



Ciclagem de metais pesados na serapilheira de uma floresta urbana no Rio de Janeiro

**Rogério Ribeiro de Oliveira¹, Carmem Lúcia Porto da Silveira²,
Alessandra Costa Magalhães³, Rodrigo Penna Firme⁴**

Depto. de Geografia - PUC-Rio - CEP 22453-900. email: rro@geo.puc-rio.br¹

Depto. de Química/PUC-Rio²

Acadêmica do curso de Geografia - PUC-Rio³

Mestrando MCAF/UFRRJ⁴

Recebido em 15 de Setembro de 2003

Resumo

A produção e o estoque de serapilheira no Maciço da Pedra Branca (RJ) foram monitorados por um ano. A serapilheira produzida foi 7.533 kg.ha⁻¹.ano⁻¹; a estocada sobre o solo foi 7.364 kg.ha⁻¹. Na primeira, a concentração dos metais variou de 0,08 mg.kg⁻¹ para Cd a 35,2 mg.kg⁻¹ para Zn e na estocada sobre o solo, a concentração foi em média 1,6 vezes maior. Os tempos de renovação do estoque destes metais na serapilheira variaram de 0,2 ano para Cr a 1,9 anos para Cd e Pb. Os resultados encontrados foram superiores a estudos semelhantes, sendo atribuídos à proximidade da metrópole circundante.

Palavras-chaves: serapilheira, metais pesados, Maciço da Pedra Branca.

Turnover of heavy metals in the litter of a urban forest at Rio de Janeiro

Abstract

The total litter production and its stock on the soil in the Maciço da Pedra Branca (RJ) were monitored for one year. The forest litter produced was 7,533 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ and the litter layer was 7,300 kg.ha⁻¹. In the former, the heavy metal concentration ranged from 0.08 mg.kg⁻¹ for Cd to 35.2 mg.kg⁻¹ for Zn. In the litter layer, the concentration was 1.3 times higher, on average. The renewal rates for the stock of these metals in the litter layer varied from 0.2 year for Cr to 1.9 years for Cd and Pb. The results found were higher than those found in similar studies, due to the proximity to the metropolis of Rio de Janeiro.

Key words: litter fall, heavy metals, Maciço da Pedra Branca

Introdução

As florestas estão entre os mais efetivos depósitos de todas as terras emersas, no que diz respeito aos constituintes do ar atmosférico. Com relação aos poluentes atmosféricos, existem evidências que sua

entrada e circulação nestes ecossistemas geralmente se dão por caminhos e processos semelhantes aos das entradas atmosféricas dos nutrientes, seja por deposição úmida ou seca (Mayer & Lindberg, 1985).

Acima de um certo nível de poluição, os poluentes podem ameaçar o ecossistema em sua estrutura e

funcionamento, afetando diversos processos relacionados à ciclagem de nutrientes (Delitti, 1995). Aportes baixos de poluentes por longos períodos de tempo podem levar a uma acumulação crescente, considerando-se que a biomassa multiestruturada das florestas apresenta alta capacidade de filtrar os aerossóis atmosféricos, depositados principalmente pela chuva ácida. Assim, a maioria dos ecossistemas florestais constituem grandes acumuladores de poluentes (Zoetl, 1985). Vitousek (1982) considera que estes efeitos negativos possam ser mais severos em florestas tropicais, devido à eficiência na ciclagem de nutrientes.

Entre os poluentes que atingem os ecossistemas florestais, os metais pesados têm um papel de destaque, função de sua tendência à acumulação. Designam-se como metais pesados (ou ainda, metais-traço ou micro elementos) o grupo de elementos que ocorre em sistemas naturais em pequenas concentrações e apresentam densidade igual ou acima de 5 g.cm^{-3} (Adriano, 1986). O ciclo atmosférico de um grande número de metais pesados é fortemente influenciado por atividades antropogênicas, como é o caso de Cd, Zn, Pb, Hg, Cu e As, os quais são emitidos em grandes quantidades por processos de refino de metais e combustão (carvão, óleo combustível) ou por contaminação por fertilizantes, pesticidas, mineração, fundição ou resíduos urbanos, podendo inclusive ocorrer sob formas voláteis (Nriagu & Pacyna, 1988). Estes metais-traço são altamente tóxicos em baixas concentrações (Gough *et al.*, 1979), além de serem conhecidos por estarem se acumulando em diversos compartimentos dos ecossistemas. O solo possui uma grande capacidade de retenção de metais pesados, porém, em função de suas características, podendo ser facilmente lixiviados, penetrando na cadeia alimentar dos organismos vivos ou colocando em risco a qualidade dos aquíferos (Casartelli & Miekeley, 2003).

