



## Caracterização química inorgânica e radiológica de oleaginosas consumidas na cidade de São Paulo

B. F. NASCIMENTO<sup>1</sup>, S. R. DAMATTO,<sup>2</sup> L; LEONARDO<sup>3</sup>, T. C; SILVA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> [barbarakouuti@hotmail.com](mailto:barbarakouuti@hotmail.com) Laboratório de Radiometria Ambiental – IPEN

<sup>2</sup> [damatto@ipen.br](mailto:damatto@ipen.br) Laboratório de Radiometria Ambiental – IPEN

<sup>3</sup> [lucioleo@ipen.br](mailto:lucioleo@ipen.br) Laboratório de Radiometria Ambiental – IPEN e Centro Universitário São Camilo

<sup>4</sup> [thiagocosta.thiti@gmail.com](mailto:thiagocosta.thiti@gmail.com) Laboratório de Radiometria Ambiental - IPEN

### 1. Introdução

A alimentação é crucial para a subsistência humana, não apenas como fonte de energia, mas também como uma prática de vida incorporada no cotidiano das pessoas, frequentemente adaptada de maneira personalizada, seja através de dietas específicas ou padrões de consumo mais generalizados.

As dietas vegetarianas e veganas se distinguem da onívora por uma série de fatores além da exclusão de carne. Esses estilos de vida enfatizam o consumo elevado de vegetais, frutas, cereais, legumes e oleaginosas. Entre as oleaginosas, as castanhas oferecem uma gama de benefícios à saúde, incluindo a redução da pressão arterial, melhorias nos níveis de colesterol e triglicerídeos, reforço da capacidade antioxidante do organismo, controle glicêmico aprimorado em indivíduos saudáveis e diabéticos, diminuição do risco de doenças cardiovasculares, regulação da resposta imunológica e inflamatória, redução do avanço de tumores, aumento da apoptose de células cancerígenas e prevenção de acidente vascular encefálico (AVC) [1-5].

O cultivo de oleaginosas requer minerais presentes no solo ou adicionados durante o processo para garantir o crescimento adequado das plantas. Associados a esses minerais estão elementos químicos instáveis, os radionuclídeos naturais, que podem emitir radiação ionizante [6-7]. A radiação ionizante tem a capacidade de remover elétrons de átomos ou moléculas, tornando-os íons, um processo que pode afetar moléculas biológicas, como aquelas contendo carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. A exposição a essa radiação em doses elevadas ou de forma crônica, ao longo do tempo, pode resultar em danos a longo prazo [7].

A radioatividade natural está presente em diversos componentes do ecossistema terrestre, principalmente devido a elementos radioativos presentes na crosta terrestre [8]. Esses elementos, conhecidos como isótopos radioativos ou radionuclídeos, chegam aos seres humanos através da cadeia alimentar.

O objetivo deste estudo foi caracterizar quimicamente e radiologicamente 11 tipos de oleaginosas consumidas na cidade de São Paulo, as quais fazem parte da dieta de vegetarianos e veganos.

### 2. Metodologia

Amostras de diferentes tipos de oleaginosas, incluindo castanha de caju, amêndoa crua, farinha de coco, pistache, noz mariposa, castanha de baru, macadâmia, amendoim sem pele, avelã, noz pecan e castanha do Pará, foram submetidas a análises para determinar sua composição química inorgânica e radiológica. Essas amostras foram adquiridas no Mercado Municipal de São Paulo.

No laboratório, as amostras foram secas em estufa com circulação de ar a 60°C. Após a secagem, foram maceradas em almofariz e pistilo de porcelana, homogeneizadas e armazenadas em frascos de polietileno para as análises subsequentes.

Para caracterização química inorgânica, os elementos As, Ba, Br, Co, Cs, Fe, K, Na, Nd, Rb, Sc, Sm, U e Zn foram determinados utilizando a técnica analítica de Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (INAA). As amostras de oleaginosas e materiais de referência foram irradiadas por um período de 6 horas no Reator de Pesquisa IEA-R1 do IPEN.

Os materiais de referência certificados utilizados foram Soil 5 da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), Montana II, Soil 2702 e Tomato Leaves do NIST. Para a detecção dos raios gama característicos de cada elemento, foi empregado um detector de germânio hiperpuro (HPGe) com janela de berílio modelo GMX 25190 da marca ORTEC, juntamente com um sistema eletrônico associado e um programa de análise de espectros. A concentração dos elementos foi obtida comparando as áreas dos picos referentes aos padrões ativados junto com as amostras, utilizando a equação (1) para o cálculo.

$$C_{ai} = \frac{A_a^i(t) m_p C_{pi}}{A_p^i(t) m_a} * e^{\lambda(t_a - t_p)} \quad (1)$$

Em que:

$C_{ai}$  = Concentração do elemento i na amostra ( $\text{mg kg}^{-1}$ );

$C_{pi}$  = Concentração do elemento i no material de referência ( $\text{mg kg}^{-1}$ );

$A_a^i$  = Atividade do elemento i na amostra (cps);

$A_p^i$  = Atividade do elemento i no material de referência (cps);

$m_a$  = Massa da amostra (g);

$m_p$  = Massa do material de referência (g);

$\lambda$  = Constante de decaimento do radioisótopo ( $\text{s}^{-1}$ );

$(t_a - t_p)$  = Diferença de tempo entre a contagem da amostra e do material de referência (min).

