



IODO EM PRODUTOS À BASE DE VEGETAIS

Manuela Luísa **Nunes Silva**¹; Maria Isabel Andrekowisk **Fioravanti**², Adriana Aparecida **Mauri**³,
Marcelo Antonio **Morgano**⁴, Raquel Fernanda **Milani**⁵

Nº 24216

RESUMO – Alimentos análogos de carne e leite à base de plantas (plant-based) vêm sendo aprimorados para se assemelharem aos produtos de origem animal, tornando-se uma alternativa de consumo mais saudável e sustentável para o meio ambiente. A produção de alimentos à base de proteínas alternativas utiliza matérias primas como grãos e leguminosas, sendo fontes de micronutrientes. O iodo é um micronutriente essencial, com função no desenvolvimento físico e neurológico e atuação no sistema cardiovascular, respiratório, muscular e nervoso. Apesar de sua presença na composição destes alimentos, estudos de níveis de iodo não foram reportados na literatura. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar os níveis de iodo presentes nos principais alimentos análogos à lácteos e carnes e calcular a estimativa de ingestão de iodo por crianças (4-8 anos), adolescentes (9-18 anos) e adultos. O método por ICP-MS foi validado (INMETRO) e valores satisfatórios foram observados: tendência / recuperação entre 103-109% e limites de quantificação de 2 e 7 µg/100g para bebidas e alimentos análogos a carne, respectivamente. Os níveis de iodo (µg/100g) variaram entre <2-9; <2-7,9 e <7-51 para bebidas vegetais; iogurtes e queijos vegetais; e alimentos análogos à produtos cárneos, respectivamente. Considerando o consumo de uma porção diária de alimentos plant-based, a contribuição para ingestão diária recomendada (IDR) de iodo variou de 5 a 45% para crianças e de 3 a 27% para adolescentes e adultos. Estes resultados reforçam a relevância de conhecer os níveis deste importante micronutriente em alimentos à base de proteínas vegetais.

Palavras-chaves: Micronutriente, Alimentos *plant-based*, Ingestão diária, ICP-MS.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Processos Químicos, FATEC, Campinas-SP; manuelaluisanunes.silva@gmail.com

2 Colaborador, Pesquisador Científico, IAL, Campinas-SP.

3 Colaboradora, Técnica de Laboratório, ITAL, Campinas-SP.

4 Co-orientador, Pesquisador Científico, ITAL, Campinas-SP.

5 Orientadora, Assistente de Laboratório, ITAL, Campinas-SP, raquel.milani@ital.sp.gov.br.



ABSTRACT – *Plant-based meat and milk analogues have been improved to resemble animal products, becoming a healthier and more sustainable alternative for consumption and for the environment. The production of food based on alternative proteins uses raw materials such as grains and legumes, which are sources of micronutrients. Iodine is an essential micronutrient that functions in physical and neurological development and performance in the cardiovascular, respiratory, muscular, and nervous systems. Although its presence in the composition of these foods, iodine levels have not been reported in the literature. Thus, the objective of this study was to evaluate the iodine levels in the main plant-based dairy and meat products and to calculate the iodine intake by children (4 - 8 years), adolescents (9 - 18 years) and adults. The method by ICP-MS was validated (INMETRO) and satisfactory values were observed: trend / recovery between 103 and 109% and limits of quantification of 2 and 7 µg/100g for plant-based beverages and meat products, respectively. Iodine levels (µg/100g) ranged between <2 - 9; <2 - 7.9 e <7 - 51 for plant-based beverages, yogurts and cheese and meat products, respectively. Considering the consumption of a daily portion of plant-based foods, the contribution to the recommended dietary allowance (RDA) of iodine ranged from 5 to 45% for children and from 3 to 27% for adolescents and adults. These results highlight the importance of comprehending the levels of this essential micronutrient in plant-based foods.*

Keywords: *Micronutrient, Plant-based food, Daily intake, ICP-MS.*

1. INTRODUÇÃO

Os alimentos análogos de carne e leite à base de plantas vêm conquistando cada vez mais espaço no mercado, oferecendo uma alternativa sustentável aos produtos de origem animal. Consumidores com restrições alimentares, veganos, vegetarianos e preocupados com a saúde impulsionam o crescimento desse mercado (Marodin, 2021; Silva *et al.*, 2020; Gómez-Luciano *et al.*, 2019). Para produção de alimentos à base de proteínas são utilizadas várias plantas cultivadas no Brasil, como leguminosas e tecidos cultivados a partir de células, ricos em micronutrientes essenciais.