Dentre os estudos reportados para o Brasil sobre a influência da poluição sobre ecossistemas florestais, destaca-se o de Struffaldi-De Vuono & Marzola (1984), que encontraram um retardo significativo na decomposição da serapilheira nas cercanias de uma siderúrgica nas proximidades da cidade de São Paulo (Struffaldi-De Vuono *et al.*, 1984). A situação crítica da Mata Atlântica em Cubatão, com a deposi-

ção acentuada de poluentes da indústria petroquímica foi estudada, entre outros, por Domingos *et al.* (1997 e 2000) e Leitão Filho *et al.* (1993), sendo evidenciado um patamar de grave desequilíbrio ecológico, com a ocorrência de uma redução significativa do número de indivíduos jovens e mortalidade acentuada nos adultos.

O Maciço da Tijuca, no Rio de Janeiro, em função de se tratar de uma formação florestal urbana, também vem apresentando problemas decorrentes da deposição de poluentes. Em termos de aportes de poluentes à floresta que recobre o maciço, destaca-se a acidez da chuva, cujo pH pode chegar a 3,2 (Silva Filho, 1985). A contaminação da serapilheira do Parque Nacional da Tijuca por chumbo, oriundo da queima de combustíveis fósseis, foi detectada por Oliveira & Lacerda (1988).

O presente trabalho objetiva avaliar a ciclagem de metais pesados no Maciço da Pedra Branca, localizado na zona oeste do Rio de Janeiro, por meio da avaliação da ciclagem da serapilheira, incluindo a sua produção, estocagem sobre o solo e o correspondente aporte de metais.

Materiais e Métodos

O local de estudos foi uma área de encostas íngremes, com declividade média de 40° , na vertente sudeste do Pico Itaiaci, na Floresta do Camorim, englobada pelo Parque Estadual da Pedra Branca, localizado na zona oeste do município do Rio de Janeiro. A pluviosidade é de 1.187 mm anuais, ocorrendo deficiência hídrica episódica nos meses de julho a outubro. Na área estudada, profundidade média do solo é de 50 cm e, com relação ao conteúdo de nutrientes, podem ser classificados como oligotróficos. A estrutura da vegetação se caracteriza por uma área basal relativamente baixa, de $35,8 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$. A área de estudos localiza-se entre os 200 e 300 metros de altitude, dentro de uma área em forma de anfiteatro que constitui uma das cabeceiras do Rio Caçambe (Firme *et al.*, 2001).

A serapilheira da área de estudos foi monitorada pelo período de um ano (de agosto de 2000 a julho de 2001) em duas situações: a serapilheira recém caída e a acumulada sobre a superfície do solo. A primeira foi amostrada com o uso de coletores de resíduos

florestais construídos a partir de caixotes de madeira com 50 cm de lado, com fundo de tela de polietileno com malha de 2 mm. Cada um foi afixado ao solo por meio de estacas ao solo, sendo utilizados 20 coletores espalhados de forma aleatória pela área amostral. O material decíduo recolhido pelos coletores foi retirado em intervalos quinzenais e, em laboratório, o mesmo foi transferido para estufa a 60° C, até apresentar peso constante.

A biomassa de serapilheira acumulada sobre o solo foi obtida em duas coletas (abril e novembro), com o uso de uma moldura quadrada de 50 cm de lado. Foram obtidas 20 amostras em cada coleta, posicionadas aleatoriamente. Para a estimativa da taxa de decomposição da serapilheira (K_L), foi considerada a produção anual de serapilheira e a média anual da serapilheira estocada sobre o solo, como descrito na seguinte equação: $K_L = \text{produção anual da serapilheira} / \text{massa da camada de serapilheira acumulada}$. Para o cálculo da taxa de renovação dos metais pesados, foi considerada a média anual do aporte de cada metal estudado através da serapilheira produzida e a média anual da massa dos mesmos presente na serapilheira estocada sobre o solo ($K_E = \text{aporte do metal-traço pela serapilheira produzida em um ano} / \text{massa do mesmo na serapilheira estocada sobre o solo}$). O tempo médio de renovação do estoque foi obtido pela expressão $1/K_L$, que pode ser convertido pelo número de dias (Poole, 1974).

