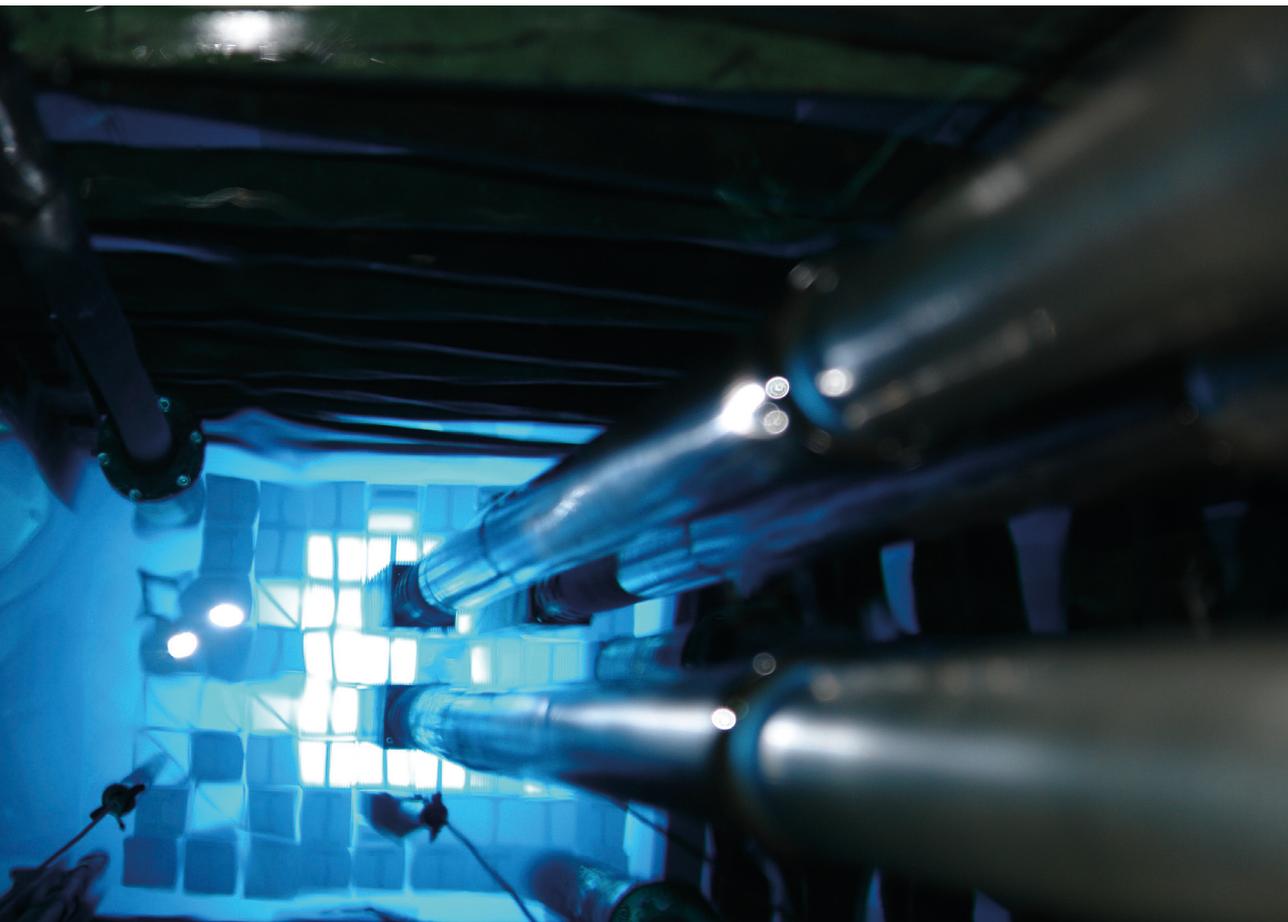


Paulo Sergio Cardoso Da Silva  
Guilherme Soares Zahn  
Francisco De Assis Souza  
organizadores

# CONTRIBUIÇÕES DO REATOR IEA-R1 PARA A PESQUISA NUCLEAR

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas



CONTRIBUIÇÕES DO  
REATOR IEA-R1 PARA A  
PESQUISA NUCLEAR

*Conselho editorial*

André Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon de Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogério Lerner

**Blucher** Open Access

PAULO SERGIO CARDOSO DA SILVA  
GUILHERME SOARES ZAHN  
FRANCISCO DE ASSIS SOUZA  
(organizadores)

CONTRIBUIÇÕES DO  
REATOR IEA-R1 PARA A  
PESQUISA NUCLEAR  
WARP2: II Workshop Anual do  
Reator de Pesquisas

21 e 22 de novembro de 2019  
Centro do Reator de Pesquisas  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

2022

*Contribuições do Reator IEA-R1 para a Pesquisa Nuclear*

*WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas*

© 2022 Paulo Sergio Cardoso da Silva, Guilherme Soares Zahn e Francisco de Assis Souza

Editora Edgard Blücher Ltda.