O mercado brasileiro de proteínas alternativas à base de vegetais apresenta um crescimento acelerado, com cerca de 100 empresas atuando no setor. Essa expansão demonstra o grande potencial desse mercado e a crescente demanda por produtos inovadores e sustentáveis que atendam às necessidades dos consumidores modernos. Estes alimentos são baseados em partes comestíveis de plantas, como grãos, folhas e tubérculos e desenvolvidos para ser uma opção para o consumo de micronutrientes essenciais por dietas como vegetariana, vegana e flexitariana (Silva *et al.*, 2020; GFI, 2021).

Dentre os micronutrientes essenciais, o iodo destaca-se por ser um não-metal do grupo dos halogênios com função fisiológica dos hormônios da glândula tireoide (T_3 e T_4), incluindo o

crescimento e o desenvolvimento físico e neurológico, atuação no sistema cardiovascular, respiratório, muscular e nervoso, regulação metabólica, entre outras (Cozzolino, 2021). Em gestantes, o feto depende da produção destes hormônios maternos até a 20ª semana, sendo indispensável para o correto desenvolvimento do sistema nervoso central. A deficiência de iodo é associada a ocorrência de déficit intelectual, aumento da mortalidade infantil, bócio e distúrbios no sistema reprodutor (Cozzolino, 2021; Knust & Leung, 2017). O excesso de iodo ($> 300 \mu\text{g L}^{-1}$ na urina), por sua vez, ocasiona danos ao organismo, sendo frequentemente associado ao hipertireoidismo e doenças autoimunes da tireoide (Velasco & Garcia-Fuentes, 2017).

Em alimentos são encontradas espécies inorgânicas (iodeto e iodato) e orgânicas de iodo. No Brasil, o iodato é a forma recomendada para fortificação de sal de cozinha, em níveis entre 15 e 45 mg/kg (Brasil, 2022). No intestino, o iodato é reduzido a iodeto, sendo sua fração bioacessível superior a 90% (Cozzolino, 2021; Knust & Leung, 2017; Kučera, 2009). No entanto, os níveis presentes em alimentos são baixos e sua determinação é muitas vezes desafiadora em razão de sua volatilidade e facilidade em ser oxidado e reduzido (Todorov & Gray, 2016). Uma das técnicas instrumentais que se destaca para a determinação de iodo com alta sensibilidade é a espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), que apresenta alta sensibilidade e ferramentas para a atenuação / mitigação de eventuais interferências da matriz (Zheng *et al.*, 2012).

Alimentos de origem animal, em especial leites, peixes e frutos do mar são considerados boas fontes de iodo, com níveis entre 50 e 120 $\mu\text{g}/100\text{g}$, decorrentes de suplementação na ração dos animais ou bioacumulação no ambiente marinho. Vegetais e frutas, por sua vez, são associados a níveis mais baixos entre não detectado a 62,2 $\mu\text{g}/100\text{g}$ (maçã com casca) (Cozzolino, 2021). A ingestão de iodo em dietas veganas desperta preocupação na comunidade científica, sendo um dos primeiros trabalhos sobre o assunto reportado por Rauma *et al.* (1983), onde os autores destacam a importância do consumo de algas para manutenção de níveis adequados deste nutriente. Algas são consideradas fontes de iodo, sendo reportados resultados de até 68 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de iodo neste alimento (Zheng *et al.*, 2012).

Para compreensão dos níveis de iodo em produtos *plant-based* e a contribuição do consumo destes alimentos na ingestão diária, os objetivos deste estudo foram: i) estudar e validar um método analítico para a determinação de iodo pela técnica de espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS); ii) avaliar a ocorrência de iodo em alimentos *plant-based* comercializados no país, considerando as principais categorias de análogos à carnes e lácteos; e iii) realizar cálculos da estimativa de ingestão de iodo pelo consumo deste tipo de alimento, considerando diferentes grupos populacionais (crianças, adolescentes e adultos).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Amostras

Para o estudo foram adquiridas 32 amostras contendo fontes vegetais no comércio da região metropolitana de Campinas: bebidas vegetais (n=6), iogurtes e queijos (n=9) e carnes e produtos vegetais análogos (n=7). Para fins de comparação foram analisadas amostras de alimentos de origem animal (n=10), como leite bovino, bebidas lácteas, iogurte natural, queijo e cárneos (carne bovina, frango e peixe). As amostras foram mantidas nas embalagens originais e, após abertas, preservadas em congelador até o momento das análises.