Para a caracterização radiológica as amostras de oleaginosas, após a secagem e moagem, foram acondicionadas em frascos de polietileno de alta densidade (HDPE) de 100 mL de capacidade e medidas por espectrometria gama de alta resolução, utilizando detector de germânio hiperpuro (HPGe), com janela de berílio modelo GX 2520 da marca Camberra associado a um sistema eletrônico e tempo de medida de cada amostra 250.000 s. A concentração dos radionuclídeos naturais  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Th}$  nas amostras foi calculada através da utilização do programa de análise de espectro gama, Interwinner [9].

Para realizar a caracterização radiológica das oleaginosas, as amostras foram secas e moídas antes de serem acondicionadas em frascos de polietileno de alta densidade (PEAD) com capacidade de 100 mL. Em seguida, foram submetidas à espectrometria gama de alta resolução, utilizando um detector de germânio hiperpuro (HPGe) com janela de berílio modelo GX 2520 da marca Camberra, acoplado a um sistema eletrônico. Cada amostra foi medida por um tempo de 250.000 s. A concentração dos radionuclídeos naturais  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Th}$  nas amostras foi calculada utilizando o programa de análise de espectro gama InterWinner 6.0 da ORTEC [10].

### 3. Resultados e Discussão

Na Tabela I, são apresentados os resultados da caracterização química inorgânica, expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$ , para as amostras de oleaginosas analisadas, Foram determinados os elementos As, Ba, Br, Cs, Co, Fe, K, Na, Nd, Rb, Sc, Sm, U e Zn. Não foram detectados quaisquer elementos químicos nas amostras de macadâmia e amendoim sem pele utilizando a técnica de INAA.

Observou-se que entre as oleaginosas analisadas, a amostra de castanha do Pará apresentou o maior número de elementos determinados, seguidas pelas amostras de amêndoa crua, farinha de coco e pistache. O elemento Zn, quando presente na amostra, apresentou as maiores concentrações dentre todos os elementos analisados.

Na Tabela II, são apresentadas as concentrações de atividade dos radionuclídeos naturais  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Th}$  determinados nas amostras de oleaginosas, em  $\text{mBq kg}^{-1}$ . Verificou-se que o radionuclídeo  $^{40}\text{K}$  foi detectado em todas as amostras analisadas, com a farinha de coco apresentando a maior concentração de atividade e a amostra de macadâmia, a menor. Em grande parte das amostras, os radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Th}$  não foram detectados, conforme indicado pelos limites de detecção. Apenas na amostra de castanha do Pará foi possível determinar os quatro radionuclídeos naturais; o radionuclídeo  $^{226}\text{Ra}$  também foi

identificado nas amostras de farinha de coco e amendoim sem pele, enquanto os radionuclídeos  $^{228}\text{Th}$  e  $^{228}\text{Ra}$  foram determinados apenas na amostra de castanha do Pará.

Tabela I: Caracterização química inorgânica das amostras de amêndoa crua, castanha de caju, farinha de coco, castanha do Pará, noz pecan, avelã, castanha de baru, noz mariposa, e pistache, em  $\text{mg kg}^{-1}$

Elemento químico $\text{mg kg}^{-1}$	Amêndoa Crua	Castanha de Caju	Farinha de Coco	Castanha do Pará	Noz Pecan	Avelã	Castanha de Baru	Noz Mariposa	Pistache
As	1,24 ± 0,14	< 0,97	< 0,97	< 0,97	< 0,97	< 0,97	< 0,97	< 0,97	< 0,97
Ba	< 33	< 33	< 33	2915 ± 158	< 33	< 33	< 33	< 33	< 33
Br	0,08 ± 0,01	0,29 ± 0,04	10,44 ± 1,39	103 ± 14	0,26 ± 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,14 ± 0,02
Cs	< 0,3	5,78 ± 0,52	5,29 ± 0,49	42 ± 3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Co	0,070 ± 0,005	< 0,04	0,12 ± 0,01	2,11 ± 0,06	0,97 ± 0,03	0,34 ± 0,01	< 0,04	0,060 ± 0,001	0,03 ± 0,001
Fe	68 ± 4	104 ± 3	141 ± 4	64 ± 3	57 ± 3	< 15	< 15	16 ± 2	83 ± 3
K	0,80 ± 0,04	1,01 ± 0,48	1,61 ± 0,76	0,79 ± 0,04	0,67 ± 0,03	< 0,33	< 0,33	< 0,33	0,074 ± 0,004
Na	26 ± 1	564 ± 20	0,15 ± 0,05	29 ± 1	23,0 ± 0,9	< 0,12	< 0,12	< 0,12	11,0 ± 0,4
Nd	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	6,3 ± 1,4	< 5	< 5
Rb	8,4 ± 0,4	50 ± 2	91 ± 4	147 ± 6	27 ± 1	16,5 ± 0,9	< 5	6,5 ± 0,4	11,7 ± 0,5
Sc	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,010 ± 0,001
Sm	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,12 ± 0,01	< 0,01	< 0,01
U	< 0,87	< 0,87	< 0,87	1,65 ± 0,20	< 0,87	< 0,87	< 0,87	< 0,87	< 0,87
Zn	89 ± 4	181 ± 36	133 ± 4	144 ± 5	161 ± 5	27,4 ± 0,8	< 5,66	22,0 ± 0,6	106 ± 3