*Publisher* Edgard Blücher

*Editor* Eduardo Blücher

*Coordenação editorial* Jonatas Eliakim

*Produção editorial* Thaís Costa

*Diagramação* Taís do Lago

*Capa* Laércio Flenic

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel 55 11 3078-5366  
contato@blucher.com.br  
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.  
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,  
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer  
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora  
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Workshop anual do reator de pesquisas (2. : 2019 :  
São Paulo)

Contribuições do reator IEA-R1 para a pesquisa  
nuclear WARP 2 / organizado por Paulo Sergio Cardoso  
da Silva, Guilherme Soares Zahn, Francisco de Assis  
Souza. -- São Paulo : Blucher, 2022.

478 p : il.

21 e 22 de novembro de 2019 - Centro do Reator de  
Pesquisas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Bibliografia

ISBN 978-65-5550-147-6 (impresso)

ISBN 978-65-5550-148-3 (eletrônico)

1. Pesquisa nuclear 2. Física nuclear I. Título II. Silva,  
Paulo Sergio Cardoso da III. Zahn, Guilherme Soares IV.  
Souza, Francisco de Assis IV. IPEN

21-5617

CDD 539.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa nuclear

*COMITÊ ORGANIZADOR*

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

*COMITÊ CIENTÍFICO*

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

Frederico Antônio Genezini

*APOIO*

O Comitê Organizador agradece o apoio do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), do Departamento de Ensino do IPEN e da Marinha do Brasil, para a realização do II Workshop Anual do Reator de Pesquisas.



# APLICAÇÃO DA ANÁLISE POR ATIVACÃO COM NÊUTRONS A ESTUDOS DE POLUIÇÃO URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

*Ana M.G. Figueiredo*

Centro do Reator de Pesquisas – IPEN-CNEN/SP  
Av. Professor Lineu Prestes, 2242  
05508-000 São Paulo – SP  
anamaria@ipen.br

## RESUMO

A poluição no meio ambiente tem sido intensificada com o aumento da urbanização em países em desenvolvimento e tem alcançado a mesma extensão que nos países desenvolvidos. Nas áreas metropolitanas, o problema da poluição representa uma grave ameaça à qualidade de vida da população. Tem-se observado, portanto, uma preocupação maior em estudar as alterações que essa poluição provoca no ambiente urbano. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), também conhecida como Grande São Paulo, é a maior região metropolitana do Brasil, com cerca de 21,5 milhões de habitantes, com graves problemas ambientais, entre os quais está a deterioração da qualidade do ar, devido às emissões atmosféricas de indústrias de alto potencial poluidor e por uma frota de mais de oito milhões de veículos.

A análise por ativação com nêutrons tem-se mostrado uma ferramenta muito útil em estudos ambientais, sendo um método nuclear muito utilizado na determinação de metais em vários compartimentos do meio ambiente. Há vários anos, o Laboratório de Análise por Ativação com Nêutrons vem desenvolvendo estudos sobre esse tema, em colaboração com o Instituto de Botânica, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de Campinas e com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), resultando em publicações em periódicos nacionais e internacionais, apresentações em congressos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Neste trabalho, apresentam-se os resultados desses estudos, que têm contribuído para um melhor conhecimento do potencial poluidor de metais na RMSP.

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ambiente urbano é de vital importância, uma vez que a maioria da população vive agora em cidades. O aumento da poluição por metais no meio ambiente, provenientes de emissões veiculares, incineradores, resíduos industriais, deposição atmosférica de poeira e aerossóis e outras atividades, vem causando severos distúrbios no ciclo geoquímico natural dos ecossistemas. Com o ambiente urbano se tornando o ecossistema dominante, onde a maioria dos indivíduos irá passar sua vida, é cada vez mais importante entender o comportamento de tais ecossistemas. Nos últimos anos, os solos urbanos têm sido alvo de estudos em várias partes do mundo, incluindo sua caracterização química e implicações à saúde humana [1-4].