2.2. Reagentes e Soluções

Os reagentes utilizados foram de grau analítico ou superior. A água e o ácido nítrico utilizados foram purificados por sistema de osmose reversa (Gehaka, São Paulo, Brasil) e destilador sub-boiling (Distillacid, Berghof, Eningen, Alemanha), respectivamente. Hidróxido de amônio 30% (Sigma-Aldrich, St. Louis, EUA) e soluções-padrão certificadas de iodo e telúrio (Te) de 1000 mg L⁻¹ (Quimlab - Specsol, Jacareí, Brasil) foram empregados nos ensaios. As curvas analíticas foram preparadas pelo método de calibração externa, no intervalo de concentração de 0,5 a 50,0 µg L⁻¹, em meio de NH₄OH 10% (v/v).

2.3. Instrumentação

As amostras foram mineralizadas utilizando um sistema fechado assistido por micro-ondas (Start D, Milestone, Sorisole, Itália) e a determinação de iodo foi realizada utilizando a técnica de ICP-MS (iCap RQ, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Alemanha) em condições otimizadas: potência da RF (radiofrequência) = 1550 W; vazão de Ar (argônio) e Ar auxiliar = 14,0 e 0,80 L min⁻¹, respectivamente; vazão de He (hélio) = 5,00 mL min⁻¹; aquisição dos dados no modo padrão e no modo KED; nebulizador Micromist; vazão do nebulizador = 0,98 L min⁻¹; câmara de nebulização ciclônica de duplo passo à 2,8 °C; tempo de permanência = 0,3 s e 0,02 (PI, padrão interno) e isótopos monitorados (m/z) = ¹²⁷I e ¹³⁰Te.

2.4. Validação de um método para determinação de iodo em alimentos *plant-based*

A validação do método foi realizada com base nas orientações de INMETRO (2020), avaliando-se as seguintes figuras de mérito:

- Linearidade: preparo de curva analítica pelo método de calibração externa, avaliação do gráfico de resíduos e do coeficiente de determinação (r²);
- Limites de detecção (LOD) e de quantificação (LOQ): preparo de 10 brancos analíticos adicionados de concentração inferior ao primeiro ponto da curva e calculados como LOD = $t_{(6;0,01)} \cdot s = 3,143 \cdot s$ e LOQ = 10.s, onde “s” = estimativa de desvio-padrão e “t” = fator de diluição (40x e 160x para amostras líquidas e sólidas, respectivamente).



- Tendência / Recuperação: análise de materiais de referência certificados (CRM) para iodo de fórmula infantil (NIST SRM 1849, *National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, EUA), ovo em pó (NRC EGGS-1, *National Research Council Canada*, Ottawa, Canadá) e leite em pó desnatado (ERM BD151, *European Commission, Joint Research Centre (JRC)*, Geel, Bélgica);
- Precisão: avaliada pelo coeficiente de variação (CV) da análise de uma amostra de bebida vegetal e de uma amostra de alimento análogo a carne, com $n=7$.

2.5. Determinação de iodo em alimentos contendo fontes vegetais

Para a determinação de iodo nas amostras de alimentos *plant-based* foi utilizado um método baseado nos trabalhos reportados por Pacquette *et al.* (2013), Judprasong *et al.* (2016) e Meinhardt *et al.* (2019) usando a técnica de ICP-MS. Pesou-se 0,25 g (amostra sólida) ou 1 g (amostra líquida) em vasos de digestão e adicionaram-se 2,0 mL de ácido nítrico purificado e 6,0 mL de água desionizada. A digestão foi realizada em sistema fechado assistido por micro-ondas em 2 estágios, com temperatura máxima de 170°C e tempo total de 40 min. Os tubos foram resfriados até atingirem temperatura ambiente, abertos e adicionados de cerca de 10 mL de água desionizada. A seguir, o conteúdo foi transferido para tubos graduados contendo 8 mL de hidróxido de amônio 30% e avolumados para 40 mL com água purificada. As análises foram realizadas em triplicata analítica, na presença de experimentos brancos (apenas reagentes).

2.6. Cálculo da estimativa de ingestão de iodo pelo consumo de alimentos à base de vegetais

A estimativa de ingestão de iodo foi calculada considerando os valores de ingestão diária de iodo recomendada (IDR) pela legislação brasileira (Brasil, 2020) para adultos ≥ 19 anos (150 μg), crianças de 4 a 8 anos (90 μg) e crianças/adolescentes de 9 a 18 anos (150 μg). O tamanho da porção foi definido com base nas porções estabelecidas nos rótulos dos alimentos: 200 mL para bebidas e iogurtes, 30 g para queijos, 80 g para hambúrgueres, 60 g para pescados e 100 g para frangos e produtos prontos para consumo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estudo e validação do método para determinação de iodo em alimentos *plant-based*

A determinação de iodo em alimentos requer condições de análise que possibilitem a mineralização da amostra e previna perdas por volatilização do analito. Além disso, a quantificação de iodo em baixas concentrações representa um desafio analítico e requer o uso de técnicas analíticas com alta sensibilidade. A técnica de ICP-MS destaca-se por possibilitar a quantificação de iodo em matrizes alimentares em nível traço ($\mu\text{g L}^{-1}$ ou ppb, partes por bilhão) (Thomas, 2008).

