

Biomonitoramento passivo com casca de aroeira vermelha (*Myracrodruon urundeuva* Lorenzi Harri) para verificar a variabilidade espacial da poluição atmosférica em uma região do Distrito Federal, Brasil

*Passive biomonitoring with hull aroeira vermelha (*Myracrodruon urundeuva* Lorenzi Harri) to verify spatial variability of air pollution in a region of the Federal District, Brazil*

Cleide Moura dos Santos¹, Regiani Carvalho Oliveira², Henrique Llacer Roig¹,
Weeberb João Réquia Júnior¹

RESUMO

O biomonitoramento é uma técnica alternativa que utiliza organismos vivos para verificar mudanças no meio ambiente ocasionadas pela poluição da água, ar e solo. Tendo como foco as emissões atmosféricas localizadas na região da Fercal no Distrito Federal, o presente estudo objetivou coletar amostras de casca da árvore da espécie *Myracrodruon urundeuva* para verificar a variabilidade espacial dos elementos químicos presentes na área de estudo. A análise de componente principal (PCA) permitiu agrupar os elementos em três fatores, distribuídos no fator 1: Zn, Fe, Al, S e Ba; no fator 2: Cu, P, Ca e Sr; e no fator 3: Mg e K. O fator 1 é o que melhor descreve o objeto de pesquisa. Este estudo permitiu demonstrar a viabilidade do método de biomonitoramento com casca de aroeira vermelha (*Myracrodruon urundeuva*) como instrumento de mensuração da poluição atmosférica.

Palavras-chave: biomonitoramento; aroeira vermelha; poluição atmosférica.

ABSTRACT

Biomonitoring is an alternative technique that uses living organisms to verify changes in the environment caused by pollution of water, air and soil. Focusing on atmospheric emissions at Fercal, located in the Federal District region, the present study aimed to collect samples of the bark of the species *Myracrodruon urundeuva* to verify the spatial variability of the chemical elements present in the study area. The principal component analysis (PCA) allowed to group the elements into three factors: factor 1: Zn, Fe, Al, S, and Ba; factor 2: Cu, P, Ca, and Sr; and factor 3: Mg and K. Factor 1 is the one that best describes the research object. This study has demonstrated the feasibility of the method of biomonitoring with the bark of aroeira vermelha (*Myracrodruon urundeuva*) as an instrument for measuring air pollution.

Keywords: biomonitoring; aroeira vermelha; air pollution.

INTRODUÇÃO

O biomonitoramento pode ser definido como o uso sistemático das respostas de organismos vivos para avaliar as mudanças ocorridas no ambiente, geralmente causadas por ações antropogênicas (BUSS *et al.*, 2003). Algumas espécies vegetais têm sido utilizadas como bioindicadoras em pesquisas de biomonitoramento da qualidade do ar, tais como líquens, fungos, briófitas, gimnospermas e angiospermas (BENNET & BUCHEN, 1995). O uso de plantas como biomonitores da poluição tem

se demonstrado uma alternativa adequada e viável, por proporcionar o conhecimento de uma medida da exposição integrada ao longo de certo período (ARNDT & SCHWEIZER, 1991; ALVES *et al.*, 2001).

As plantas podem indicar a presença de algum contaminante atmosférico por meio de algumas observações, como a taxa de crescimento da planta (BUJOKAS, 2008), a concentração do poluente na folha (MAIOLI, 2008), a presença visível de necrose foliar e clorose (HEGGESTAD, 1991; BUSSOTI & FERRETI, 1998; AGRIOS,

¹Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) - Brasília (DF), Brasil.

²Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (USP) - São Paulo (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Weeberb João Réquia - Universidade de Brasília, *campus* Darcy Ribeiro, Instituto de Geociências - 70910-900 - Brasília (DF), Brasil - E-mail: weeberb@gmail.com

Recebido: 16/10/12 - **Aceito:** 06/08/14 - **Reg. ABES:** 666

1998) e a concentração do poluente na casca do caule (FERREIRA, 2009; MARTINS, 2009).

Quanto à indicação de poluentes observando a casca do caule, que foi o método utilizado na presente pesquisa, vale destacar que as cascas atuam como uma camada que envolve a árvore, protegendo, mas ao mesmo tempo recebendo e acumulando aerossóis (FERREIRA, 2009). Ainda que algumas espécies tenham cascas com camadas de estrutura simples, outras exibem uma complexa estrutura irregular, sendo constituídas por camadas de diferentes idades. A acumulação de aerossóis atmosféricos e de partículas em suspensão aérea ocorre tanto por meio da deposição seca como úmida (CARMINETTI, 2008). As partículas em suspensão no ar podem ser mantidas aderidas à casca devido ao impacto de colisão da partícula com casca da árvore (SCHELLE *et al.*, 2008).

As vantagens do biomonitoramento em comparação com o monitoramento convencional (uso de equipamentos) são o custo reduzido e a simplicidade de operação (GRODZINSKA, 1982; PRADO FILHO, 1992; 1993). Assim, o biomonitoramento pode auxiliar no fornecimento de respostas sobre a contribuição das fontes de emissões fixas e móveis de uma cidade, reduzir os custos dos programas de monitoramento da poluição atmosférica de uma região e ajudar na tomada de decisão dos órgãos competentes para formulação de políticas públicas (KÄFFER *et al.*, 2012; PAOLI *et al.*, 2013; KHAVANIN ZADEH *et al.*, 2013).

