

Estudo da interação chuva/particulado atmosférico em São José dos Campos, SP

Maria Cristina C. Forti
e Lycia M. Moreira Nordemann
Instituto de Pesquisas Espaciais e
Secretaria da Ciência e Tecnologia (SP)

Abstract. *A study of the rainwater/atmospheric particulate interaction in São José dos Campos.* Atmospheric particulate matter samples were collected in São José dos Campos and submitted to four different treatments. These samples were put into four different pH aqueous solutions to verify the pH influence on the solubilization of the analysed elements. Also, rainwater samples were collected and analysed during the same period. Na, K, Mg, Ca and Cl were analysed in these samples. The results were discussed in function of the total amount of particulate matter, concentrations of the elements and the pluviometry of the sampling period. The results have shown that rainwater is a precipitation and solubilization agent for the suspended particulate matter. It was verified that the solubilization of the analysed elements in the particulate matter is not influenced by low pH values.

Resumo. Amostras de particulado atmosférico foram coletadas em São José dos Campos e submetidas a quatro tratamentos diferentes com a finalidade de verificar a solubilização dos íons em função da acidez. Nestas soluções foram então dosados Na, Ca, K, Mg e Cl. Os resultados foram discutidos em função dos teores iônicos determinados, da quantidade de material particulado total e da pluviometria do período de coleta. Também foram coletadas e analisadas amostras de água de chuva, no mesmo local e durante o mesmo período de amostragem do material particulado. Os dados obtidos mostram a chuva como agente de precipitação do particulado atmosférico, assim como de solubilização dos íons. No entanto, verificou-se que uma maior acidez da água não implica uma maior capacidade de solubilização dos íons analisados neste estudo. **Palavras-chave:** chuva; aerossóis; solubilização.

O material particulado em suspensão na atmosfera, sob forma sólida ou líquida, é genericamente denominado aerossol atmosférico. Estes aerossóis podem ser originados de fontes naturais (oceano, solo, vegetação etc.) e antrópicas (indústrias, construções civis, automóveis, lixões etc.), sendo parte integrante da atmosfera e, portanto, do meio ambiente como um todo.

Os aerossóis podem ser removidos da atmosfera basicamente por três processos: *a*) precipitação úmida (chuva); *b*) precipitação seca (sedimentação); *c*) por impacto com obstáculos.

A precipitação úmida é o mecanismo princi-

pal pelo qual é removida a maior parte dos aerossóis atmosféricos, por solubilização ou simples arrastamento mecânico por gotas de chuvas, formando um extrato aquoso. Por este motivo, vários autores^{1,2,3} têm estudado e analisado os aerossóis utilizando como técnica a obtenção da fração solúvel dos mesmos em água.

Com a finalidade de contribuir para o esclarecimento do mecanismo de interação chuva/particulado atmosférico, desenvolveu-se este trabalho, cujo objetivo principal é comparar a eficiência de solubilização do particulado atmosférico pela água de chuva com vários valo-

res de pH. Para isto, desenvolveu-se uma experiência em laboratório, onde são analisados extratos aquosos deste material particulado.

Em primeiro lugar, analisam-se os resultados em termos do grau de solubilização apresentado em soluções com diferentes valores de pH. A partir desses dados são considerados os resultados de concentração total do particulado atmosférico e os de concentração dos componentes naturais mais abundantes (Na, K, Mg, Ca e Cl), correlacionando-os com a pluviometria do período e com os teores desses elementos na chuva. Comparam-se também estes dados com os obtidos em anos anteriores.

Metodologia

As amostragens foram realizadas em São José dos Campos, cidade do Vale do Paraíba, localizada a 23°09'S e 45°50'W, distante cerca de 70 km da costa. Os coletores foram instalados na área do Instituto de Pesquisas Espaciais, o que permitiu a obtenção de dados diários de pluviometria, pressão atmosférica e temperatura.

As coletas foram realizadas de novembro de 1983 a dezembro de 1984, em dois períodos: o primeiro, com seis séries de filtros e 28 amostras de chuva, foi de novembro de 1983 a abril de 1984 e o segundo, com 11 séries de filtros e 11 amostras de chuva, de agosto de 1984 a dezembro do mesmo ano.

Para as coletas de chuva foi utilizado um hemisfério de acrílico com 0,23 m² de área, protegido por uma tela de náilon com abertura aproximada de 2 mm, para impedir a entrada de folhas. As amostras foram coletadas em garrafas com 10 litros de capacidade para evitar transbordamento. Este tipo de amostragem não elimina a deposição seca que ocorre sobre os coletores, fornecendo amostras que representam a soma da deposição seca (sedimentação) com a úmida. O sistema de coleta está sendo modificado para que se possa obter apenas a precipitação úmida.