Em geral, os métodos de preparo empregados na determinação de iodo em alimentos consistem, principalmente, na digestão da amostra em sistema fechado com micro-ondas (Badocco *et al.*, 2016; Barbosa *et al.*, 2013; Druzian *et al.*, 2021; Pacquette *et al.*, 2013) e na extração do analito com reagentes alcalinos (Lehner *et al.*, 2021; Leufroy *et al.*, 2015; Meinhardt *et al.*, 2019; Todorov & Gray, 2016; Zheng *et al.*, 2012). Nos métodos que empregam ácidos (HCl e HNO₃), a etapa de alcalinização do extrato foi incluída nos métodos de modo a evitar perdas do analito por volatilização.

Considerando o exposto, o método de digestão com o uso de radiação micro-ondas foi adaptado, partindo-se das condições experimentais propostas por Pacquette *et al.*, 2013; Judprasong *et al.*, 2016 e Meinhardt *et al.*, 2019. Para seleção do modo de leitura adequado à diferentes matrizes alimentares, foram avaliados três materiais de referência certificados para iodo disponíveis no laboratório: fórmula infantil, ovo em pó e leite em pó desnatado. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de recuperação obtidos na avaliação de diferentes materiais de referência certificados (CRM) para iodo.

Modo de leitura	Padrão interno (PI)	Recuperação (%)		
		Fórmula infantil	Leite em pó desnatado	Ovo em pó
Padrão	Sem PI	104 ^a ± 4	94 ^a ± 3	116 ^a ± 7
	¹²⁵ Te	116 ^b ± 5	109 ^{bc} ± 4	113 ^a ± 6
	¹³⁰ Te	117 ^b ± 5	110 ^{bc} ± 3	111 ^a ± 7
	¹²⁵ Te: ¹³⁰ Te	116 ^b ± 5	109 ^{bc} ± 4	112 ^a ± 7
KED	Sem PI	106 ^a ± 3	104 ^{bcd} ± 2	111 ^a ± 3
	¹²⁵ Te	105 ^a ± 2	101 ^d ± 3	110 ^a ± 3
	¹³⁰ Te	106 ^a ± 2	103 ^{bd} ± 2	109 ^a ± 2
	¹²⁵ Te: ¹³⁰ Te	105 ^a ± 2	102 ^d ± 3	109 ^a ± 2

^{a,b,c,d} Letras diferentes para o mesmo material de referência indicam diferença significativa (ANOVA one-way + teste de Tukey, $p < 0.05$). Fórmula infantil (NIST SRM 1849, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, EUA), Ovo em pó (NRC EGG-1, National Research Council Canada, Ottawa, Canadá) e Leite em pó desnatado (ERM BD151, European Commission, Joint Research Centre (JRC), Geel, Bélgica).

Os valores de recuperação obtidos foram comparados com os critérios de aceitação estabelecidos pelo INMETRO (2020): 80 a 110 % para o nível de concentração entre 100 ppb ($\mu\text{g kg}^{-1}$) a 10 ppm (mg kg^{-1}). De maneira geral, observam-se valores concordantes com o critério descrito para as medidas realizadas no modo KED com uso de padrão interno, variando entre 101 e 110 % para todos os materiais de referência avaliados.

Embora o elemento-traço iodo apresente um único isótopo estável (¹²⁷I) e ausência de interferências poliatômicas importantes, verificou-se um *bias* nos resultados obtidos no modo padrão para os materiais de fórmula infantil e ovo em pó (recuperações entre 104 a 117 %). Todorov & Gray (2016) propuseram que a presença de carbono residual pode afetar a exatidão das medidas através

de interferências espectrais e de matriz e Lehner *et al.* (2021) propuseram o uso da célula de colisão para atenuar interferências poliatômicas como $^{127}\text{IH}_2^+$, espécie que pode ser gerada no plasma de argônio em razão de sua alta energia (15,76 eV). Em razão dos alimentos *plant-based* representarem uma matriz complexa, com uso de diferentes proteínas vegetais, aromas e condimentos, o modo KED foi selecionado para a operação do equipamento de ICP-MS.

