

APLICAÇÃO DA ANÁLISE POR ATIVACÃO NEUTRÔNICA (INAA) EM AMOSTRAS DE INTERESSE NUTRICIONAL E AMBIENTAL

Deborah I.T. Favaro¹, Gisiele Schenemann¹, Mauricio B. Alves¹, Josiane S. Soares¹, Sharlley A. Silva², Flavio R. Rocha¹, Larissa A. Souza¹, Robson. L. Franklin², Luciana A. Farias³, Elisabete S. Braga⁴, Silvia M. F. Cozzolino⁵, Sonia M.B. Oliveira⁶, Isabella C. Bordon⁷, Andrews K. Emerenciano⁷, Jose Roberto M.C. Silva⁷

¹ Centro do Reator de Pesquisas (IPEN – CNEN/SP)

Av. Professor Lineu Prestes 2242

05508-000 São Paulo, SP

defavaro@ipen.br

² Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb)

³ Universidade Federal de São Paulo – Departamento de Ciências Ambientais (Unifesp – Diadema)

⁴ Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP/SP)

⁵ Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental (FCF – USP/SP)

⁶ Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP/SP)

⁷ Instituto de Ciências Biomédicas (ICB-USP/SP)

RESUMO

Os estudos aqui apresentados são resultados de pesquisas realizadas por alunos de graduação e pós-graduação sob a minha orientação e pesquisadores colaboradores. Inicialmente, durante a década de 1990 até meados dos anos 2000, a técnica de INAA foi aplicada na caracterização de alimentos, frutos, cabelos e dietas de crianças da região Amazônica, em parceria com o Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA), para o conhecimento de seus constituintes nutricionais (microconstituintes e traços) e tóxicos, principalmente o mercúrio (Hg). Sabe-se que essa região sofre impacto por contaminação de Hg, decorrente de processos naturais e antrópicos. Ainda dentro dessa linha de pesquisa, em parceria com o grupo do Laboratório de Alimentos e Nutrição Experimental da FCF-USP/SP, foram desenvolvidos estudos de caracterização de vários alimentos e dietas de diferentes grupos populacionais, não somente em relação aos constituintes nutricionais, mas também em relação ao conteúdo de metais potencialmente tóxicos (Cd, Hg e Pb). Foram determinados os microconstituintes: Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Se, Zn e os elementos traço: As, Br, Co, Cr, Cs, Rb, Sb e Sc. Mais recentemente, uma linha de pesquisa com interesse ambiental foi implementada, em parceria com a Cetesb, IO-USP e IGc-USP. O objetivo desse projeto foi estudar a distribuição de metais potencialmente tóxicos e outros elementos de interesse, em amostras de sedimentos, utilizando-se a INAA. Dois projetos principais estão sendo desenvolvidos nesse tema: “Avaliação de metais tóxicos, traços e elementos de terras raras em sedimentos de reservatórios de abastecimento de água do Estado de São Paulo” e o outro, “Avaliação da extensão e histórico de poluição por metais e elementos traço em sedimentos de rios – estudo de caso, rio Tietê, ESP”. Outro estudo desenvolvido esteve relacionado à contaminação do complexo estuarino-lagunar de Iguape-Cananeia (ESP). Finalizando, está em desenvolvimento um projeto de pesquisa sobre a contaminação de ecossistemas marinhos costeiros por meio de programas de biomonitoramento, utilizando-se organismos marinhos, em parceria com o ICB-USP. Nesse artigo são apresentados e discutidos os resultados mais relevantes, obtidos dentro de cada linha de pesquisa, enfatizando a aplicação da técnica de INAA.

1. INTRODUÇÃO

Esse grupo de pesquisa é composto por alunos de graduação e pós-graduação sob a minha orientação e pesquisadores colaboradores, de outras instituições como a USP (ICB, IGc, IO-USP), Unifesp e Cetesb.

