idosos dos 18 aos 74 anos ao metilmercúrio e mercúrio inorgânico não excedeu a Dose Semanal Admissível (DSA). No entanto, 27,6% dos indivíduos ultrapassaram a DSA para metilmercúrio e 3,5% para mercúrio inorgânico, indicando risco potencial de efeitos adversos.

A distribuição da exposição ao metilmercúrio é assimétrica, afetando apenas cerca de metade dos indivíduos correspondendo aos consumidores de peixe e marisco para os quais a exposição média excede em 189% a DSA e em 192% a DSA, no caso particular das consumidoras em idade fértil. Este último resultado é particularmente preocupante, pois a exposição ao metilmercúrio pode prejudicar o desenvolvimento neurológico fetal. Por outro lado, para as não consumidoras de pescado há preocupação com a baixa ingestão de ácidos gordos ómega-3 que têm o pescado como principal fonte e que são essenciais para a saúde cardiovascular e para o neurodesenvolvimento infantil, sendo de privilegiar o consumo de diferentes espécies, com elevados teores de ómega-3 e com menores teores de mercúrio.

Estudos futuros devem avaliar a exposição ao metilmercúrio em grupos vulneráveis (grávidas, lactantes e crianças até 10 anos), considerando as recomendações portuguesas para o consumo de peixe e marisco (15).

Este artigo corresponde a uma versão reduzida, em português, do artigo original: Vasco E, Dias MG, Oliveira L. *Mercury Exposure Assessment from the First Harmonised Total Diet Study in Portugal*. Expo Health. 2025;17:119–152. Epub 2024 Aug 15. <https://doi.org/10.1007/s12403-024-00649-1>

Referências bibliográficas:

- (1) World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations & Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Meeting (72nd : 2010 : Rome, Italy). Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second [72nd] report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva: WHO, 2011. <https://iris.who.int/handle/10665/44514>
- (2) Clarkson TW. The three modern faces of mercury. Environ Health Perspect. 2002 Feb;110 Suppl 1(Suppl 1):11-23. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110s111>
- (3) EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal. 2012; 10(12):2985. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985>
- (4) Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2003 : Rome, Italy), World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. Evaluation of certain food additives and contaminants : sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva: World Health Organization, 2004. <https://iris.who.int/handle/10665/42849>
- (5) Our World in Data. Fish and seafood consumption per capita, 2021 [online] [consult. 8/5/2024]. <https://ourworldindata.org/grapher/fish-and-seafood-consumption-per-capita?tab=chart&time=2021>
- (6) European Food Safety Authority, Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization. Towards a harmonised Total Diet Study approach: a guidance document. EFSA Journal. 2011;9(11):2450. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2450>
- (7) Pité M, Pinchen H, Castanheira I, et al. Quality Management Framework for Total Diet Study centres in Europe. Food Chem. 2018 Feb 1;240:405-14. Epub 2017 Jul 21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.101>
- (8) 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. Epub 2021 Jun 1. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130258>
- (9) Dofkova M, Nurmi T, Berg K, et al. Development of harmonised food and sample lists for total diet studies in five European countries. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. 2016 Jun;33(6):933-44. Epub 2016 Jun 1. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1189770>
- (10) Poínhos R, Franchini B, Afonso C, et al. Estudo Alimentação e Estilos de Vida da População Portuguesa: Metodologia e resultados preliminares. Aliment Humana. 2009;15(3):43-60. http://www.spcna.pt/download.php?path=publicacoes&filename=SPCNA_20101209222339_SPCNA_n3_2009_1.pdf
- (11) European Food Safety Authority. The food classification and description system FoodEx 2 (draft-revision 1). EFSA Support Publ. 2011;8(12):215E. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2011.EN-215>
- (12) European Food Safety Authority. Management of left-censored data in dietary exposure assessment of chemical substances. EFSA J. 2010;8(3):1557. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1557>
- (13) GEMS/Food-EURO. Reliable evaluation of low-level contamination of food: Workshop report, Kulmbach, Germany, 26–27 May 1995. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, 1995. <https://toolbox.foodcomp.info/References/LOD/GEMS-Food-EURO%20-%20-%20Reliable%20Evaluation%20of%20Low-Level%20Contamination%20of%20Food.pdf>
- (14) Boon PE, de Boer WJ, Kruisselbrink J, et al. Monte Carlo Risk Assessment (MCRA) computational model: maintenance and management 2017. Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment, 2018. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0001.pdf>
- (15) Direção-Geral da Alimentação e Veterinária, Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, Economic and Food Safety Authority, et al. Recomendações para o consumo de pescado. 2023. <https://nutrimento.pt/wp-content/uploads/2023/05/Consumo-Pescado.pdf>