Em relação aos diferentes isótopos de telúrio disponíveis para a correção de efeitos de deriva ou de instabilidade do instrumento, optou-se por usar o isótopo ^{130}Te que possui abundância relativa de 34,08 %, ausência de interferências isobáricas importantes e menor suscetibilidade a oscilações em relação ao isótopo ^{125}Te (abundância relativa = 7,07 %). Esta condição foi empregada por Eckhoff & Maage (1997) em seu estudo de iodo em diferentes alimentos do leste da África, Zheng *et al.* (2012) em água do mar próxima a costa japonesa e Pacquette *et al.* (2013) em fórmulas infantis.

Definidas as condições para a quantificação de iodo por ICP-MS foi realizada a validação do método para as figuras de mérito limite de detecção e de quantificação, precisão e tendência / recuperação. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados obtidos para a validação do método para determinação de iodo em alimentos *plant-based*.

Parâmetro / Figura de mérito		Bebida vegetal	Análogo a carne
Limite de detecção, LOD ($\mu\text{g kg}^{-1}$)		6	23
Limite de quantificação, LOQ ($\mu\text{g kg}^{-1}$)		18	73
Precisão (% , n=7)		18	9
Tendência / Recuperação (n=3)	CRM Fórmula infantil	Valor certificado (mg kg^{-1})	1,29 \pm 0,11
		Valor obtido (mg kg^{-1})	1,37 \pm 0,03
		Recuperação (%)	106 \pm 2
	CRM Leite em pó	Valor certificado (mg kg^{-1})	1,78 \pm 0,17
		Valor obtido (mg kg^{-1})	1,84 \pm 0,04
		Recuperação (%)	103 \pm 2
	CRM Ovo em pó	Valor certificado (mg kg^{-1})	1,97
		Valor obtido (mg kg^{-1})	2,15 \pm 0,04
		Recuperação (%)	109 \pm 2

CRM = Materiais de referência certificados: Fórmula infantil (NIST SRM 1849, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, EUA), Ovo em pó (NRC EGGS-1, National Research Council Canada, Ottawa, Canadá) e Leite em pó desnatado (ERM BD151, European Commission, Joint Research Centre (JRC), Geel, Bélgica).

A partir da Tabela 2 observa-se que os valores dos limites de quantificação são adequados à análise de alimentos (2 e 7 $\mu\text{g}/100\text{g}$, respectivamente) e que os valores de precisão são concordantes com as recomendações de INMETRO (2020): até 32% para concentrações de 10 ppb ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e até 22% para concentrações de 100 ppb ($\mu\text{g kg}^{-1}$).

3.2. Avaliação dos níveis de iodo em alimentos *plant-based*

Os níveis de iodo observados nas amostras analisadas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados de iodo (n=3) observados nas amostras de alimentos vegetais e de origem animal (*em itálico*).

Alimento	Identificação	Iodo (µg/100g)
Origem vegetal		
Bebidas vegetais (n=6)	Bebida de soja	< 2
	Bebida de coco	< 2
	Bebida de castanha de caju	< 2
	Bebida de arroz	7 ± 2
	Bebida mista	2,7 ± 0,6
	Bebida de amêndoas	9 ± 1
Iogurtes e queijos vegetais (n=9)	Iogurte sabor morango	5,5 ± 0,1
	Iogurte sabor banana, mamão e maçã	< 2
	Iogurte grego tradicional	< 2
	Iogurte proteico sabor morango	< 2
	Iogurte sabor creme de coco com abacaxi e canela	3,7 ± 0,1
	Iogurte sabor creme de coco com damasco	7,9 ± 0,6
	Iogurte de soja sabor chocolate	2,3 ± 0,6
	Queijo minas padrão castanha de caju	33 ± 4
	Alimento de castanha-de-caju sabor queijo muçarela	33 ± 4
Carnes vegetais (n=7)	Hambúrguer vegetal	< 7
	Hambúrguer vegetal de frango	10,5 ± 0,4
	Filé de frango vegetal	16 ± 4
	Filé de peixe vegetal	13 ± 1
	Bolinho de bacalhau	10 ± 1
	Kibe vegetal	51 ± 4
	Penne à bolonhesa vegetal	18 ± 4
Origem animal		
Leite e bebidas lácteas (n=3)	Bebida láctea de chocolate	9 ± 1
	Bebida láctea com cereal sabor vitamina de frutas	26 ± 3
	Leite desnatado	32 ± 4
Iogurtes e queijo (n=4)	Iogurte natural	13 ± 2
	Iogurte natural sabor morango	19 ± 2
	Iogurte natural sabor coco	18 ± 3
	Queijo frescal ultrafiltrado	24 ± 3
Produtos cárneos (n=3)	Carne moída bovina	7 ± 1
	Filé de frango	< 7
	Filé de peixe (merluza)	35 ± 6

Nas amostras de alimentos *plant-based* (Tabela 3) pode ser observado que os níveis variaram entre <2 e 9 µg/100g para bebidas vegetais; <2 e 7,9 µg/100g para iogurtes e queijos vegetais; e <7 e 51 µg/100g para alimentos análogos à produtos cárneos. A bebida láctea de chocolate apresenta teor de iodo inferior leite desnatado, possivelmente devido à menor quantidade de leite e/ou à presença de outros ingredientes em sua composição.