Nesse sentido, o presente estudo teve o objetivo de verificar a variabilidade espacial da poluição atmosférica em uma região do Distrito Federal por meio do biomonitoramento.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na cidade de Sobradinho, localizada na porção norte do Distrito Federal. As fontes de poluição atmosférica predominantes na região são duas fábricas de cimento e o alto tráfego de veículos, principalmente caminhões.

Os níveis de emissões atmosféricas da região ultrapassam os limites secundários de 150 µg, estabelecidos pela Resolução nº 03, de 1990, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 1990), para partículas totais em suspensão (PTS) em vários períodos do ano. Todavia, existem outras possíveis fontes de poluição, que estão relacionadas ao tráfego intenso de veículos leves (carros de passeio) e pesados (caminhões) que passam no local para condução de passageiros que moram nas proximidades e para o transporte de produtos que são produzidos nas indústrias da região (IBRAM, 2008).

Conforme descrição de Carvalho *et al.* (2006), a vegetação do Distrito Federal está situada na Província Fitogeográfica dos Cerrados. A paisagem descrita abrange três grupos distintos: campos (limpo e sujo), cerrados (campo-cerrado, cerrado) e formações florestais (matas ciliares, matas mesófilas e veredas). Considerando a vegetação da região e a distribuição da espécie que melhor representasse

a possível área de influência das emissões atmosféricas da Fercal, selecionou-se a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*).

De acordo com Campos e Freitas-Silva (2001), o Distrito Federal localiza-se na região central da Faixa de Desdobramentos e Cavalgamentos Brasília, composta por quatro conjuntos litológicos distintos que compõem a geologia geral: Grupo Paranoá, Grupo Canastra, Grupo Araxá e Grupo Bambuí, e suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares. Especificamente, a área de interesse está inserida no contato entre o Grupo Canastra, a nordeste, e a unidade X do grupo Paranoá com lentes e calcário, a sudeste.

Os pontos coletados das cascas de árvores foram posicionados com auxílio do sistema de posicionamento Global (GPS), configurado com Datum Side 69 fuso 21 ETREX 2000, reprojeto para SIRGAS2000 (Figura 1). A elaboração dos mapas de distribuição da concentração de elementos foram realizadas com o auxílio do Sistema de Informação Geográfico ARCGIS (ESRI, USA, versão 9.3), onde as concentrações dos elementos foram interpoladas por vários métodos (Spline, IDW, Grigagem). Ao final foi selecionado o método IDW, inverso do quadrado da distância, que se baseia no princípio de que as propriedades espacializadas próximas uma das outras são mais semelhantes do que aqueles que estão afastados.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio programa R, versão 2.12 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010). Os seguintes testes foram aplicados: (a) Kolmogorov-Smirnov, para verificar a normalidade das amostras, que não apresentaram distribuição normal por causa da diferença nos tamanhos das amostras comparadas; (b) Wilcoxon, devido a esse fato preferiu-se o uso de técnicas não paramétricas para avaliação das relações entre os elementos químicos encontrados nas amostras de casca de árvore; (c) análise fatorial, aplicando o método de análise de componente principal (JOHNSON & WICHERN, 1992), tendo como base uma matriz de semelhança (correlações, variâncias e covariâncias), estabelecem um conjunto de vetores que permite caracterizar o conjunto de fatores emissores presentes em uma determinada amostra de biomonitoramento.

A etapa de coleta de amostra de casca de árvore ocorreu entre os meses de agosto e outubro de 2010, período de seca, de modo a evitar a lavagem das cascas. Foram coletadas 35 amostras de casca de aroeira, sendo 31 em pontos definidos previamente nas proximidades da Fábrica de Cimento Planalto Ciplan (área poluída) e 4 amostras na Reserva Ecológica do IBGE (área controle do estudo, por apresentar vegetação semelhante e livre de emissões atmosféricas significativas).

A detecção dos elementos químicos presentes nas cascas de árvore foi realizada pelo método de análise elementar com espectrometria de fluorescência de raios X (EDXRF 700HS, Shimadzu Corporation Instrumentos Analíticos, Divisão Livre de Kyoto, Japão). Para isso, as cascas foram limpas com auxílio de escova branca de cerda macia