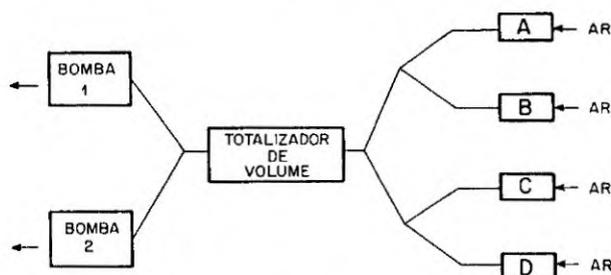


Figura 1 Esquema da disposição dos equipamentos e conexões utilizados para a coleta.

A amostragem do material particulado (M.P.) foi feita pela passagem de um volume conhecido de ar através de quatro filtros (A, B, C e D) montados em paralelo, utilizando um medidor seco de gás (Liceu de Artes e Ofícios) e duas bombas de vácuo (Primar) também em paralelo. A figura 1 mostra de maneira esquemática a disposição dos equipamentos e conexões utilizados para a coleta.

A duração de cada coleta de particulado foi de aproximadamente cinco dias, o que correspondeu a um volume de ar amostrado entre 300 m³ e 400 m³ (corrigidos para 25 °C e 760 mm Hg). Foram utilizados filtros de membrana (Millipore HAW P04, diâmetro de poro = 0,45 μm), empregando amostradores do tipo esquematizado na figura 2 (Gepa-USP). Este tipo de amostrador permite que somente partículas com velocidades de sedimentação menores do que a velocidade do fluido no duto sejam coletadas; assim, é estabelecido um diâmetro de corte para as partículas que penetram no sistema em função do regime dinâmico estabelecido no conjunto⁴. Esse arranjo permite a uniformidade na distribuição de massa da amostra sobre o filtro, independentemente da velocidade e distribuição do vento.

No arranjo utilizado, as conexões foram montadas de modo a minimizar as perdas, permitindo então a obtenção de uma diferença de massa

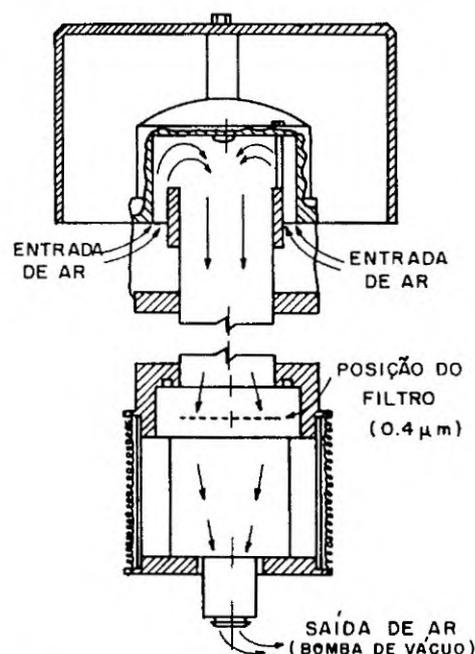


Figura 2 Esquema do amostrador de particulado atmosférico.

entre os filtros de uma mesma série, em média inferior a 3% da massa total coletada.

A quantidade de material particulado (M.P.) depositado em cada filtro foi determinada por gravimetria.

Cada série de filtros foi submetida por 30 minutos ao ultrassom, imersa em 100 ml de solução, como indicado:

Série A — água deionizada (pH = 5,58)

Série B — água de chuva, coletada no mesmo local (pH = 4,73 e pH = 5,10)

Série C — água deionizada, acidificada com ácido nítrico até pH = 2

Série D — 30 ml de ácido nítrico (65% com pH = 1), sendo, ao final, seu volume completado com água deionizada até 100 ml.

Como as amostragens foram realizadas em dois períodos, as seis primeiras amostras da série B foram tratadas com uma amostra de chuva cujo pH era de 4,73, e as 11 amostras da série B do segundo período com outra amostra de chuva, cujo pH era de 5,10. As amostras não puderam ser analisadas logo após o tratamento; com isto, os filtros do primeiro período permaneceram quatro meses em solução e os do segundo período três meses. Foram realizados 10 brancos para cada série (cinco para cada período de amostragem), com o mesmo tratamento das amostras. As análises desses filtros mostraram teores inferiores aos limites de detecção dos métodos utilizados. Essas amostras foram seladas e armazenadas em geladeira ($T \sim 4^\circ\text{C}$) até o momento das análises.

As conexões e recipientes empregados, tanto para a coleta quanto para o armazenamento das amostras, eram de polietileno, sendo todos previamente submetidos a lavagem com ácido nítrico diluído e água deionizada.

Nas amostras de chuva e nas soluções que continham os filtros, os teores de Na, K, Ca e

Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica (Varian AA-1475) e os teores de Cl, por potenciometria (eletrodo íon seletivo Imbracrios).