Apesar de frutos do mar serem conhecidos como ricos em iodo, neste estudo a amostra de filé de peixe (merluza) estudada apresentou teor de iodo (35 µg/100g) inferior ao encontrado em kibe vegetal (51 µg/100g). Este resultado revela que alimentos *plant-based* podem conter maiores teores de iodo, provavelmente em decorrência dos ingredientes utilizados na formulação. Em contrapartida,



a maioria dos alimentos *plant-based* estudados (< 2 e 33 µg/100g) apresentou níveis de iodo inferiores aos produtos de origem animal, indicando a possibilidade de fortificação com esse micronutriente.

Os cálculos das estimativas de ingestão de iodo consideraram o consumo de uma porção (200 mL para bebidas e iogurtes, 30 g para queijos, 80 g para hambúrgueres, 60 g para pescados e 100 g para frangos e produtos prontos para consumo) por crianças (4 a 8 anos), adolescentes (9 a 18 anos) e adultos (≥19 anos). Os resultados obtidos para os alimentos *plant-based* e de origem animal estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados da estimativa de ingestão de iodo pelo consumo de uma porção de alimentos vegetais análogos à leite, iogurtes, queijos e carnes e alimentos de origem animal (leite, bebidas lácteas, iogurtes, queijo e carnes)

Amostra	Porção diária*	Estimativa de ingestão diária de iodo (µg)	Contribuição para a IDR (%)		
			Crianças (4 a 8 anos)	Adolescentes (9 a 18 anos)	Adultos (≥19 anos)
Bebidas vegetais					
Bebida de soja	200 mL	<4	-	-	-
Bebida de coco	200 mL	<4	-	-	-
Bebida de castanha de caju	200 mL	<4	-	-	-
Bebida de arroz	200 mL	14	15	9	9
Bebida mista	200 mL	5,4	6	4	4
Bebida de amêndoas	200 mL	18	20	12	12
Iogurtes e queijos vegetais					
Iogurte sabor morango	200 mL	11	12	7	7
Iogurte sabor banana, mamão e maçã	200 mL	<4	-	-	-
Iogurte grego tradicional	200 mL	<4	-	-	-
Iogurte proteico sabor morango	200 mL	<4	-	-	-
Iogurte sabor creme de coco com abacaxi e canela	200 mL	7,4	8	5	5
Iogurte sabor creme de coco com damasco	200 mL	16	18	11	11
Iogurte de soja sabor chocolate	200 mL	4,6	5	3	3
Queijo minas padrão castanha de caju	30 g	9,9	11	7	7
Alimento de castanha-de-caju sabor queijo muçarela	30 g	9,9	11	7	7
Análogos à carne					
Hambúrguer vegetal	80 g	<5,6	-	-	-
Hambúrguer vegetal de frango	80 g	8,4	9	6	6
Filé de frango vegetal	100 g	16	18	11	11
Filé de peixe vegetal	60 g	7,8	9	5	5
Bolinho de bacalhau	60 g	6,0	7	4	4
Kibe vegetal	80 g	41	45	27	27
Penne à bolonhesa vegetal	100 g	18	20	12	12



Tabela 4. Continuação

Amostra	Porção diária*	Estimativa de ingestão diária de iodo (µg)	Contribuição para a IDR (%)		
			Crianças (4 a 8 anos)	Adolescentes (9 a 18 anos)	Adultos (≥19 anos)
Leite e bebidas lácteas					
Bebida láctea de chocolate	200 mL	18	20	12	12
Bebida láctea com cereal sabor vitamina de frutas	200 mL	52	58	35	35
Leite desnatado	200 mL	64	71	43	43
Iogurtes e Queijo					
Iogurte natural	200 mL	26	29	17	17
Iogurte natural sabor morango	200 mL	38	42	25	25
Iogurte natural sabor coco	200 mL	36	40	24	24
Queijo frescal ultrafiltrado	30 g	7,2	8	5	5
Carnes					
Carne moída bovina	100 g	7,0	8	5	5
Filé de frango	100 g	<7	-	-	-
Filé de peixe (merluza)	60 g	21	23	14	14

IDR (Ingestão Diária Recomendada) para iodo: crianças (4 a 8 anos) = 90 µg; adolescentes (9 a 18 anos) = 150 µg; adultos (≥ 19 anos) = 150 µg. *Porção diária conforme estabelecido na RDC 429/20 (ANVISA, 2020).