Inicialmente, durante a década de 1990 até os anos de 2012, a técnica de INAA foi aplicada na caracterização de alimentos e frutos convencionais e não convencionais, da região Amazônica, para o conhecimento de seus constituintes nutricionais (microconstituintes e traços) e tóxicos, principalmente o mercúrio, em parceria com o Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA). Dentro desse objetivo, vários estudos foram realizados e diversos artigos foram publicados em revistas nacionais e internacionais [1-7], contribuindo, de forma significativa, para a caracterização desses alimentos. Vários estudos mostram que algumas regiões da Amazônia sofrem impacto por contaminação de mercúrio (Hg), decorrente de processos naturais e antrópicos. Dentro desses escopo, vários estudos foram publicados em relação ao teor de Hg total em dietas, cabelos de crianças e peixes de diferentes locais da região Amazônica. [8-10]. Ainda dentro do aspecto de contaminação por Hg, foram analisadas amostras dos peixes mais consumidos pela população de Cananea, ESP, em parceria com o IO-USP. As amostras foram analisadas em relação ao conteúdo de Hg total e metilmercúrio, ácidos graxos e composição centesimal, sendo consideradas quatro diferentes espécies de peixes e também, amostras de cabelos de crianças dessa cidade [11-14]. Avaliou-se o conteúdo de Hg total nos cabelos com base no consumo alimentar dessas crianças.

Ainda dentro dessa linha de pesquisa, em parceria com o grupo da Prof. Dra. Sílvia M. F. Cozzolino do Laboratório de Alimentos e Nutrição Experimental da FCF-USP/SP, foram desenvolvidos estudos de caracterização de vários alimentos e dietas de diferentes grupos populacionais, não somente em relação aos constituintes nutricionais, mas também com relação ao conteúdo de metais potencialmente tóxicos (Cd, Hg e Pb). Dentro dessa linha de pesquisa os seguintes elementos foram determinados, como os microconstituintes: Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Se, Zn e os elementos traço As, Br, Co, Cr, Cs, Rb, Sb e Sc. [15-24]

Paralelamente aos estudos já citados, iniciou-se uma linha de pesquisa com interesse ambiental, em parceria com a Prof. Dra. Sonia M.B. Oliveira do IGc-USP, em solos na Amazônia, com ênfase na contaminação por Hg [25-27]. A partir desse estudo, outros projetos surgiram, alguns com aplicação em estudos de geoquímica [28-30] e outros, usando os sedimentos como traçador de poluição por elementos terras raras (ETR) e padrão de distribuição desses elementos em lagos, lagoas e estuários [31-33].

Uma outra linha de pesquisa com interesse ambiental foi implementada, em parceria com a Cetesb. O objetivo desse projeto foi estudar a distribuição de metais potencialmente tóxicos e outros elementos de interesse, em amostras de sedimentos e solos. Estudos de sedimentos de estuários, lagos e rios, poluídos por