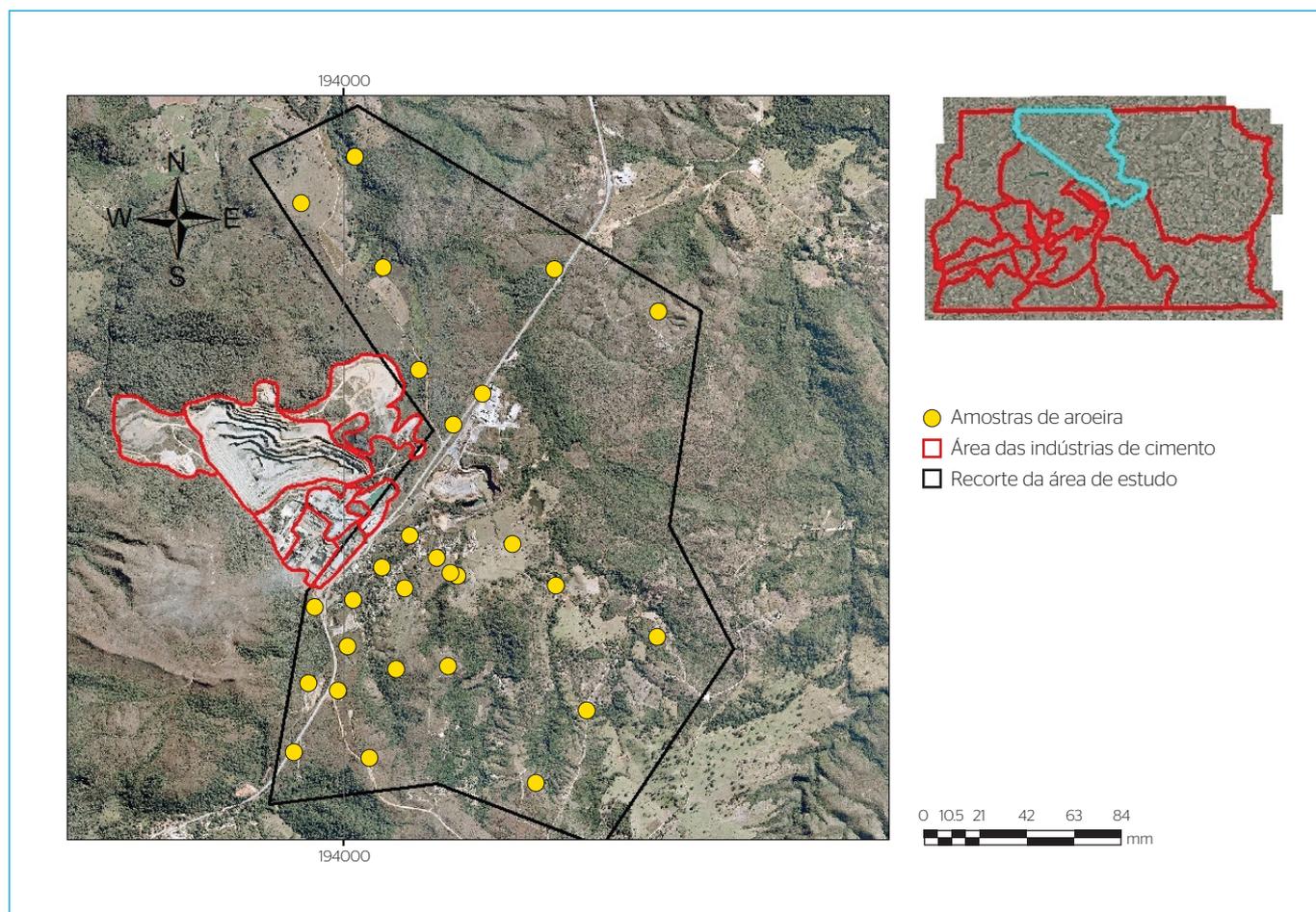


Figura 1 – Área de estudo com os pontos de amostragem.

para retirar impurezas (fungos, poeira e excesso de materiais), entretanto, não foram lavadas para não retirar o acúmulo de materiais. A etapa seguinte consistiu na trituração das amostras com o auxílio de liquidificador com hastes de titânio, para evitar contaminação por metais. Em seguida foi realizada a peneiração para homogeneizar as partículas e preparar pastilhas com 0,500 g de pó de casca de aroeira e 2,5 g de base de ácido bórico (H_3BO_3 p.a.). Ao fim desses procedimentos laboratoriais, as amostras foram descansadas pelo período de 24 horas em dessecador contendo sílica gel, para posterior análise no espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF).

Foram realizadas duas leituras para cada pastilha de casca de árvore em uma superfície de 10 mm de diâmetro, seguida da leitura do material de referência. Os elementos analisados foram V, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ni, Pb, Ca, Sr e Ba. As medidas de intensidade foram convertidas em concentração ($\mu g \cdot g^{-1}$) pela calibração de parâmetros fundamentais e análise dos padrões NIST Peach Leaves (National Institute of Standards, Gaithersburg, MD, USA) (CARNEIRO *et al.*, 2011).

RESULTADOS

Os dados obtidos não apresentaram distribuição normal, estabelecidos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Assim, aplicou-se o teste não paramétrico Wilcoxon, no qual os elementos químicos Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Al, S e Ba apresentaram valores estatisticamente diferentes na região de estudo, em comparação com a área controle, considerando um $p > 0,05$ (Tabela 1).

O teste da análise dos componentes principais classificou a amostra em três fatores. No fator 1 foram agrupados os elementos Mn, Fe, Zn, Al, S e Ba. No fator 2, os elementos Cu, P, Ca e Sr. E no fator 3, e os elementos Mg e K. O primeiro fator contou com 36,6% da variabilidade total. O segundo fator representou 18,2% e o terceiro, 9%. Ao final, somou-se 63,8% da variabilidade dos dados sendo explicada por esses três fatores (Tabela 2). Vale ressaltar que esses elementos presentes nos três fatores são os principais constituintes da matriz de constituição do cimento. Lembrando que na região em estudo possui duas fábricas de cimento.