Após as pesagens das amostras de serapilheira, foram separadas alíquotas que foram trituradas em moinho Willey e do pó obtido, foram feitas as análises químicas, que forneceram as concentrações de cromo (Cr), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn). As amostras foram decompostas com uma mistura de ácido nítrico e água peroxigenada (ambos os reagentes de qualidade suprapur) em tubos de polipropileno fechados e aquecidos durante uma noite em bloco digestor a cerca de 90 °C. As soluções resultantes, ou diluições destas, foram analisadas por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICPMS). Maiores detalhes da metodologia utilizada

foram publicados anteriormente (p.ex. Miekeley et al., 2001).

Resultados e Discussão

A produção de serapilheira na área estudada foi estimada em 7.533 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. A participação percentual da fração folhas foi de 63,6%, seguida da fração galhos, com 23,5%; dos elementos reprodutivos com 10,6% e dos resíduos, com 2,3%. A massa média de serapilheira estocada sobre o solo foi de 7.364 ± 90 kg.ha⁻¹.

Quanto ao tempo de renovação da serapilheira estocada no solo, o quociente de decomposição (K_L) calculado para a área de estudos foi de 1,02 anos e o tempo de renovação do estoque ($1/K_L$) foi de 0,98 ano, o que corresponde a 357 dias.

Com referência à contaminação da serapilheira por metais pesados, os mesmos foram encontrados em concentrações distintas em referência à época de coleta. As concentrações de metais na serapilheira produzida na área de estudos encontram-se na tabela 1. Em termos absolutos, a maior concentração foi a de zinco (35,17 mg.kg⁻¹) e a menor, de cádmio, com 0,08 mg.kg⁻¹. Observaram-se variações nas concentrações dos elementos ao longo do ano: Ni teve o valor mais constante, enquanto que Hg apresentou concentrações menos uniformes. De uma maneira geral, os valores de Ni, Pb e Zn encontram-se abaixo em relação aos reportados por Duarte e Pasqual (2000) em plantas coletadas em áreas peri-urbanas no estado de São Paulo. De acordo com Salisbury & Ross (1965, apud Strufaldi-De Vuono et al., 1984), dos metais analisados, a concentração de zinco ficou acima do valor aceito como normal em tecidos vegetais (20 mg.kg⁻¹). Já segundo Kabata-Pendias & Pendias (1984), este valor encontra-se na faixa esperada de normalidade (27 a 150 mg.kg⁻¹). Atribui-se este maior valor encontrado à presença de uma siderúrgica localizada no bairro de Curicica, a cerca de 2 km em linha reta do local de estudos.

Tabela 1. Concentração de metais pesados na serapilheira produzida da área de estudos no Maciço da Pedra Branca, RJ. Valores em mg.kg⁻¹ de massa seca.

Table 1. Concentration of heavy metals at the litter fall at Pedra Branca, RJ. Values in mg.kg⁻¹ of dry matter.

Mês	Cr	Hg	Cd	Pb	Ni	Zn
agosto	1,11	0,17	0,11	2,57	2,16	43,7
setembro	0,94	0,20	0,13	2,41	2,25	33,4
outubro	0,91	0,26	0,08	1,80	2,37	33,3
novembro	0,62	0,35	0,09	2,19	2,11	31,5
dezembro	0,94	0,08	0,09	2,59	1,74	35,7
janeiro	0,71	0,15	0,07	1,74	1,66	30,0
fevereiro	0,90	0,15	0,07	1,90	1,48	34,4
março	0,45	0,16	0,04	1,32	1,58	27,0
abril	1,29	0,15	0,03	1,36	1,94	22,8
maio	0,86	0,16	0,11	1,94	1,81	68,8
junho	0,63	0,12	0,04	1,27	1,64	22,0
julho	0,78	0,08	0,07	1,71	2,01	39,5
Média	0,84	0,17	0,08	1,90	1,90	35,2
DP	0,23	0,07	0,03	0,46	0,29	12,3
CV%	26,9	44,2	39,7	24,4	15,1	35,0

A Tabela 2 apresenta os dados de concentração de metais pesados na serapilheira estocada sobre o solo. Como também foi verificado para a serapilheira recém caída, a concentração mais elevada foi encontrada para zinco e a menor para o cádmio.

Tabela 2. Concentração de metais pesados na serapilheira estocada sobre o solo da área de estudos no Maciço da Pedra Branca, RJ. Valores em mg.kg⁻¹ de massa seca.