metais tóxicos, representam a compreensão dos fenômenos de transporte nesses ecossistemas complexos e possibilitam também traçar o histórico da poluição, por meio da análise de perfis sedimentares. Dois projetos estão sendo desenvolvidos nesse tema atualmente: “Avaliação de metais tóxicos, traços e elementos de terras raras em sedimentos de reservatórios de abastecimento de água do Estado de São Paulo”. Quatro reservatórios importantes, Rio Grande, Guarapiranga, Billings e Itupararanga já foram investigados, constituindo-se em dissertações de mestrado de alunos [34-38]. Os reservatórios de Graminha (Caconde), Taiacupeba (Mogi das Cruzes/Suzano), Bariri- Braço Jaú (Rio Tietê), Carlos Botelho- Lobo Broa (São Carlos) e Córrego Marinheirinho (sub-bacia Turvo-Grande) estão em estudo. O outro projeto importante é “Avaliação da extensão e histórico de poluição por metais e elementos traço em sedimentos de rios – estudo de caso, rio Tietê (RT), ESP”, que contou com financiamento Fapesp (no processo: 2014/20805-6). O rio Tietê drena uma área composta por seis sub-bacias (Alto Tietê, Sorocaba / Médio Tietê, Piracicaba-Capivari-Jundiá, Tietê/Batalha, Tietê/Jacaré e Baixo Tietê). Ao longo de sua extensão (1.100 km), suas margens abrangem 62 municípios. Esse rio apesar de toda a sua contribuição histórica, potencial hidrelétrico e importância econômica, é considerado um dos rios mais poluídos do mundo, principalmente no trecho que atravessa a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Como resultado dos problemas de poluição observados nas últimas décadas, o objetivo deste estudo foi avaliar a concentração de metais e elementos maiores e traço, em amostras de sedimentos superficiais e perfis, em 34 pontos, desde a sua nascente (Salesópolis) até a sua desembocadura, no rio Paraná. Em todos esses estudos, metais tóxicos, elementos traço e terras raras foram avaliados, usando-se três técnicas analíticas (INAA, AAS e ICP OES), em amostras de sedimentos de fundo e perfis. A distribuição de alguns elementos maiores (Fe, K e Na), traços (As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Hg, Rb, Sb, Sc, Ta, Tb, Th, U e Zn) e terras raras (Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb e Yb) em amostras de sedimentos foi realizada usando-se a técnica de INAA. A técnica de ICP OES foi utilizada para determinar os metais Al, As, Ba, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Se e Zn. Para os metais tóxicos Cd, Hg e Pb, foi aplicada a técnica de AAS (GF-AAS e CV-AAS). Os valores de concentração obtidos para os metais As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb e Zn foram comparados com os valores orientadores do Conselho de Ministros do Meio Ambiente do Canadá (CCME) (valores TEL e PEL), adotados pela Cetesb. O fator de enriquecimento (EF) e o índice de geoacumulação (IGeo), também foram utilizados para a avaliação da contaminação por sedimentos. A partir desses dados, foi realizada uma avaliação do acúmulo de metais e elementos traço nos sedimentos, bem como a avaliação de possíveis interferências adversas desses elementos na biota e na

qualidade da água desses ambientes. Verificou-se que os pontos de amostragem situados na RMSP (Alto Tietê) apresentaram altas concentrações para o semi metal As e os metais tóxicos Cd, Hg, Pb, Sb e Zn devido, principalmente, aos despejos de efluentes industriais e esgotos domésticos não tratados. Em geral, esses valores ultrapassaram os valores de TEL para Cd, Hg e Pb e o Zn, ultrapassou o valor de PEL, em alguns pontos. Os testes de ecotoxicidade com *H. azteca*, realizados em sedimentos dessa região, comprovaram a ocorrência de efeitos adversos a comunidade biológica, confirmando os dados de metais tóxicos. Os resultados da análise de sedimentos no trecho do Médio Tietê, apresentaram para os metais Cr, Cu, Ni e Zn valores abaixo de TEL ou entre TEL e PEL, para a maioria dos pontos amostrados. Novamente o Zn, em alguns pontos, ultrapassou o valor de PEL. Verificou-se que os tributários do Rio Tietê desempenham um importante papel na poluição desse rio, uma vez que transportam consideráveis quantidades de poluentes, como metais pesados. Todos esses tributários, desaguam suas altas cargas poluidoras no rio Tietê, adicionando-as ao já poluído rio. A análise dos sedimentos coletados em pontos da região do Baixo Tietê, ainda estão sendo analisados [39-41].