Quanto à análise espacial dos elementos, viu-se que as concentrações dos elementos químicos Fe, Ca, Cu, Al, P, S, Sr, Zn e Ba

Tabela 1 - Concentrações de elementos químicos.

Elemento	Área de estudo			Reserva do IBGE			Teste Wilcoxon
	Média±DP	Mediana	Mín./Máx.	Média±DP	Mediana	Mín./Máx.	Valor p
Mn	57±50	47	0±290	14±12	9	0±42	0,01*
Fe	1.936±1.626	1.582	46±7.793	198±63	190	77±312	<0,001*
Cu	4±0,6	3	2±6	3±0,3	3	3±4	0,04*
Zn	9±2	9	4±18	6±0,7	6	4±7	0,002*
Rb	13±6	12	2±35	13±5	11	6±27	0,75
Na	15±5	16	0±28	20±3	20	13±29	0,001*
Mg	4.565±1.528	4.620	2.100±8.940	4.829±527	4.720	4.070±6.280	0,71
Al	761±590	625	69±2.986	120±20	121	73±157	<0,001*
P	1.287±283	1.290	600±1.770	1.033±288	980	630±1.530	0,15
S	1.062±356	1.000	390±1.930	446±29	440	400±500	0,004*
Cl	145±112	111	0±651	142±55	167	58±220	0,71
K	1.570±825	1.440	560±4.410	1.820±503	1.595	1.260±3.110	0,44
Ca	38.764±10.910	38.420	18.590±72.030	32.090±3.940	30.515	26.339±37.650	0,19
Sr	195±80	193	51±485	210±44	193	147±285	0,60
Ba	269±176	226	7±791	50±29	36	11±113	0,001*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; DP: desvio padrão; *p<0,05.

Tabela 2 - Fatores obtidos na extração de componentes principais.

Elementos	Fatores		
	1	2	3
Mn	0,724		
Fe	0,910		
Cu		0,598	
Zn	0,801		
Rb			
Na			
Mg			0,766
Al	0,910		
P		0,810	
S	0,732		
Cl			
K			0,846
Ca		0,880	
Sr		0,719	
Ba	0,810		
Autovalores	5,498	2,738	1,361
Variância total	36,655	18,255	9,073

apresentaram variação nos pontos amostrados na região de estudo, sendo que os altos valores foram observados nas proximidade da fábrica de cimento. Outro fato que pode ser observado é que os elementos químicos Fe, Cu, Zn, Al, S e Ba, que apresentaram valores estatisticamente diferentes na região de estudo em comparação com a área controle, também apresentaram altos valores próximo às fontes emissoras, área de extração de calcário para produção de cimento e onde passa tráfego intenso de veículos pesados para transportar os produtos que são produzidos (Figuras 2 a 4).

DISCUSSÃO

Os nutrientes absorvidos pelas árvores a partir do solo poderiam ser transportados para a casca. No entanto, conforme Campos e Freitas-Silva (2001), o mapa geológico da região estudada mostra que as rochas e os solos que podem estar fornecendo os elementos químicos para as árvores encontram-se restritos à área da mineradora. A região com maior valor anômalo está localizado sobre rochas psamo pelíticas que devem ter valores baixos desses elementos. Dessa forma, evidencia-se que os altos valores de elementos encontrados nas cascas não seriam por causa dos elementos presentes no solo. Mesmo assim, seria interessante que futuros estudos levassem em consideração as análises laboratoriais do solo para confirmar a evidência identificada.