São Paulo é uma megalópole com uma população de cerca de 21 milhões de habitantes e uma das dez regiões metropolitanas mais populosas do mundo, que teve um rápido e desordenado crescimento nos últimos anos. Muitas áreas residenciais e comerciais foram estabelecidas próximas a grandes vias, rodovias e indústrias. A contaminação por metais é uma importante questão ambiental em São Paulo, e existem poucas informações a este respeito. Desde o início dos anos 2000, o Laboratório de Análise por Ativação com Nêutrons realizou estudos para a determinação de metais em diversos compartimentos da Região Metropolitana de São Paulo. Apresentam-se aqui, resumidamente, os trabalhos realizados e seus principais resultados.

## 2. AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA POR METAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO UTILIZANDO A BROMÉLIA TILLANDSIA USNEOIDES L. COMO BIOMONITOR

Amostras de *T. usneoides*, provenientes de uma área de Mata Atlântica conservada, foram expostas em estações de amostragem da Cetesb: Santana (ST), Parque Dom Pedro II (DP), Ibirapuera (IB), Congonhas (CG), Cerqueira César (CC) e Pinheiros (PI), São Miguel Paulista (SM), Santo André (SA) e São Caetano do Sul (SC) e Mauá (MA). Esses locais foram escolhidos em função dos níveis de contaminação do ar, principalmente em relação a material particulado. Depois de dois meses de exposição, as amostras de *Tillandsia usneoides* foram levadas para análise e substituídas por novas, garantindo, dessa maneira, um monitoramento contínuo dos pontos escolhidos durante um período de dezoito meses. A determinação dos teores dos elementos de interesse nos biomonitores foi realizada pela técnica de análise por ativação com nêutrons. Os elementos Pb, Cd, Cu, Ni e V, que são importantes do ponto de vista da poluição atmosférica, foram determinados por ICP-MS.

Elementos relacionados ao tráfego, como Zn, Sb e Ba, apresentaram altas concentrações na plantas expostas em locais próximos a avenidas com trânsito pesado e podem ser relacionados a fontes veiculares. Para Cd, V, Zn, Ni e Co, os maiores teores foram observados em zonas industriais e podem ser associados à presença de fontes de emissão antrópicas.

Os resultados obtidos mostraram uma concentração significativamente alta de Co e Ni nas plantas expostas em uma área industrial (São Miguel), onde existe uma indústria de processamento de metal, que produz cerca de 600 ton/ano de Co e 16.000 ton/ano de Ni. Cobre e cromo se apresentaram igualmente distribuídos em regiões industriais e em locais próximos a avenidas com tráfego intenso, sugerindo que estes elementos podem ser associados tanto a fontes veiculares como industriais.

Este trabalho foi uma parceria com o Instituto de Botânica e o Internationales Hochschulinstitut Zittau, na Alemanha. Foi tema de uma tese de doutorado [5] e de um capítulo de livro [6], e foi publicado em periódico internacional [7].

## 3. METAIS EM SOLOS URBANOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Recentemente, os solos urbanos têm despertado a atenção de muitos cientistas, levando a estudos de sua descrição e composição em todo o mundo. Muitos estudos

têm mostrado um aumento importante nas concentrações de metais em solos de grandes cidades, devido ao aumento da poluição por metais no meio ambiente. Em áreas urbanas, a poeira do solo pode ter efeitos tóxicos como consequência da inalação ou ingestão pelos seres humanos. Apresentam-se a seguir estudos realizados em solos urbanos da Região Metropolitana de São Paulo utilizando como técnica analítica a Análise por Ativação com Nêutrons.