Um outro estudo de caso foi desenvolvido no Rio Cubatão, em parceria com a Dra Sueli Borrelly do CTR-IPEN. A cidade de Cubatão constitui-se num dos maiores complexos industriais da América Latina e como consequência, com constante descarga de efluentes no rio Cubatão e seus tributários, ocasionando um cenário de degradação na bacia hidrográfica da região. O objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos agudos e crônicos nas águas do Rio Cubatão e de seus tributários, Perequê e Pilão, por meio de ensaios ecotoxicológicos e análise de sedimentos. Por meio da técnica de INAA, a concentração de elementos traço e metais foram determinados, a saber: As, Cr, Hf, Mn, Ta, Th, U, Zn e os elementos terras raras (ETR) Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb e Yb. Os pontos de amostragem que indicaram efeitos negativos a biota por meio dos testes de ecotoxicidade foram coincidentes com os altos teores de metais pesados encontrados. A bacia do rio Cubatão é de extrema importância para o abastecimento de água da população e centros industriais da região da Baixada Santista [42]. Continuando essa linha de pesquisa, mais pontos foram amostrados em 4 campanhas, nos mesmos rios citados acima. Por meio dos valores de Fator de Enriquecimento (FE) e Índice de Geoacumulação (IGeo) encontrados para os metais em sedimentos, verificou-se interferência antrópica de baixa a extrema intensidade, principalmente para As, Br, Cr e Zn. Testes de ecotoxicidade também foram realizados e os resultados mostraram altos níveis de toxicidade, para os mesmos pontos com altos teores de metais pesados [43].

Dentro do projeto intitulado “ Estudo ambiental de sistemas costeiros expostos a importantes ações antrópicas na região Sudeste por meio de ferramentas biogeoquímicas” (FEBIOGEOQUIM CNPq 478890/2011-7), coordenado pela professora Elisabete S. Braga do IO-USP, duas regiões foram objeto de estudo: Baixada Santista e Cananeia, ambos no litoral de São Paulo. Foram analisadas a distribuição de elementos maiores, traço e metais pesados em amostras de sedimentos superficiais coletadas ao longo dessas duas regiões, em duas estações inverno e verão, em dois anos consecutivos, 2005 e 2006 [44,45].

Ainda na mesma parceria, outro estudo desenvolvido esteve relacionado à contaminação do complexo estuarino-lagunar de Iguape-Cananeia. Cananeia é considerada parte da Reserva Natural da Biosfera, devido à sua importância ambiental e cultural e é considerada não poluída. A região encerra o canal Valo Grande, construído há mais de 160 anos, que favorece a introdução de água doce do rio Ribeira de Iguape diretamente no sistema estuarino, contribuindo para importantes mudanças biogeoquímicas na região. O objetivo foi realizar um estudo comparativo dos impactos biogeoquímicos nessa área, com ênfase na influência do Valo Grande (Projeto VAGRA CNPq 552437/2007-7), analisando amostras de sedimentos coletados ao longo da região. Em todos esses estudos, os metais tóxicos, elementos maiores, traço e terras raras usando três técnicas analíticas (INAA, AAS e ICP OES) foram avaliados em amostras de sedimentos de fundo e perfis. A distribuição de alguns elementos maiores (Fe, K e Na), traços (As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Hf, Hg, Rb, Sb, Sc, Ta, Tb, Th, U e Zn) e terras raras (Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb e Yb) em amostras de sedimentos, foi realizada usando-se a técnica de INAA. A técnica de ICP OES foi utilizada para determinar os metais Al, As, Ba, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Se, Zn e os metais potencialmente tóxicos Cd, Hg e Pb, pela técnica de espectrometria de absorção atômica –AAS (GF e CV). A partir desses resultados, foi possível verificar o potencial da análise de sedimentos, na avaliação de contribuições ambientais naturais e antropogênicas, em sistemas de águas costeiras [46].

Uma outra linha de pesquisa em desenvolvimento está relacionada ao estudo da contaminação de ecossistemas marinhos costeiros por meio de programas de biomonitoramento, utilizando-se organismos marinhos. Essa linha de pesquisa contou com a colaboração do Prof. Dr. Jose Roberto Machado Cunha da Silva, do ICB-USP. Num desses estudos, foram analisados tecidos de ouriços-do-mar de uma região chamada controle ou sem influencia antrópica e outra, com influência antrópica, provenientes da região de São Sebastião, São Paulo (espécie *Lytechinus variegatus*) e da região da Estação Comandante Ferraz, Antártica (espécie *Sterechinus neumayeri*).