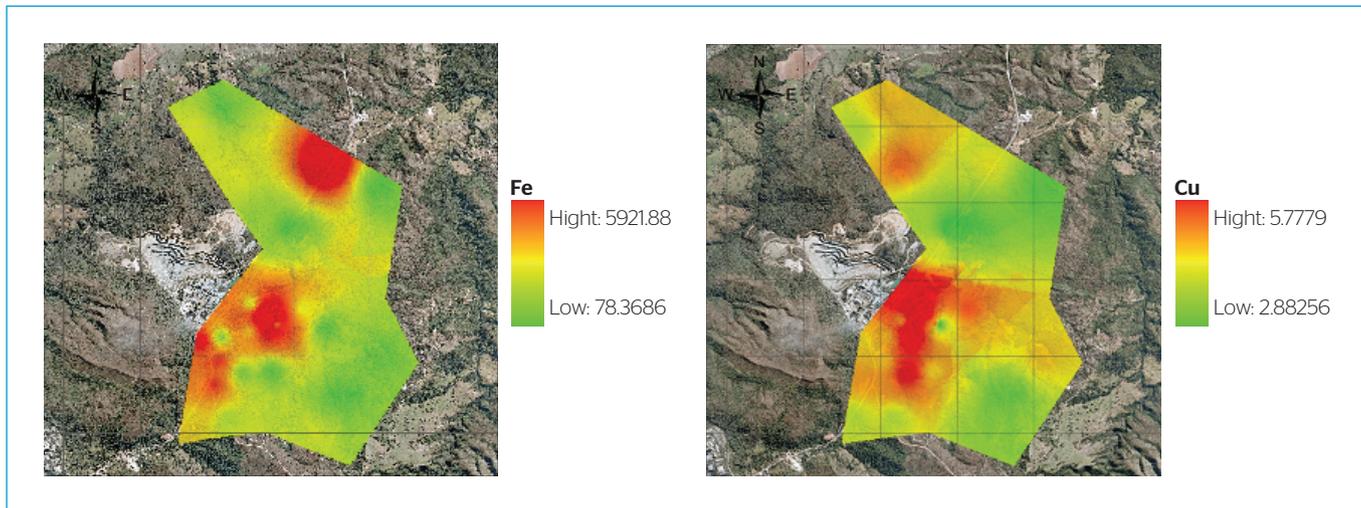


Figura 2 - Mapa da distribuição espacial do Fe e Cu.

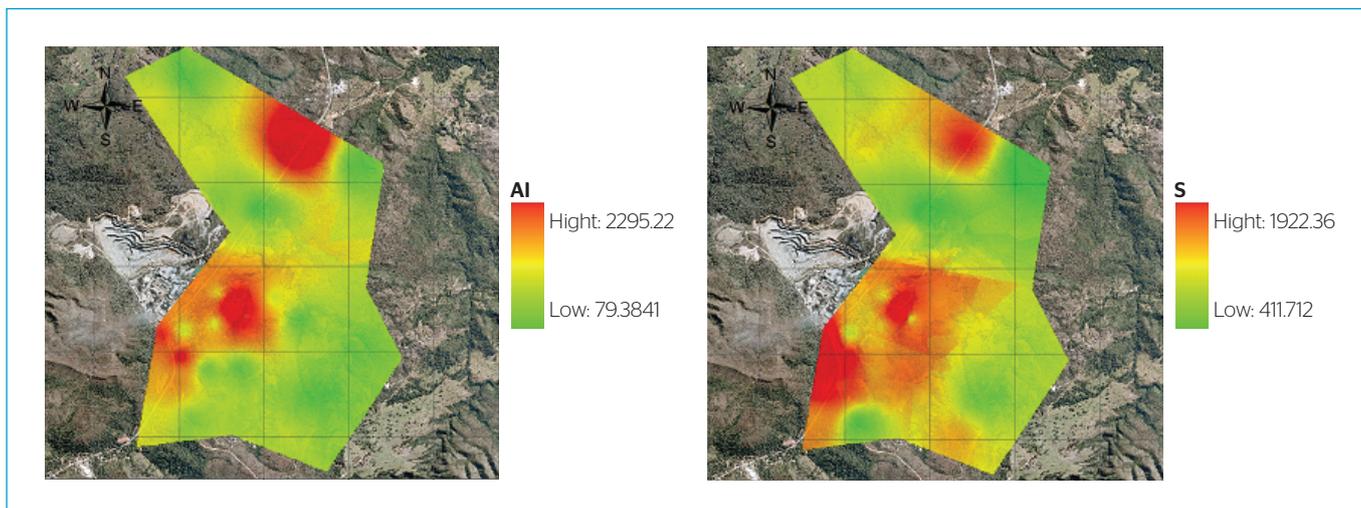


Figura 3 - Mapa da distribuição espacial do Al e S.

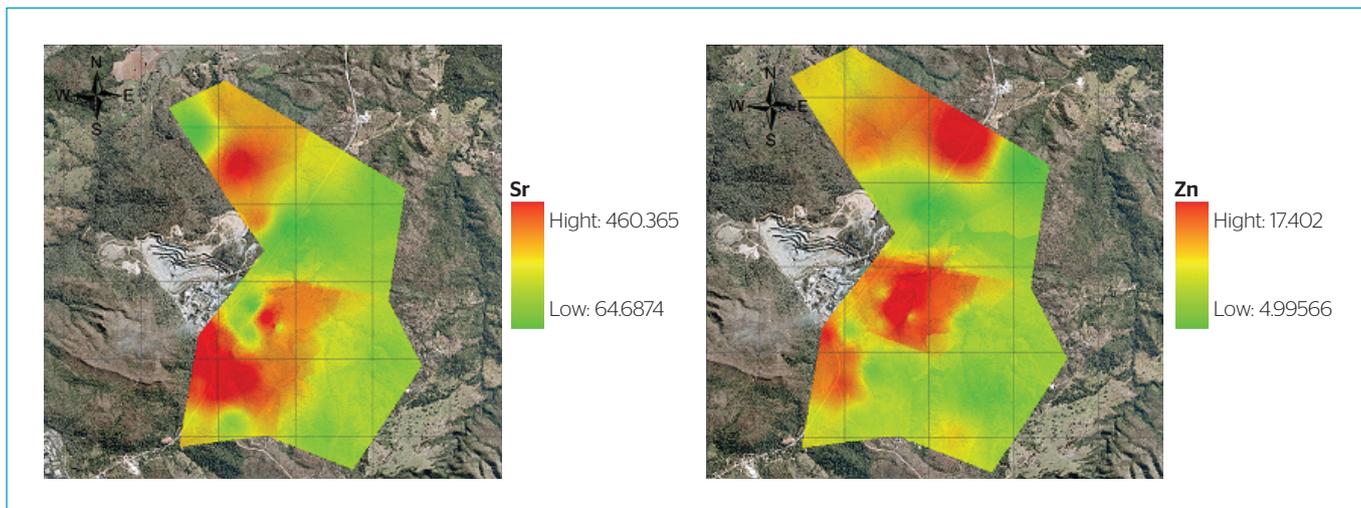


Figura 4 - Mapa da distribuição espacial do Sr e Zn.