Table 2. Concentration of heavy metals at the litter layer at the study area at Pedra Branca Massive, RJ. Values in mg.kg⁻¹ of dry matter.

Mês	Cr	Hg	Cd	Pb	Ni	Zn
abril	2,34	0,14	0,14	3,83	2,67	47,7
novembro	1,39	0,25	0,16	3,47	2,76	44,2
Média	1,86	0,19	0,15	3,65	2,72	46,0
DP	0,48	0,06	0,01	0,18	0,04	1,74
CV%	25,5	28,2	6,7	4,9	1,7	3,8

A Tabela 3 apresenta os valores de concentração dos metais analisados comparando o valor médio deste metal na serapilheira recém-caída e na estocada sobre o solo, estabelecendo uma razão entre ambas. Esta razão representa, portanto, o fator de

enriquecimento entre a serapilheira acumulada sobre o solo e a recém caída. Valores maiores do que 1 significam que a serapilheira estocada sobre o solo está mais enriquecida de um determinado metal do que a recém caída. Valores menores do que 1 indicam o oposto e valores iguais mostram que a concentração de um dado elemento é idêntica nos dois compartimentos. Para todos os metais analisados, os fatores de enriquecimento foram superiores a 1, indicando serem mais reduzidas suas concentrações na serapilheira recém caída do que na acumulada sobre o solo. Os fatores de enriquecimento variaram de 1,1 para mercúrio a 2,2, para o cromo. Muito possivelmente isto ocorre por que a serapilheira estocada sobre o solo representa um ambiente acumulador, favorecendo, portanto, a retenção dos metais.

Tabela 3. Concentração, em mg.kg⁻¹, de metais pesados da serapilheira recém-caída (a), da serapilheira estocada sobre o solo (b) e fator de enriquecimento (a/b).

Table 3. Concentration, in mg.kg⁻¹, of heavy metals at the litter fall (a), the litter layer (b) and enrichment rate (c).

Metal	Serapilheira	valores
cromo	recém-caída (a)	0,84
	estocada (b)	1,86
	fator de enriquecimento (b/a)	2,2
mercúrio	recém-caída (a)	0,17
	estocada (b)	0,9
	fator de enriquecimento (b/a)	1,1
cádmio	recém-caída (a)	0,08
	estocada (b)	0,15
	fator de enriquecimento (b/a)	2,0
chumbo	recém-caída (a)	1,90
	estocada (b)	3,65
	fator de enriquecimento (b/a)	1,9
níquel	recém-caída (a)	1,90
	estocada (b)	2,72
	fator de enriquecimento (b/a)	1,4
zinco	recém-caída (a)	35,17
	estocada (b)	45,97
	fator de enriquecimento (b/a)	1,5

Acrescente-se a isto o fato de que a serapilheira acumulada sobre o solo representa um ambiente caracterizado pela presença de grande quantidade de ligantes (p.ex. COO⁻, -OH, -SH, -S-S-), principalmente onde esta se encontra mais fragmentada (humificada). Estes ligantes apresentam grande capacidade de adsorver e trocar íons dissolvidos na água, agindo como sítios de troca e fazendo com que o folheto atue como verdadeira superfície de troca iônica (Cleveland, 1988). É interessante observar que a seqüência dos fatores de enriquecimento (Hg < Ni < Zn < Pb < Cd < Cr) está em concordância formal com as esperadas propriedades físico-químicas desses elementos. A maior volatilidade de Hg poderia explicar a sua mais fácil dessorção, enquanto que a menor solubilidade de Cd e Pb na presença de sulfetos e a relativa insolubilidade de Cr³⁺ na forma de hidróxido (estado de oxidação provável neste ambiente) contribuiriam na retenção desses elementos.

Uma vez acumulados na serapilheira, é de se esperar que estes metais estejam sendo incorporados ao solo, e mais provavelmente à comunidade viva, via ciclagem direta, por meio da absorção das raízes superficiais (Stark & Jordan, 1978). De qualquer forma, isto está se dando em espaço de tempo superior à taxa de renovação do pacote da serapilheira, que é de 357 dias (Tabela 4).