### **3.1. Metais em Parques da Cidade de São Paulo**

No presente estudo, foi realizada uma caracterização geral da mineralogia e geoquímica dos solos superficiais de parques do município de São Paulo, em colaboração com o Departamento de Parques e Áreas Verdes da Prefeitura de São Paulo. As concentrações de metais como Pb, Cu, Cr, Zn, Co, Ba, As e Sb, foram determinadas em amostras de solos superficiais coletados em parques públicos de São Paulo. Foram utilizadas as técnicas de análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA) e fluorescência de raios-X (XRF), para a análise de metais totais. Procedimentos de estatística multivariada foram empregados para identificar as origens dos metais e procurar discriminar contribuições antrópicas e naturais.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que os solos de parques públicos de São Paulo apresentam níveis de concentrações dos elementos As, Ba, Cr, Cu, Pb, Sb e Zn maiores que os valores considerados como de referência para solos de São Paulo, de acordo com a Cetesb. Os parques que apresentaram valores de concentração dos elementos estudados mais próximos dos valores orientadores da Cetesb para solos limpos foram: Alfredo Volpi, Carmo, Guarapiranga e Raul Seixas e Raposo Tavares. Por outro lado, os solos do parque Buenos Aires foram os que apresentaram maiores teores dos metais analisados, o que indica ser o mais influenciado por atividades antrópicas. As altas concentrações dos elementos Pb, Cu, e Zn encontradas nos solos do Parque Buenos Aires demonstram como a influência do intenso tráfego de veículos pode afetar a qualidade do solo dos centros urbanos. Os resultados obtidos levam a concluir que os elementos Cu, Pb, Sb e Zn têm origem antrópica e são originados das atividades do tráfego, principalmente nos parques da região central da cidade. Os altos teores obtidos indicam um risco potencial à qualidade do solo e águas subterrâneas, com possíveis consequências para a saúde da população.

O trabalho foi realizado em parceria com o Instituto de Geociências da USP e com o Instituto de Geociências da Unicamp, e foi financiado pela Fapesp. Os resultados obtidos neste estudo foram tema de duas iniciações científicas,

foram apresentados em congressos nacionais e internacionais, e foram publicados em periódico internacional [8].

### **3.2. Metais em Solos Adjacentes a Avenidas da Cidade de São Paulo**

O presente trabalho teve como objetivo quantificar os teores de elementos de interesse ambiental como As, Ba, Co, Cr, Sb e Zn em solos superficiais (0-5 cm de profundidade) coletados em canteiros vicinais às principais avenidas da cidade de São Paulo, a saber, Marginal Pinheiros, Marginal Tietê, Avenida Rebouças/Consolação, Radial Leste, 23 de Maio, Jacu Pêssego, Tiradentes/Santos Dumont.

Os resultados mostraram, exceto para Co, concentrações mais elevadas do que os valores de referência para solos de São Paulo, de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). Os solos urbanos de São Paulo apresentaram teores mais elevados dos elementos estudados, quando comparados a estudos similares em outras cidades. Os teores de As e Cr indicam uma origem antrópica. As elevadas concentrações de Ba, Sb e Zn nos solos urbanos indicam origem veicular. Como esperado, os solos próximos às Marginais Pinheiros e Tietê apresentaram os teores de metais mais elevados, uma vez que estão entre as avenidas de tráfego mais intenso do mundo.

Este trabalho foi parte de um projeto de pós-doutorado financiado pela FAPESP, tema de duas iniciações científicas, os resultados obtidos foram apresentados em congressos nacionais e internacionais, e foram publicados em periódico internacional [9].

### **3.3. Avaliação da Contaminação de Solos e Água Subterrânea por Elementos Potencialmente Tóxicos em um Pátio de Recolhimento de Veículos. Estudo de Caso: Ribeirão Pires – SP**

A superlotação dos pátios de recolhimento de veículos (PRV) é, atualmente, um assunto em pauta no cenário brasileiro. O objetivo deste trabalho foi estudar os teores totais de elementos potencialmente tóxicos (EPT) e elementos-traço (ET) no solo e água subterrânea em um PRV localizado no município de Ribeirão Pires. Para atingir este objetivo, foram analisados o solo superficial, os testemunhos de três sondagens de solo e a água subterrânea de três poços de monitoramento. A fração em massa da maioria dos EPT no solo superficial foi superior aos valores de qualidade de solo regulamentados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), exceto Co, Cu, Mo e Zn. No solo foram observados alguns pontos que apresentaram níveis elevados (hotspots) para grande parte dos EPT, sugerindo fonte veicular. O Índice de Geoacumulação indicou que o solo pode ser considerado

de minimamente a moderadamente poluído, para a maioria dos elementos, exceto para As e Ba que apresentaram maior acumulação que os demais elementos. O conteúdo de As no solo pode representar um risco ecológico de potencial moderado a alto. O fator de enriquecimento apontou para um enriquecimento significativo de As e Pb. Os resultados de EPT e as abordagens estatísticas indicaram que As, Ce, Co, Cu, Mn, Nb, Ni, Pb e Zn são principalmente de fontes antrópicas.