Seria pertinente também que os próximos estudos investigassem a relação temporal da presença dos elementos nas cascas das árvores, juntamente com uma associação das variáveis climáticas. Conforme o estudo de Réquia e Abreu (2011), a região do Distrito Federal possui características bem definidas na seca e nos períodos de chuva, o que propicia uma variação significativa na concentração de poluentes atmosféricos. Por exemplo, as maiores concentrações de poluentes são identificadas no período seco.

Os elementos Zn, Fe, Al e S, encontrados no fator 1, e Mg e K, encontrados no fator 3, também são presentes nas propriedades do cimento, além dos constituintes principais: CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ (SANTI, 1999). De acordo com Maringolo (2001), a matéria-prima responde por aproximadamente 80% da entrada de zinco na fabricação do cimento, porém o uso de resíduos no coprocessamento faz esse valor ser multiplicado por quatro. Isso decorre principalmente da queima de pneus, cujos teores atingem de 1,2 a 2,6% desse elemento.

O Fe está relacionado com a poeira e ressuspensão do material particulado. Ele tanto está presente na composição química da terra como pode ser gerado no desgaste de peças metálicas dos veículos (MOREIRA, 2010). O S é componente do diesel, 16% do S encontrado na atmosfera é proveniente do escapamento veicular (MALAVOLTA, 2006). O Ba, também presente no fator 1, é um dos marcadores das emissões veiculares, entretanto, também está presente no processo da queima de combustível para produção de cimento (MARTINS, 2009). O elemento Ca, presente no fator 2, que é um dos composto do calcário, é uma das bases para produção do cimento e também pode ser emitido por fontes veiculares (MONACI *et al.*, 2000).

Špicková *et al.* (2008) mostra que a grande ocorrência de Sr pode estar relacionada às atividades de mineração, indicando riqueza desse elemento em rochas locais, cujas características biogeoquímicas são muito similares ao cálcio, sendo com frequência associado a esse elemento e enriquecido em rochas alcalinas, especialmente nos carbonáticos. Ainda de acordo com Špicková *et al.* (2008), o fluxo de Sr e de outros elementos como Mn, Fe e Al é afetado pela atividade da mina, e a boa correlação entre ele e os outros elementos revela a contribuição da poeira relacionada à atividade de mineração na composição química da precipitação. Recentemente, Bujokas (2008) estudou a precipitação de uma área pertencente a minerado da região metropolitana no Paraná, onde realizou três campanhas em estações diferentes, outono, inverno e primavera, e os elementos Zn, Ba e Sr apresentaram na terceira campanha em 80% das concentrações.

Dos 11 elementos distribuídos pelos três fatores com extração de componentes principais, 6 deles demonstraram variabilidade espacial (Fe, Cu, Al, S, Sr e Zn), distribuídos pelos dois fatores

principais (1 e 2). Assim, têm-se um indicativo de que tais emissões estariam relacionadas às atividades de extração de calcário para produção de cimento. Santi (1999) descreve os elementos que estão presentes na matriz do cimento (CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃), podendo ser observada neste trabalho a presença dos elementos Fe, Ca, Cu, K, Mg, S, Sr, Zn, Al, que demonstraram variabilidade espacial, com altos valores próximos à área de extração de calcário e produção de cimento, a exemplo cita-se Ca e Mg. Entretanto, alguns desses elementos (Fe, Ca, Cu, Zn e Ba) também são descritos na literatura como marcadores de emissões veiculares (MONACI *et al.*, 2000; Martins, 2009 *apud* BOHM *et al.*, 1998; EL-HAZAN *et al.*, 2002; FUGA *et al.*, 2008; SCHELLE *et al.*, 2008; PERELMAN *et al.*, 2006; SILVA, 2007).

Ressalta-se, ainda, que foi observada uma grande concentração de S nas proximidades da rodovia que passa em frente à fábrica de cimento, sugerindo que esse elemento pode estar relacionado com as emissões provenientes dos veículos pesados (caminhões) que trafegam na área para transportar os materiais gerados nas empresas produtoras de cimento.

Outros estudos que utilizaram a análise espacial do biomonitoramento como indicador de poluição atmosférica, mas com outros tipos de árvores, também encontraram resultados que demonstraram a viabilidade do método. Além do Brasil (ALMEIDA *et al.*, 2012; KÄFFER *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2012), esses resultados foram encontrados em áreas de estudo da Espanha (ACHOTEGUI-CASTELLS *et al.*, 2013), da Itália (PAOLI *et al.*, 2012) e da Índia (THAMBAVANI & PRATHIPA, 2012), da Costa Rica (BUSTAMANTE *et al.*, 2013).