A partir dos dados apresentados na Tabela 4, observa-se que a IDR de iodo para as amostras estudadas foram bem diferentes. Um exemplo foi a contribuição de uma porção diária de bebidas vegetais e alimentos lácteos: para bebida vegetal de arroz, a contribuição chega até 15% para crianças e 9% para adolescentes e adultos, enquanto para leite desnatado este valor é de até 71% e 43% para crianças e adolescentes e adultos, respectivamente. Para iogurtes, o mesmo comportamento foi observado, sendo que uma porção de iogurte natural de morango fornece 42% e 25% da IDR para as crianças e para os adolescentes e adultos, respectivamente.

A comparação entre produtos cárneos e alimentos vegetais análogos mostrou uma maior contribuição para a IDR de iodo em alimentos condimentados, como o kibe vegetal. Neste alimento foram observados valores de 45%, 27% e 27% da IDR para crianças, adolescentes e adultos, respectivamente. Estes valores foram superiores ao observado para o filé de peixe (merluza), que apresentou 21 µg de iodo na porção de 60g, correspondendo a 23%, 14% e 14% da IDR para crianças, adolescentes e adultos, respectivamente.

Em relação aos alimentos considerados como fonte de iodo, que apresentam contribuições superiores a 15% da IDR (ANVISA, 2020), as bebidas lácteas com sabor de frutas e o leite desnatado são as melhores fontes de iodo entre as bebidas de origem animal: uma porção de 200 mL pode fornecer 52 µg e 64 µg de iodo, respectivamente, representando 58% e 71% da IDR para crianças. Em relação os alimentos de origem vegetal (*plant-based*), uma porção de 200 mL de bebidas vegetais de amendoas (18 µg) e de arroz (14 µg) fornece 20% e 15% da IDR para crianças (4 a 8 anos), respectivamente. Para adultos, os alimentos vegetais análogos à carnes podem suprir até 27% da IDR de iodo, com destaque para o kibe vegetal.



4. CONCLUSÃO

Um método para a determinação de iodo em alimentos *plant-based* foi estudado, consistindo na digestão ácida da amostra em sistema fechado assistido por micro-ondas e na quantificação por ICP-MS. Na validação foram obtidos valores de tendência / recuperação entre 103 e 109% para os materiais de referência certificados; limites de quantificação entre 2 e 7 µg/100g; e precisão, avaliada pelo coeficiente de variação, entre 9 e 18% para bebidas e alimentos análogos a carne, respectivamente.

Em relação às amostras de alimentos *plant-based*, os níveis observados variaram entre <2 e 9 µg/100g para bebidas vegetais; <2 e 7,9 µg/100g para iogurtes e queijos vegetais; e <7 e 51 µg/100g para alimentos análogos a produtos cárneos. Em sua maioria, os alimentos *plant-based* apresentaram níveis inferiores aos produtos de origem animal (<2 a 33 µg/100g), exibindo potencial para a fortificação deste micronutriente.

Os cálculos de estimativa de ingestão mostraram que uma porção diária de bebidas vegetais pode contribuir em até 20%, 12% e 12% da IDR de iodo para crianças (4 a 8 anos), adolescentes (9 a 18 anos) e adultos, respectivamente. Para iogurtes e queijos, a contribuição chega em até 18%, 11% e 11% da IDR de iodo para crianças, adolescentes e adultos, respectivamente. Por fim, para alimentos análogos às carnes, a contribuição máxima para a IDR de iodo foi estimada em 45%, 27% e 27% para crianças, adolescentes e adultos, respectivamente. Estes valores evidenciam a importância de conhecer os níveis deste importante micronutriente em alimentos que representam um mercado em expansão (*plant-based*).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela Bolsa de Iniciação Científica (M.L. NUNES SILVA) e Auxílio 405778/2023-6, e ao Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas (INCTAA).

6. REFERÊNCIAS

- Badocco, D.; Di Marco, V.; Piovan, A.; Caniato, R.; Pastore, P. A procedure for the quantification of total iodine by inductively coupled plasma mass spectrometry, and its application to the determination of iodine in algae sampled in the lagoon of Venice. **Analytical Methods**, v.8, p.7545-7551, 2016.
- Barbosa, J.T.P.; Santos, C.M.M.; Bispo, L.S.; Lyra, F.H.; David, J.M.; Korn, M.G.A.; Flores, E.M.M. Bromine, chlorine, and iodine determination in soybean and its products by ICP-MS after digestion using microwave-induced combustion. **Food Analytical Methods**, v.6, p.1065-1070, 2013.
- Brasil. Resolução RDC nº 429, publicada no Diário Oficial da União, de 09 de outubro de 2020.
- Brasil. Resolução RDC nº 604, publicada no Diário Oficial da União, de 16 de fevereiro de 2022.
- Cozzolino S.M.F. Biodisponibilidade de nutrientes. Editora Manole, 6.ed., p.472-488, 2021.