A partir da concentração média dos metais na serapilheira produzida e na estocada sobre o solo, foi possível calcular a taxa de renovação ou de mineralização. Para tanto, foi calculada a massa dos metais presentes na serapilheira produzida e na estocada. Os resultados encontram-se na Tabela 4. O metal que apresentou um tempo de renovação mais rápido foi cromo (com 80 dias). Cádmio e chumbo foram os metais com renovação mais lenta (respectivamente 711 e 690 dias).

Tabela 4. Massa de metais pesados na serapilheira recém-caída, na serapilheira acumulada sobre o solo (em kg.ha⁻¹) e taxa de remineralização da serapilheira estocada sobre o solo (K_E = aporte anual do metal pela serapilheira produzida/estoque do metal na serapilheira acumulada).

Table 4. Weight of heavy metals at the litter fall, at the litter layer (mg.kg⁻¹) and remineralization rate of the litter layer (K_E = annual input of metal by the litter fall/stock of the metal at the litter layer).

Metal	massa na serapilheira recém-caída	massa na serapilheira acumulada	k _e (anos ⁻¹)	1/ k _e (anos)	1/ k _e (dias)
Cr	6,24	1,36	4,6	0,2	80
Hg	1,23	1,47	0,8	1,2	436
Cd	0,59	1,15	0,5	1,9	711
Pb	14,09	26,65	0,5	1,9	690
Ni	14,06	20,06	0,7	1,4	521
Zn	284,75	336,51	0,8	1,2	431

O mecanismo de renovação dos metais pesados na serapilheira parece ser mais lento para estes do que para os nutrientes. Embora não se disponham de dados relativos à ciclagem de nutrientes na área de estudos do Maciço da Pedra Branca, é possível se comparar os dados obtidos por Oliveira (1999) na Ilha Grande (litoral sul do Rio de Janeiro), em formação florestal climáxica. Neste estudo, onde a metodologia empregada foi a mesma do presente, o tempo para remineralização de N, P, K, Na, Ca e Mg foram respectivamente de 120, 343, 55, 99, 146 e 106 dias. Para o Maciço da Pedra Branca podem ser esperados resultados semelhantes, em função da relativa similaridade de ambientes. Assim, a faixa de dias reportada para a renovação do estoque destes nutrientes na serapilheira acumulada sobre o solo deve ser significativamente inferior ao tempo necessário para a remineralização dos metais pesados analisados no Maciço da Pedra Branca. Apesar desta diferença entre os tempos de reciclagem de nutrientes e poluentes, fica patente a incorporação dos metais analisados à ciclagem dos nutrientes do ecossistema florestal.

Em função da bioacumulação, os metais pesados possivelmente deverão permanecer no sistema por muito tempo, mesmo que ocorra o controle de suas

fontes de emissão. Caso isto não ocorra, pode-se pensar na intensificação das concentrações encontradas, levando a uma acumulação crescente, com resultantes imprevisíveis para a biota. Como sugeriram as evidências, os metais pesados apresentam velocidade de ciclagem consideravelmente mais lenta do que a dos nutrientes. Ou seja, a sua estocagem nos diversos compartimentos do ecossistema florestal (serapilheira, solo, vegetação, fauna, etc.) é mais lenta provavelmente em função de diferentes formas de metabolização destes poluentes pela biota.

Conclusões

A serapilheira produzida e a estocada sobre o solo no Maciço da Pedra Branca encontra-se com um conteúdo variável de metais pesados, depositados possivelmente por entradas atmosféricas oriundas da cidade do Rio de Janeiro. A concentração mais elevada foi para Zn e a menor para cromo, tanto na serapilheira recém-produzida como aquela estocada sobre o solo. A ciclagem destes metais no subsistema da serapilheira, à exceção do cromo, é lenta (maior que um ano) e evidências sugerem ser mais lenta do que a dos nutrientes, o que pode favorecer a sua acumulação e contaminação das cadeias alimentares do ecossistema.

Agradecimentos

Pelos comentários e sugestões, os autores são gratos ao prof. Norbert Miekeley do Depto. de Química da PUC-Rio e aos dois revisores anônimos deste periódico.

Referências Bibliográficas

ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. 1a ed. New York: Springer-Verlag. 1986. 533 p.

CASARTELLI, E.A. & MIEKELEY, N. 2003. **Determination of thorium and light rare-earth elements in soil water and its humic fraction by ICP-MS and on-line coupled size exclusion chromatography**. *Anal. Bioanal. Chem.*, Heidelberg, 2003. **In press**.