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a utilização de casca de árvore indicou a presença de elementos químicos na região avaliada. O biomonitoramento associado às técnicas de geoprocessamento gerou a possibilidade de verificar a distribuição espacial dos elementos químicos Fe, Cu, Zn, Na, Al, S e Ba emitidos na região. No entanto, infere-se que os elementos encontrados nas cascas das árvores são oriundos do processo de poluição atmosférica, gerados principalmente pela fábrica de cimento e pelo tráfego intenso de veículos.

O método utilizado neste estudo pode ser considerado adequado para ser aplicado em estudos sobre os impactos ambientais, além de ser uma alternativa de monitoramento abrangente, precisa, de baixo custo, de fácil manuseio e implantação. Neste contexto, a abordagem utilizada neste estudo pode ser de grande utilidade para a análise ambiental em zonas com emissões aéreas de poluentes e que não possuem uma rede de monitoramento convencional.

REFERÊNCIAS

- ACHOTEGUI-CASTELLS, A.; SARDANS, J.; RIBAS, À.; PEÑUELAS, J. (2013) Identifying the origin of atmospheric inputs of trace elements in the Prades Mountains (Catalonia) with bryophytes, lichens, and soil monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 185, n. 1, p. 615-629.
- AGRIOS, G.M. (1998) Plant pathology. 3 ed. London: Academic Press. 560 p.
- ALMEIDA, A.E.; BAGGIO, A.; SOARES, J.F.; ROMANO, M. (2012) Comparação dos níveis de poluição atmosférica entre o campus da Unicamp e a região central da cidade de Campinas. *Revista Ciências do Ambiente On-line*, v. 8, n. 1, p. 65-70.
- ALVES, E.S.; GIUSTI, P.M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P.H.N.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D.J.A (2001). Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 24, n. 4, s. O, p. 561-566.
- ARNDT, U. & SCHWEIGER, B. (1991) The use of bioindicators for environmental monitoring in tropical and subtropical countries. In: ELLENBERG, H. *Biological monitoring signals from the environment*. Vieweg, Braunschweig, Alemanha. p.199-298.
- BENNET, J.P. & BUCHEN, M.J. (1995) Bioleff: three data bases on air pollution effects on vegetation. *Environmental Pollution*, n. 88, p. 262-265.
- BÖHM, P.; WOLTERBEEK, H.; VERBURG, T.; MUSILEK, L. (1998) The use of tree bark for environmental pollution monitoring in the Czech Republic. *Environmental Pollution*, v. 102, n. 2-3, p. 243-250.
- BUJOKAS, W. (2008). Influência da poeira de fábrica de cimento nas características químicas da precipitação e no crescimento nos teores de clorofila e na nutrição de *Schinusterebinthifolius*raddi (anacardiaceae). 98 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Paraná.
- BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F.; NESSIMIAN, J.L. (2003) Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 19, n. 2, p. 465-473.
- BUSSOTI, F. & FERRETI, M. (1998). Air pollution, forest condition and forest decline in Southern Europe: an overview. *Environmental Pollution*, v. 101, n. 49.
- BUSTAMANTE, E.N.; MONGE-NÁJERA, J.; MÉNDEZ-ESTRADA, V.H. (2013) Use of a Geographic Information System and lichens to map air pollution in a tropical city : San José, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, v. 61, n. 2, p. 557-563.
- CAMPOS, J.E.G & FREITAS -SILVA, F.H. (2001) Geologia, hidrogeologia, solos e geomorfologia da Bacia do lago Paranoá. In: FONSECA, F.O. (Org.) *Olhares sobre o Lago Paranoá*. Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. p. 55.
- CARMINITTI, L. (2008) *Estabelecimento do potencial de plantas no monitoramento de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) presentes na atmosfera urbana de São Paulo, SP*. 73 p. Dissertação (Mestrado Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente, São Paulo.
- CARNEIRO, M.F.H.; RIBEIRO, F.Q.; FERNANDES-FILHO, F.N.; LOBO, D.J.A.; BARBOSA JR, F.; RHODEN, C.R. *et al.* (2011) Pollen abortion rates, nitrogen dioxide by passive diffusive tubes and bioaccumulation in tree barks are effective in the characterization of air pollution. *Environmental and Experimental Botany*, v. 72, n. 2, p. 272-277.
- CARVALHO, J.C.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO, M.T.S. (2006) *Processos erosivos no centro-oeste brasileiro*. Brasília: Universidade de Brasília. 464 p.
- EL-HAZAN, T.; AL-OMARI, H.; JIRIES, A.; AL-NASIR, F. (2002) Cypress tree (*Cupressus semervirens* L.) bark as na indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman city, Jordan. *Environment International*, v. 28, n. 6, p. 513-519.
- FERREIRA A.B. (2009) *Avaliação do risco humano a poluentes atmosféricos por meio de biomonitoramento passivo: um estudo de caso em São Mateus do Sul, Paraná*. 90 p. Tese (Doutorado em Patologia) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FUGA, A.; SAIKI, M.; MARCELLI, M.P.; SALDIVA, P.H. (2008) Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environmental Pollution*, v. 151, n. 2, p. 334-340.
- GRODZINSKA, K. (1982) Monitoring of air pollutants by mosses and tree bark. In: STEUBING, L.; JÄGER, H.J. *Monitoring of air pollutants by plants: methods and problems*. The Hague, London. p. 33-42.
- HEGGESTAD, H.E. (1991) Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel -B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. *Environmental Pollution*, v. 74, n. 4, p. 264-291.
- IBRAM - INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL. (2008) *Relatório do Monitoramento da Qualidade do ar no Distrito Federal*. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/images/institucional/qualidade/q2008.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2010.
- JOHNSON R.A. & WICHERN, D.W. (1992) *Applied multivariate statistical analysis*. 3 ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall International Editions. 516 p.
- KÄFFER, M.I.; LEMOS, A.T.; APEL, M.A.; ROCHA, J.V.; MARTINS, S.M.; VARGAS, V.M. (2012). Use of bioindicators to evaluate air quality and genotoxic compounds in an urban environment in Southern Brazil. *Environmental Pollution*, v. 163, p. 24-31.
- KHAVANIN ZADEH, R.; VEROUSTRAETE, F.; BUYTAERT, J.A.; DIRCKX, J.; SAMSON, R. (2013) Assessing urban habitat quality using spectral characteristics of *Tilia* leaves. *Environmental Pollution*, v. 178, p. 7-14.
- MAIOLI, O.L. (2008) Parâmetros bioquímicos foliares das espécies *Lucania tomentosa* (BETH) e *Bauhinia forficata* para avaliação da qualidade do ar. *Química Nova*, v. 13, n. 8, p. 1925-1932.