Determinaram-se as concentrações dos elementos: As, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Fe, K, Na, Rb, Sc, Se e Zn por meio da técnica de INAA e dos elementos tóxicos (Cd, Cu, Hg, Ni e Pb), por espectrometria de absorção atômica (AAS). Considerando a região de São Sebastião, a média de concentração dos elementos Ca, Cd, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Rb, Sc e Zn foram maiores na região considerada contaminada, provavelmente devido as atividades do TEBAR e da descarga de efluentes domésticos, via emissário, principalmente para os metais Cd, Cr, Cu, Hg, Ni e Zn. Em Ilhabela (região controle), os elementos As e Se apresentaram maiores concentrações do que em São Sebastião (contaminada). Em vista dos resultados obtidos no presente estudo, o organismo ouriço-do-mar, espécies *L. variegatus* e *S. neumayeri*, podem ser utilizados para fins de biomonitoramento em ambientes costeiros. Para a região Antártica, espécie *S. neumayeri*, as concentrações dos elementos Br, Cr, Cs, K, Se and Zn foram maiores na região da Estação Comandante Ferraz (considerado local contaminado) do que na região controle (Botany), indicando que existe algum impacto ambiental na área, sobretudo em relação aos elementos Cr, Cs, Se e Zn, os quais ainda podem estar relacionados ao incêndio em 2012 [47,48].

Ainda dentro dessa linha de pesquisa, estudou-se o perfil transcricional de metalotioneínas, parâmetros da imunidade inata e alterações histológicas no siris azul, *Callinectes danae* Smith, 1869 (Crustacea–Portunidae), após exposição ao chumbo (Pb). Metais como chumbo (Pb) podem constituir fonte de poluição difusa de difícil controle e remediação. Espécies cosmopolitas como os siris azuis do gênero *Callinectes* sp. podem indicar a disponibilidade de contaminantes por meio de biomarcadores (alterações em diversos níveis do organismo), desde moleculares, imunológicos até histológicos. Diversos trabalhos verificaram a presença de metais em *Callinectes* sp., todavia, aspectos imunológicos e histológicos referentes à exposição destes metais tem recebido pouca atenção, principalmente para espécie-alvo deste estudo, o *Callinectes danae*. Considerando o acima exposto, o presente projeto teve por objetivo avaliar parâmetros imunológicos inatos, bem como alterações histológicas em siris azuis (*Callinectes danae*) expostos a 2 µg/mL de Pb pelos períodos de 24 horas, 48 horas e 96 horas. Várias publicações surgiram a partir desse estudo e outras estão em andamento [49-51].

2. CONCLUSÕES

A partir dos resultados de pesquisa apresentados, comprovou-se que a técnica de INAA tem contribuído, consideravelmente, como ferramenta analítica poderosa em estudos de interesse ambiental e nutricional, em diferentes campos da ciência.

Uma vez que a técnica de INAA é uma das aplicações mais importantes do reator nuclear de pesquisa do IPEN, pode-se afirmar que a utilização do reator tem contribuído, significativamente, para o progresso da pesquisa em nossa área de atuação, rendendo publicações nacionais e internacionais importantes e a formação de profissionais qualificados por meio do curso de pós-graduação em Tecnologia Nuclear – Aplicações, em parceria com a USP.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) pela valiosa parceria nos projetos relacionados a análise de metais em sedimentos, com o fornecimento das amostras para estudo.