CLEVELÁRIO JR., J. Quantificação da massa e do reservatório de nutrientes na serapilheira da bacia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca e avaliação da sua participação na ciclagem de nutrientes. 1988. 152 f. **Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói.**

DELITTI, W.B.C. 1995. **Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres**. In: ESTEVES, F.A. (ed.) *Oecologia Brasiliensis*. Vol. 1: Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros. Rio de Janeiro: Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro 1995. p. 470 - 485.

DOMINGOS, M., LOPES, M.I.M.S. & STRUFALDI-DE VUONO, Y. Nutrient cycling disturbance in Atlantic Forest sites affected by air pollution coming from the industrial complex of Cubatão, Southeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, Brasília, V. 23, n. 1, p.77-85. 1997.

DOMINGOS, M., LOPES, SILVEIRA, M.I.M.. & STRUFFALDI-DE VUONO, Y. Nutrient cycling disturbance in Atlantic Forest sites affected by air pollution coming from the industrial complex of Cubatão, Southeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, Brasília, V.23, n.1, p.77-85, 2000.

DUARTE, R.P.S. & PASQUAL, A.. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. *Energia na Agricultura*, Botucatu, V.15, n.1, p. 46-58. 2000.

FIRME, R.P., VICENZ, R.S., MACEDO, G.V., SILVA, I.M. & OLIVEIRA, R.R. Estrutura da vegetação de um trecho de Mata Atlântica sobre solos rasos (Maciço da Pedra Branca, RJ). *Eugeniana*, Rio de Janeiro, V. 24 n. 1, p. 3-10. 2001.

GOUGH, L.P.; SCHACKLETTE, H.T. & CASE, A.A. 1979. **Element concentrations toxic to plants, animals and man**. Washington: U.S. Government Printing Office, 1979. 80 p.

- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. Florida: CRC Press. 1984. 315 p.
- LEITÃO FILHO, H. (org.) **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. Campinas: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1993. 184 p.
- MAYER, R. & LINDBERG, S.E. Deposition of heavy metals to forest ecosystems - their distribution and possible contribution to forest decline. In: T.D. LEKKAS (ed.) **International Conference of Heavy Metals in the Environment**. Athens: Werdarg Ed. 1985. p. 351-353.
- MIEKELEY, N., FORTES, L. M.C., SILVEIRA C. L P. & LIMA M. B. **Elemental anomalies in hair as an indicator for endocrinologic pathologies and deficiencies in the calcium and bone metabolism**. J. Trace Elem. Med. Biol., Berlin, V. 15, n. 1, p. 46-55. 2001.
- NRIAGU, J.O. & PACYNA, J.M. **Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals**. Nature, London, V. 333, p.134-139, 1998.
- OLIVEIRA, R.R. & LACERDA, L.D. **Contaminação por chumbo na serapilheira do Parque Nacional da Tijuca - RJ**. Acta Botanica Brasílica, Brasília, V. 1, n. 2, p.: 165-169. 1988.
- OLIVEIRA, R.R. 1999. **O rastro do homem na floresta: sustentabilidade e funcionalidade da Mata Atlântica sob manejo caçara**. 1999. 150 f. Tese (Doutorado em Geografia) Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- POOLE, R.W. **An introduction to quantitative ecology**. Toquio: Mac Graw-Hill., 1974. 532 p.
- SILVA FILHO, E.V. **Estudos de chuva ácida e entradas atmosféricas de Na, K, Mg, Ca e Cl na Bacia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, RJ**. 1985. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- STARK, N. & C.F. JORDAN. Nutrient retention by root mass of an amazonian rain forest. **Ecology**, Washigton, V. 59, p.: 437-439, 1978.
- STRUFALDI-DE VUONO, Y., MARTIN-SILVEIRA. M.I. & DOMINGOS, M. Poluição atmosférica e elementos tóxicos na Reserva Biológica do Instituto de Botânica, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, Brasília, V.7, n. 2, p.: 149-156, 1984.
- STRUFFALDI-DE VUONO, Y. & M.C. MARZOLA. 1984. Decomposição da serapilheira na floresta de Reserva Biológica de Paraniapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão. Sp. **Hoehnea**, São Paulo, V. 6, p.12 - 19, 1989.
- VITOUSEK, P. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. **American Naturalist**, Chicago, V. 119, n. 4, p: 553-572, 1982.
- ZOETTL, H.W. 1985. Role of heavy metals in forest ecosystems. In: T.D. LEKKAS (ed.) **International conference of heavy metals in the environment**. Athens. p 8-15.