- Druzian, G.T.; Nascimento, M.S.; Cerqueira, U.M.F.M.; Novas, C.G.; Bezerra, M.A.; Duarte, F.A.; Flores, E.M.M. Determination of Cl, Br and I in granola: Development of an accurate analytical method using ICP-MS. **Food Chemistry**, v.344, art.128677, 2021.
- Eckhoff, K.M & Maage, A. Iodine Content in Fish and Other Food Products from East Africa Analyzed by ICP-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.10, p.270-282, 1997.
- GFI (2021). **Indústria de proteína alternativa 2020**. The Good Food Institute Brazil. Disponível em: https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2020/06/GFI_2020_IndProtAlternativas.pdf. Acesso em: 25/07/2023
- Gómez-Luciano, C.A.; de Aguiar, LK.; Vriesekoop, F.; Urbano, B. Consumers' willingness to purchase three alternatives to meat proteins in the United Kingdom, Spain, Brazil and the Dominican Republic. **Food Quality and Preference**, v.78, art.103732, 2019.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2020). **DOQ-CGCRE-008- Orientação sobre validação de métodos analíticos**. Rev. 09 - Julho 2020. Rio de Janeiro (RJ): Coordenação Geral de Acreditação.
- Kučera, J. **Assay of Iodine in Foodstuffs: Methods and Applications**. In: Comprehensive Handbook of Iodine. Elsevier, p.15-27, 2009.
- Knust, K.S. & Leung, A.M. **Iodine: Basic Nutritional Aspects**. In: Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals. Elsevier, p.133-141, 2017.
- Judprasong, K.; Jongjaitet, N.; Chavasit, V. Comparison of methods for iodine analysis in foods. **Food Chemistry**, v.193, p.12-17, 2016.
- Lehner, A.F.; Zyskowski, J.; Johnson, M.; Buchweitz, J.P. Improved accuracy in measurement of iodine in animal feeds by ICP/MS with alkaline dissolution. **Animal Feed Science and Technology**, v.272, art.114781, 2021.
- Leufroy, A.; Noël, L.; Bouisset, P.; Maillard, S.; Bernagout, S.; Xhaard, C.; de Vathaire, F.; Guérin, T. Determination of total iodine in French Polynesian foods: Method validation and occurrence data. **Food Chemistry**, v. 169, p.134-140, 2015.
- Marodin, G.B. **The acceptance of plant-based meat analogues in Brazil**. Master Thesis, Msc Thesis Marketing & Consumer Behaviour – Wageningen University & Research, 2021.
- Meinhardt, A-K.; Müller, A.; Burcza, A.; Greiner, R. Influence of cooking on the iodine content in potatoes, pasta and rice using iodized salt. **Food Chemistry**, v.301, art.125293, 2019.
- Pacquette, L.H.; Levenson, A.M.; Thompson, J.J. Total Iodine in Infant Formula and Nutritional Products by Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry: First Action 2012.14. **Journal of AOAC International**, v.96, n.4, p.798-801, 2013.
- Rauma, A-L.; Törmälä, M-L.; Nenonen, M.; Hänninen, O. Iodine status in vegans consuming a living food diet. **Nutrition Research**, v.14, n.12, p.1789-1795, 1994.
- Silva, A.R.A.; Silva, M.M.N.; Ribeiro, B.D. Health Issues and Technological Aspects of Plant-based Alternative Milk. **Food Research International**, v.131, art.108972, 2020.
- Thomas, R. **Practical Guide to ICP-MS: A Tutorial for Beginners**. CRC Press, Boca Raton, EUA, 2a.ed., p.1-347, 2008.
- Todorov, T.I.; Gray, P.J. Analysis of iodine in food samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry. **Food Additives & Contaminantes: Part A**, v.33, n.2, p.282-290, 2016.
- Velasco, I. & Garcia-Fuentes, E. **Iodine and Adipocytokines: Cellular Aspects**. In: Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals. Elsevier, p.151-157, 2017.
- Zheng, J.; Takata, H.; Tagami, K.; Aono, T.; Fujita, K.; Uchida, S. Rapid determination of total iodine in Japanese coastal seawater using SF-ICP-MS. **Microchemical Journal**, v.100, p.42-47, 2012.