REFERÊNCIAS

1. YUYAMA, L. K. O. *et al.* Determinação dos teores de elementos minerais em alimentos convencionais e não convencionais da região Amazônica, pela técnica de NAA. *Acta Amazônica*, Manaus–Amazonas, v. 27, n. 3, p. 183-196, 1997.
2. YUYAMA, L. K. O. *et al.* Avaliação da alimentação de pré-escolares de Barcelos e Ajuricaba, Estado do Amazonas. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, v. 59, n. 1/2, p. 27-32, 2000.
3. YUYAMA, L. K. O. *et al.* Teores de elementos minerais em algumas populações de camu-camu. *Acta Amazônica*, Manaus–Amazonas, v. 33, n. 4, p. 549-554, 2003.
4. YUYAMA, L. K. O. *et al.* Chemical Composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. *Int. J. Food Sci. and Nutr.*, v. 54, p. 49-56, 2003.
5. YUYAMA, L. K. O. *et al.* Quantificação de macro e micro nutrientes em algumas etnovarietades de Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). *Acta Amazônica*, Manaus–Amazonas, v. 37, p. 425-430, 2007.
6. YUYAMA, L. K. O. *et al.* Caracterização físico-química do suco de açaí de *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. *Acta Amazônica*, Manaus–Amazonas, v. 41, p. 545-552, 2011.
7. NAGAHAMA, D. *et al.* Composição química e percentual de adequação da dieta dos servidores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil”. *Acta Amazonica*, Manaus–Amazonas, v. 32, n. 2, p. 267-276, 2002.

8. FARIAS, L. A. *et al.* Assessment of daily dietary intake of Hg and some essential elements in diets of children from the Amazon region. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Budapeste, v. 270, n. 1, p. 217-223, 2006.
9. FARIAS, L. A. *et al.* Cooking process evaluation on mercury content in fish. *Acta Amazônica*, Manaus–Amazonas, v. 40, p. 333-340, 2010.
10. FARIAS, L. A. *et al.* Mercury and methylmercury concentration assessment in children's hair from Manaus, Amazonas state, Brazil. *Acta Amazônica*, Manaus–Amazonas, v. 42, p. 279-286, 2012.
11. FARIAS, L. A. *et al.* Mercúrio total em cabelo de crianças de uma população costeira, Cananeia, São Paulo – Brasil. Fundação Oswaldo Cruz, *Cadernos de Saúde Pública*, v. 24, p. 2249-2256, 2008.
12. FARIAS, L. A.; FAVARO, D. I. T.; VASCONCELLOS, M. B. Determinação de mercúrio e metilmercúrio em amostras de cabelo e peixes. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 68, p. 451-460, 2009.
13. FARIAS, L. A. *et al.* Mercury and Methylmercury in the children hair and fish mostly consumed in Cubatão, São Paulo State, Brazil. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 73, p. 19-29, 2014.
14. CURCHO, M. R. M. *et al.* Mercury and methylmercury contents, fatty acids profile, and proximate composition of fish consumed in Cananeia, São Paulo, Brazil. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 68, p. 442-450, 2009.
15. FAVARO, D. I. T. *et al.* Determination of some nutrients and toxic elements in different brazilian regional diets by Neutron Activation Analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v. 11, p. 129-136, 1997.
16. FAVARO, D. I. T. *et al.* Application of Neutron Activation Analysis to the determination of mineral and trace elements in brazilian diets at IPEN/CNEN-SP. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 244, n. 1, p. 241-245, 2000.
17. FAVARO, D. I. T. *et al.* Determinação de elementos minerais e traços por Ativação Neutrônica, em refeições servidas no restaurante da Faculdade de Saúde Pública/USP. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas–SP, v. 20, n. 2, p. 176-182, 2000.
18. FAVARO, D. I. T. *et al.* Evaluation of Zn and Fe in diets of patients with chronic renal failure. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 259, n. 3, p. 533-536, 2004.