O conteúdo da maioria dos EPTs no solo superficial não representa um potencial risco à saúde humana, exceto Cr. O conteúdo de quase todos elementos na água subterrânea foi abaixo dos limites de recomendação de água potável, exceto os conteúdos de Mn e Fe. Para concluir, apesar das condições aparentemente degradadas do PRV estudado, neste momento, não foi observada contaminação grave de solo e águas subterrâneas.

Este trabalho foi tema de uma tese de doutorado [10], resultou em apresentações em congressos internacionais e duas publicações em periódicos internacionais [11-12].

#### 4. ESTUDO DE BIOACUMULAÇÃO DE METAIS TÓXICOS E ELEMENTOS TRAÇO EM AMOSTRAS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES DO RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA, SÃO PAULO – SP, BRASIL

As macrófitas desempenham um papel de extrema relevância em ambientes aquáticos, pois acumulam elementos metálicos e podem ser utilizadas para biomonitoramento desses ecossistemas, principalmente quando se trata de um importante reservatório para abastecimento público de água, assim como o Reservatório Guarapiranga, considerado um dos principais mananciais da Região Metropolitana de São Paulo, e responsável pelo abastecimento de água para atender cerca de quatro milhões de habitantes. Este reservatório, no entanto, vem apresentando um sério quadro de poluição causado principalmente por despejos de esgotos e poluição difusa. Neste estudo, foram avaliados os teores dos elementos potencialmente tóxicos As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn e outros elementos de interesse, em quatro espécies de macrófitas aquáticas flutuantes (*E. crassipes*, *P. stratiotes*, *S. herzogii* e *S. molesta*), em sedimentos e em amostras de água coletadas em três pontos do Reservatório Guarapiranga em duas campanhas de coleta, com o objetivo de avaliar a extensão da contaminação por elementos metálicos neste ecossistema.

Os teores dos elementos potencialmente tóxicos determinados em amostras de água mostraram-se abaixo dos limites de quantificação das técnicas analíticas

aplicadas, para todos os elementos analisados. Em relação aos resultados das espécies químicas analisadas nas amostras de macrófitas, foram verificados valores acima dos valores de referência para plantas vasculares aquáticas. A Análise de Variância (ANOVA) mostrou diferenças estatisticamente significativas entre os pontos de coleta. No geral, a ANOVA não indicou diferenças estatisticamente significativas em relação ao acúmulo dos elementos analisados entre as espécies de macrófitas.

Para as amostras de sedimentos, os resultados foram comparados aos valores limites reportados pelo The Canadian Council of Ministers of the Environment e a valores de referência locais. A maioria dos elementos analisados excedeu os valores de TEL (*Threshold Effect Level*), as concentrações de Cr, Cu e Zn excederam os valores de referência regionais e as altas concentrações de Cu excederam o valor de PEL (*Probable Effect Level*). O índice de geoacumulação demonstrou sedimentos moderadamente poluídos por Zn e de moderadamente a altamente poluídos por Cu. A contaminação de cobre no reservatório é explicada pela frequente aplicação deste metal na forma de sulfato de cobre, como algicida, em especial no ponto de coleta que está localizado próximo ao local onde a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) realiza a captação de água no reservatório. A comparação entre os teores dos elementos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Bi, Pb e Zn) analisados nas amostras de sedimentos e macrófitas evidenciou que há transferência dessas espécies químicas presentes nos sedimentos para as macrófitas e, conseqüentemente, a bioacumulação por essas plantas aquáticas. Os resultados podem indicar potencial risco da qualidade da água no reservatório.

O trabalho foi realizado em parceria com a Cetesb, foi tema de uma dissertação de mestrado [13], e foi apresentado em congressos nacionais e internacionais [14-16].