Resultados e discussões

Solubilização do material particulado

A tabela 1 mostra os teores médios dos elementos analisados para as quatro séries, no primeiro e segundo períodos e durante o período total. Verifica-se que os teores de Na, K, Mg, Ca e Cl são equivalentes, embora as quatro séries tenham sido submetidas a diferentes tratamentos.

A diferença observada para o Cl nas séries C e D pode ser atribuída a perdas parciais ou total do cloreto sob forma de compostos voláteis (HCl, por exemplo) nas soluções de pH muito baixo.

Os resultados mostram que a maior ou menor acidulação com ácido nítrico não altera a solubilidade dos elementos estudados do material particulado. A água de chuva, independentemente do pH, atua como agente eficiente de precipitação e também de solubilização.

Além disso, o estudo dos elementos solúveis dos aerossóis atmosféricos em água deionizada mostra teores equivalentes aos observados na solução obtida com a própria água de chuva. A partir desta conclusão, as discussões aqui elaboradas serão baseadas nos resultados apresentados pela série A.

Material particulado em suspensão na atmosfera (M.P.)

Como mencionado anteriormente, as coletas de M.P. foram efetuadas durante dois períodos. O primeiro período, coincidente com a época chuvosa da região, apresentou índices pluviométricos

Tabela 1 Teores médios dos elementos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para as quatro diferentes soluções durante todo o período de amostragem.

Série	Solução	Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mg ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
A	Água deionizada pH = 5,6	0,87 \pm 0,37	0,38 \pm 0,21	0,28 \pm 0,22	0,48 \pm 0,23	0,65 \pm 0,37
B	Água de chuva pH = 4,7 pH = 5,1	0,83 \pm 0,36	0,36 \pm 0,15	0,34 \pm 0,29	0,46 \pm 0,18	0,79 \pm 0,52
C	Ácido nítrico diluído pH = 2	0,80 \pm 0,30	0,38 \pm 0,20	0,24 \pm 0,24	0,46 \pm 0,19	0,45 \pm 0,47
D	Ácido nítrico concentrado pH < 1	0,77 \pm 0,22	0,37 \pm 0,20	0,31 \pm 0,19	0,44 \pm 0,15	Não detetado

tricos mais elevados do que o segundo período, que coincidiu com dois meses na época seca (agosto e setembro). Essa variação pluviométrica é mostrada na figura 3.

Na tabela 2 são apresentados os valores médios da concentração de M.P. em cada um dos períodos, bem como do período total de amostragem.

A concentração média no segundo período é cerca de 20% maior do que no primeiro. Por outro lado, a pluviometria é da ordem de 60% menor no segundo período do que no primeiro.

Sabe-se que a chuva é responsável pela remoção de pelo menos parte do particulado em suspensão no ar⁵, o que significa que períodos com pluviometria mais alta devem corresponder a me-

nores concentrações de M.P.. Deste modo, o aumento da concentração de M.P. no segundo período pode ser atribuído à ocorrência de níveis pluviométricos mais baixos. Entretanto, durante o ano de amostragem, houve construções de edifícios próximos ao local de coleta, as quais foram intensificadas durante o segundo semestre de 1984; isto determinou um aumento do M.P. emitido. Pode-se então justificar o aumento do M.P. como consequência, principalmente, destes dois fatores. Porém, esta conclusão não elimina uma possível influência de outras fontes, por exemplo, o aumento da emissão de M.P. pelas indústrias.

Durante um período seco ou de baixa pluviosidade, observa-se que a concentração de M.P. aumenta. Após a primeira precipitação, esta concentração é sensivelmente reduzida, o que evidencia a remoção do M.P. pela chuva, como é mostrado na figura 4. A relação inversa entre a pluviometria e a concentração de M.P. fica mais evidenciada no segundo período de coleta. Entretanto, como o período de amostragem é de cinco dias, altas pluviosidades no último dia de coleta podem estar relacionadas a níveis altos de M.P. atmosférico interferindo nos resultados. Espírito Santo *et al.*⁶ desenvolveram um estudo mais detalhado mostrando essa relação inversa entre a pluviometria e a concentração do M.P. atmosférico.

Comparando o valor médio do M.P. deste

Tabela 2 Valores médios das concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de particulado atmosférico para cada um dos períodos e para o período total de amostragem. Volume amostrado (m^3) e pluviometria do período (mm).