19. FAVARO, D. I. T. *et al.* Caracterização química e radiológica de refeições servidas pelo Coseas/USP-SP. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 24, p. 2249-2256, 2009.
20. MAFRA, D.; FAVARO, D. I. T.; FOUQUE, D.; COZZOLINO, S. M. F. Determination of trace elements in the diet of non-dialyzed renal patients. *Nutrire (SBAN)*, v. 33, p. 61-72, 2008.
21. MAIHARA, V. A. *et al.* Analysis of mineral constituents in duplicate portion diets of two university student groups by Instrumental Neutron Activation Analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 249, n. 1, p. 21-24, 2001.
22. MAIHARA, V. A. *et al.* Daily dietary selenium intake of selected brazilian population groups. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 259, n. 3, p. 465-468, 2004.
23. MAIHARA, V. A. *et al.* Avaliação nutricional de dietas de trabalhadores em relação a proteínas, lipídeos, carboidratos, fibras alimentares e vitaminas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, p. 672-677, 2006.
24. ROCHA, A. V. *et al.* GPX1 Pro198Leu polymorphism and GSTM1 deletion do not affect selenium and mercury status in mildly exposed Amazonian women in an urban population. *Science of the Total Environment*, v. 571, p. 801-808, 2016.
25. GONÇALVES, C. *et al.* Preliminary study on mercury distribution in soil profiles from Serra do Navio, Amapá, using Radiochemical Neutron Activation Analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 235, n. 1-2, p. 267-272, 1998.
26. GONÇALVES, C. *et al.* Evaluation of mercury levels in sediment and soil samples from Vila Nova River basin, in Amapá State, Brazil, using Neutron Activation Analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 243, n. 3, p. 789-796, 2000.
27. OLIVEIRA, S. M. B. *et al.* Soils as an important sink for mercury in the Amazon. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 26, p. 321-337, 2001.
28. FAVARO, D. I. T. *et al.* Caracterização química e mineralógica do material inconsolidado do fundo da Lagoa da Viração, arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. *Geologia USP. Série Científica*, v. 6, p. 1-11, 2006.

29. OLIVEIRA, S. M. B. *et al.* Lacustrine sediments provide geochemical evidence of environmental change during the last millennium in southeastern Brazil. *Chemie der Erde*, v. 69, p. 395-405, 2009.
30. OLIVEIRA, S. M. B. *et al.* Evidência geoquímica de solos formados pela interação de guanos com rochas vulcânicas, Ilha Rata, Fernando de Noronha (PE). *Geologia USP. Série Científica*, v. 9, p. 03-12, 2009.
31. OLIVEIRA, S. M. B. *et al.* Rare earth element patterns in lake sediments studied by Neutron Activation Analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 258, n.3, p. 531-535, 2003.
32. OLIVEIRA, S. M. B. *et al.* Rare earth elements as tracers of sediment contamination by *Phosphogypsum* in the Santos estuary, southern Brazil. *Applied Geochemistry*, v. 55, p. 1-25, 2007.
33. PIOVANO, E. L. *et al.* Geochemical response of a closed-lake basin to 20th century recurring droughts/wet intervals in the subtropical Pampean Plains of South America. *Journal of Limnology*, v. 63, n. 1, p. 210-221, 2004.
34. FAVARO, D. I. T. *et al.* Chemical characterization and recent sedimentation rates in sediment cores from Rio Grande Reservoir, São Paulo, Brazil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 273, p. 451-463, 2007.
35. FRANKLIN, R. L. *et al.* Assessment of metals and trace elements in sediments from Rio Grande Reservoir, Brazil, by neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 291, p. 147-153, 2012.
36. FRANKLIN, R. L. *et al.* Trace metal and rare earth elements in a sediment profile from the Rio Grande Reservoir, São Paulo, Brazil: determination of anthropogenic contamination, dating, and sedimentation rates. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 307, p. 99-110, 2016.
37. GUIMARÃES, G. M. *et al.* Neutron activation analysis applied in sediment samples from the Guarapiranga Reservoir for metals and trace elements assessment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 291, p. 155-161, 2012.