- MALAVOLTA, E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres. 639 p.
- MARINGOLO, V. (2001) *Clinquer co-processado: produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento*. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MARTINS, A.P.G. (2009) *Cascas de árvores como biomonitoradores da poluição atmosférica de origem veicular em parques urbanos da cidade de São Paulo*. 110 p. Tese (Doutorado em Patologia) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MONACI, F.; MONI, F.; LANCIOTTI, E.; GRECHI, D.; BARGAGLI, R. (2000) Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead. *Environmental Pollution*, v. 107, n. 3, p. 321-327.
- MOREIRA, T.C.L. (2010) *Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- PAOLI, L.; MUNZI, S.; FIORINI, E.; GAGGI, C.; LOPPI, S. (2013) Influence of angular exposure and proximity to vehicular traffic on the diversity of epiphytic lichens and the bioaccumulation of traffic-related elements. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 20, n. 1, p. 250-259.
- PERELMAN, P.E.; CASTRO, M.A.; NAVARRO, L.E.; RECHI, M.; ARRIAGA, M.; LÓPEZ, S. et al. (2006) Análisis multielemental de cortezas de fresno (*Fraxinus pennsylvanica*) a lo largo de un gradiente urbano-periurbano em la metrópolis de Buenos Aires. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales*, v. 8, n. 2, p. 231-236.
- PRADO FILHO, J.F. (1992) Plantas que detectam poluição - elas são sensíveis à contaminação do ar. *Ciência Hoje*, v. 14, n. 84, p. 18-19.
- PRADO FILHO, J.F. (1993) Uso de bioindicadores para monitoramento do ar. *Revista Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 57-64.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2010). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Áustria. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 29 jul. 2011.
- RÉQUIA, W.J.J & ABREU L.M. (2011) Poluição atmosférica e a saúde de crianças e idosos no Distrito Federal: utilização do método de correlação com time delay. *Hygeia*, v. 7, n. 13, p. 94-107.
- SANTI, A.M.M.; SEVÁ FILHO, A.O. (1999) Resíduos renováveis e perigosos como combustíveis industriais. Estudo sobre a difícil sustentação ambiental da fabricação de cimento no Brasil, anos 1990. In: *Anais... VIII Congresso Brasileiro de Energia*. Rio de Janeiro: COPPE.
- SANTOS, O.M.; GUEDES, M.L.S.; ARAÚJO, C.V.M. (2012) Potencial de espécies vegetais nativas do pólo industrial de Camaçari (BA, Brasil) como acumuladoras de elementos químicos contidos na poluição atmosférica. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, v. 7, n. 1, p. 15-20.
- SCHELLE, E.; RAWLINS, B.G.; LARK, R.M.; WEBSTER, R.; STATON, I.; MCLEOD, C.W. (2008) Mapping aerial metal deposition in metropolitan areas from tree bark: a case study in Sheffield, England. *Environmental Pollution*, v. 155, n. 1, p. 164-173.
- SILVA, M.F. (2007) *Emissão de metais por veículos automotores e seus efeitos à saúde pública*. 156 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ŠPICKOVÁ, J.; DOBESOVÁ, I.; VACH, M.; SKRIVAN, P.; MIHALJEVIC, M.; BURIAN, M. (2008) The influence of the limestone-quarry Certovy schody (Czech Republic) on the precipitation chemistry and atmospheric deposition. *Chemie der Erde - Geochemistry*, v. 68, n. 1, p. 105-115.
- THAMBAVANI, S. & PRATHIPA, V. (2012) Bio monitoring of air pollution around urban and industrial sites. *Journal of Research in Biology*, v. 2, n. 1, p. 7-14.