## 5. IDENTIFICAÇÃO DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO URBANA EM POEIRAS DE TÚNEIS DA CIDADE DE SÃO PAULO POR MEIO DE CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR E ISOTÓPICA

Neste trabalho, foram analisadas poeiras coletadas em dois túneis da cidade de São Paulo – os túneis Jânio Quadros (JQ) e do Complexo Viário Maria Maluf (MM) – com vistas à sua caracterização elementar e isotópica, afim de identificar as prováveis fontes dos elementos encontrados e de estimar a contaminação desses ambientes por elementos potencialmente tóxicos à saúde humana. As poeiras foram coletadas no verão e no inverno de 2017, das porções de entrada

e saída (túnel MM) e da calçada de pedestres e da pista de rodagem (túnel JQ). As amostras coletadas foram secas e fracionadas em três frações granulométricas: 2 mm, 150 µm e 63 µm. As concentrações elementares foram determinadas por INAA e por GFAAS para 28 elementos e, a caracterização isotópica, por TIMS (Pb) e por MC- ICP-MS (Zn).

A análise isotópica de Pb indicou origem predominantemente veicular para esse elemento, especialmente na exaustão. Para o Zn, a análise indicou origem veicular, mas não proveniente da exaustão. A análise estatística demonstrou a presença, em ambos os túneis, de uma fonte formada por elementos de origem geológica natural (elementos terras raras, U e Th), e de fontes de origem veicular: Pb e V são apontados como resultantes da queima de combustíveis fósseis; Pb e Ti como originários das tintas de demarcação viária; Sb, Ba e Zn como originários de freios; e Zn como originário também do desgaste de estruturas de aço e de pneus. Os elementos associados ao tráfego veicular apresentaram-se significativamente enriquecidos no ambiente, sendo que as frações mais finas apresentaram as maiores concentrações, o que dá origem a preocupações com relação à saúde humana, visto serem essas frações altamente inaláveis.

O trabalho foi realizado em parceria com o Instituto de Geociências da USP. Foi tema de uma dissertação de mestrado [17] e foi apresentado em congressos nacionais e internacionais [18- 20].

## 6. CONCLUSÕES

Os estudos apresentados contribuíram para um melhor conhecimento da poluição por metais em diversos compartimentos da Região Metropolitana de São Paulo. A circulação veicular se mostrou a principal responsável pelo aporte de elementos potencialmente tóxicos e nocivos à saúde humana, mostrando a importância de políticas públicas visando a redução das emissões veiculares e a introdução de meios de transporte alternativos menos poluentes.

## AGRADECIMENTOS

Fapesp, CNPq, Capes e CNEN, pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

1. LI, Z.; FENG, X.; LI, G.; BI, X.; ZHU, J.; QIN, H.; DAI, Z.; LIU, J.; LI, Q.; SUN, G. Distributions, sources and pollution status of 17 trace metal/metalloids

- in the street dust of a heavily industrialized city of central China. *Environ. Pollut.*, v. 182, p. 408-416, 2013. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.07.041.
2. CARRERO, J. A.; ARRIZABALAGA, I.; BUSTAMANTE, J.; GOIENAGA, N.; ARANA, G.; MADARIAGA, J. M. Diagnosing the traffic impact on roadside soils through a multianalytical data analysis of the concentration profiles of traffic-related elements. *Sci. Total. Environ.*, v. 458-460, p.427-434, 2013.
3. AMATO, F.; PANDOLFI, M.; MORENO, T.; FURGER, M.; PEY, J.; ALASTUEY, A.; BUKOWIECKI, N.; PREVOT, A. S. H.; BALTENSPERGER, U.; QUEROL, X. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmos Environ*, v. 45, p. 6777-6787, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.003>.
4. ABRAHAMS, P. W. Soils: their implications to human health. *Sci. Total Environ.*, v. 291, p. 1-32, 2002.
5. NOGUEIRA, C. A. *Avaliação da poluição atmosférica por metais na Região Metropolitana de São Paulo utilizando a bromélia Tillandsia Usneoides L. como biomonitor*. 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2006. DOI: 10.11606/T.85.2006.tde-29052007-135539.
6. FIGUEIREDO, A. M. G.; NOGUEIRA, C. A.; MARKERT, B.; HEIDENREICH, H.; FRANZLE, S.; LIEPELT, G.; SAIKI, M.; DOMINGOS, N.; MILIAN, F. M.; HERPIN, U. The use of an epiphyte (*Tillandsia usneoides*) as bioindicator of air pollution in São Paulo, Brazil. In: 8<sup>th</sup> HIGHWAY AND URBAN ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 12-14 June 2006, Nicosia, Cyprus. MORRISON, G.; RAUCH, S. (eds.). *Highway and urban environment – Proceedings [...]*. Dordrecht, Holanda: Springer, 2007. p. 249-257. (Alliance for Global Sustainability Bookseries, v. 12). DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6010-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6010-6_23).
7. FIGUEIREDO, A. M. G.; NOGUEIRA, C. A.; SAIKI, M.; MILIAN, F. M.; DOMINGOS, M. Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. *Environ. Pollut.*, v. 145, p. 279-292, 2007.
8. FIGUEIREDO, A. M. G.; ENZWEILER, J.; CAMARGO, S. P.; SÍGOLO, J. B. *et al.* Metal contamination in urban park soils of São Paulo. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, v. 280, p. 423-429, 2009.
9. RIBEIRO, A. P.; FIGUEIREDO, A. M. G.; TICIANELLI, R. B.; NAMMOURA-NETO, G. M.; SILVA, N. C.; KAKAZU, M. H.; ZAHN, G. Metals and semi-