Tabela II: Caracterização radiológica das amostras de farinha de coco, pistache, castanha de baru, castanha do Pará, amêndoa crua, avelã, castanha de caju, amendoim sem pele, noz mariposa, noz pecan e macadâmia em  $\text{mBq kg}^{-1}$

Oleaginosas - $\text{mBq kg}^{-1}$	K-40	Th-228	Ra-226	Ra-228
Farinha de coco	580 ± 27	< 1,50	1,66 ± 0,36	< 2,93
Pistache	297 ± 20	< 1,46	< 1,70	< 2,92
Castanha de baru	270 ± 18	< 1,03	< 1,16	< 2,42
Castanha do Pará	222 ± 16	43 ± 3	64 ± 4	47 ± 3
Amêndoa Crua	220 ± 15	< 1,42	< 1,58	< 2,80
Avelã	216 ± 15	< 1,66	< 1,98	< 3,35
Castanha de Caju	194 ± 14	< 1,76	< 2,02	< 3,40
Amendoim sem pele	178 ± 9	< 0,97	2,49 ± 0,46	< 2,28
Noz mariposa	156 ± 11	< 1,54	< 1,77	< 2,92
Noz Pecan	125 ± 9	< 1,30	< 1,59	< 2,60
Macadâmia	96 ± 7	< 1,59	< 1,88	< 3,05

#### 4. Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar quimicamente e radiologicamente 11 tipos de oleaginosas consumidas na cidade de São Paulo, as quais são parte integrante das dietas vegetariana e

vegana, utilizando a técnica de Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (INAA) para a análise química inorgânica e a espectrometria gama de alta resolução para a análise radiológica. Não foi possível determinar nenhum elemento químico nas amostras de amendoim sem pele e macadâmia pela técnica de INAA. Entre os elementos químicos determinados, o Zn apresentou as maiores concentrações. Todas as amostras apresentaram concentrações de atividade do radionuclídeo natural  $^{40}\text{K}$ , enquanto na amostra de castanha do Pará também foi possível determinar as concentrações de atividade dos radionuclídeos naturais  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Th}$ . Os resultados obtidos destas análises das oleaginosas podem fornecer informações importantes para a composição de dietas vegetarianas e veganas, considerando as concentrações dos elementos químicos e radionuclídeos naturais determinados neste estudo.

### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa IC.

### Referências

- [1] Costa, T.; Jorge, N. Compostos bioativos benéficos presentes em castanhas e nozes. UNOPAR Científica. Ciências Biológicas e da Saúde, v. 13, n. 3, p. 195-203, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/122387>>.
- [2] Fischer, S.; Gleis, M. Potential health benefits of nuts. Jena: Ernährungs Umschau International; 2013.
- [3] Jenkins, D. J.A., Kendall, C. W.C., Marchie, A., Jenkins, A.L., Augustin, L. S.A.; Ludwig, S.D.; Barnard, N.D., Anderso, J.W. Type 2 diabetes and vegetarian diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 78(suppl):610S-6S, 2003.
- [4] Barnard N., Cohen J, Jenkins D, Turner-Mcgrievy G, Gloede L, Jaster B, Seidl K, Green A, Talpers S. A low-fat vegan diet improves glycemic control and cardiovascular risk factors in a randomized clinical trial in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 29(8):1777-83, 2006.
- [5] Atanasov, A. G., Sabharanjak , S. M., Zengind, G., Mollicae, A., Szostaka,F, A.,Simirgiotis, M., Huminieckia, L., Horbanczukh, O.K., Nabavi, S.M., Moca, A. Pecan nuts: A review of reported bioactivities and health effects. *Trends in Food Science & Technology* 71: 246–257, 2018.
- [6] Castro, L.P. Radionuclídeos naturais e  $^{137}\text{Cs}$  em cogumelos comestíveis comercializados em São Paulo - Brasil. São Paulo: [s.n.]; 2008.
- [7] Cardoso, B. R.; Duarte, G.B.S., Reis, B.Z., Cozzolino, S.M.F. Brasil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. *Food Res. Inter.* 100: 9-18, 2017.
- [8] Eisenbud, M. Environmental Radioactivity. Academic Press, Orlando, 1997.
- [9] Damatto, S.R. Radionuclídeos naturais das séries do  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , elementos traço e maiores determinados em perfis de sedimento da Baixada Santista para avaliação de áreas impactadas. 2010. 254 p. Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- [10] ORTEC. INTERWINNER™ 6.0 MCA Emulation, Data and Analysis software for gamma and alpha spectroscopy IW B-32 2004. Oak Ridge, TN, USA, 2004.