metals in street soils of São Paulo city, Brazil. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, v. 291, p. 137-142, 2012.

10. LANGE, C. N. *Avaliação da contaminação de solos e água subterrânea por elementos potencialmente tóxicos e traços em um pátio de recolhimento de veículos*. Estudo de caso: Ribeirão Pires, SP. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2018. DOI: 10.11606/T.85.2018.tde-25042018-104820.

11. LANGE, C. N.; FIGUEIREDO, A.M.G.; ENZWEILER, J.; CASTRO, L. Trace elements status in the terrain of an impounded vehicle scrapyard. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, v. 311, p. 1323-1332, 2017.

12. LANGE, C. N.; FIGUEIREDO, A.M.G.; ENZWEILER, J.; MONTEIRO, L. R. Potentially toxic elements downward mobility in an impounded vehicle scrapyard. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, v. 316, p. 819-830, 2018.

13. COUTINHO, S. N. *Estudo de bioacumulação de metais tóxicos e elementos traço em amostras de macrófitas aquáticas flutuantes do Reservatório Guarapiranga, São Paulo – SP, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2017. DOI: 10.11606/D.85.2018.tde-13042018-162720.

14. COUTINHO, S. N.; FIGUEIREDO, A. M. G.; QUINÁGLIA, G. A. Metal assessment in sediments from the Guarapiranga Reservoir. *In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE*, 22-27 out. 2017, Belo Horizonte–MG. *Anais [...]*, 2017. Sigla do evento: INAC.

15. COUTINHO, S. N.; FIGUEIREDO, A. M. G.; QUINÁGLIA, G. A. Estudo de bioacumulação de elementos potencialmente tóxicos em amostras de macrófitas aquáticas flutuantes do reservatório Guarapiranga, São Paulo. *In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, 22-25 ago. 2017, Búzios–RJ. *Anais [...]*, 2017.

16. COUTINHO, S. N.; FIGUEIREDO, A. M. G.; QUINÁGLIA, G. A.; HELD, B. Bioaccumulation of toxic elements in floating aquatic macrophytes of Guarapiranga Reservoir, São Paulo, Brazil. *In: GOLDSCHMIDT 2019*, 18-23 ago. 2019, Barcelona, Espanha. *Abstracts [...]*. 2019.

17. NORRY, R. M. *Identificação de fontes de contaminação urbana em poeiras de túneis da cidade de São Paulo por meio de caracterização elementar e isotópica*. 2018. 190 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) –

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2018. DOI: 10.11606/D.85.2019.tde-08022019-112203.

18. NORRY, R. M.; FIGUEIREDO, A.M.G. Rare earth elements, U and Th in tunnel dusts of São Paulo city, Brazil. *In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 22-27 out. 2017, Belo Horizonte–MG. Anais [...], 2017. Sigla do evento: INAC.*

19. NORRY, R. M.; FIGUEIREDO, A.M.G. Análise da concentração de elementos potencialmente tóxicos em poeiras do túnel Jânio Quadros na cidade de São Paulo, Brasil. *In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 22-25 ago. 2017, Búzios–RJ. Anais [...], 2017.*

20. NORRY, R. M.; FIGUEIREDO, A.M.G.; SOUTO-OLIVEIRA, C. E.; BABINSKI, M. Zinc and lead isotope as pollutant source tracers in tunnel dusts in São Paulo Megacity, Brazil. *In: GOLDSCHMIDT 2018, 12-17 ago. 2018, Boston, EUA. Abstracts [...]. 2018.*