Período de amostragem	Volume ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Concentração média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pluviometria (mm)
17/11/1983 ⁴			
a	2,5	49,8 \pm 11,8	770,2
01/05/1984			
20/08/1984			
a	3,5	61,8 \pm 28,9	313,8
07/12/1984			
Total	6,0	57,6 \pm 24,5	1084

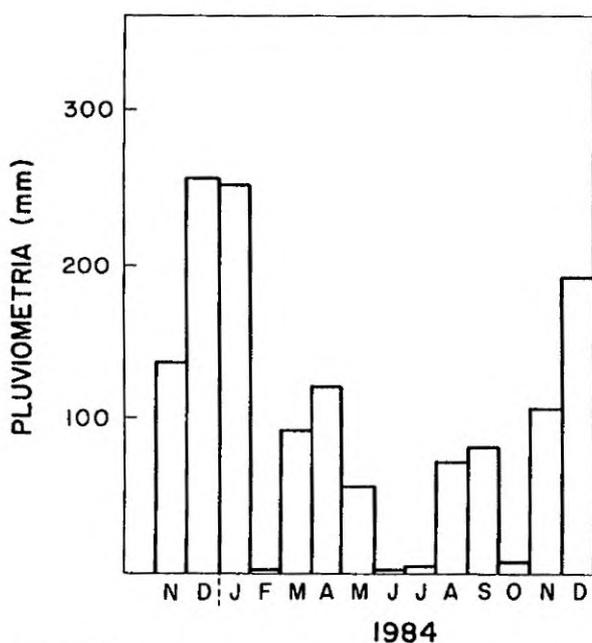


Figura 3 Histograma das alturas pluviométricas mensais (mm) durante o período total de amostragem.

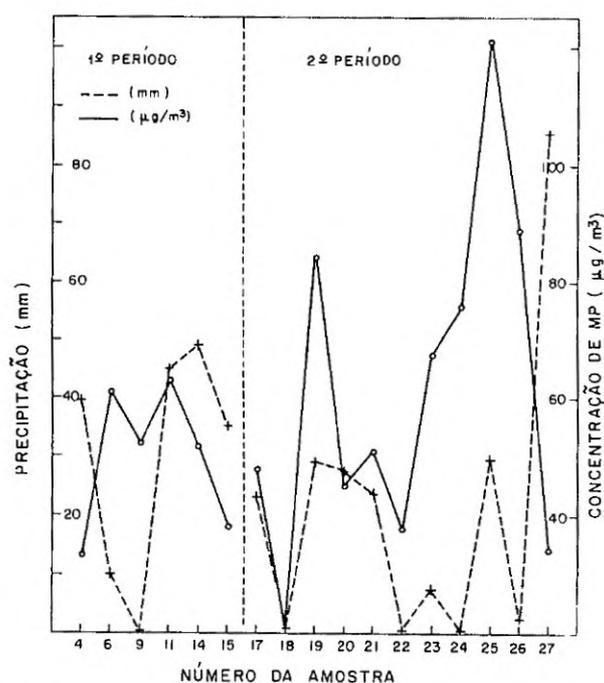


Figura 4 Pluviometria (mm — linha tracejada) durante os dois períodos de amostragem.

Tabela 3 Concentração de material particulado total (M.P.) para os anos 1982³, 1983³ e 1984. Média aritmética ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e média geométrica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ano	Média aritmética ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Média geométrica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1982 ³	38,0 \pm 13,2	35,6
1983 ³	47,3 \pm 25,3	42,7
1984	57,6 \pm 24,5	47,9

trabalho com os obtidos por Vieira *et al.*³ para os anos de 1982 e 1983 (tabela 3), observa-se a ocorrência de crescimento não desprezível nos valores de M.P.. Esses resultados mostram que, pelo menos nos últimos três anos, a média aritmética anual das concentrações semanais do M.P. vem aumentando a taxas constantes (20%), enquanto a média geométrica sofreu um acréscimo de 20% de 1982 para 1983 e de 10% de 1983 para 1984. Considerando que o limite máximo permitido pela legislação do Estado de São Paulo⁷ é de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média geométrica anual das concentrações diárias), se o crescimento se mantiver numa taxa de 10% ao ano, é provável que até 1990 esta média ultrapasse o valor do padrão.

Considerando as limitações desta conclusão, uma vez que somente uma estação de coleta pôde ser instalada, é possível supor que esses aumentos não são devidos a fontes naturais de aerossóis, uma vez que a variação está ocorrendo em curta escala de tempo e o período de observação considerado é curto. É provável que fontes antrópicas sejam responsáveis por esse crescimento, isto é, elas não só contribuem para que a concentração de M.P. seja maior do que a natural, como também vêm contribuindo com o aumento gradativo de seus valores de ano para ano.

Teores de elementos na solução aquosa do M.P.

A tabela 4 mostra os valores máximos e mínimos, no primeiro e segundo períodos de coleta, das concentrações dos elementos analisados nas soluções dos filtros em água deionizada (Série A). Portanto, os teores dos elementos aqui

estudados correspondem àqueles facilmente solubilizados pela chuva e não aos teores totais encontrados no particulado, os quais seriam obtidos da dissolução completa do material incluindo, por exemplo, os silicatos, argilas e pólen.

Considerando-se apenas os índices pluviométricos dos dois períodos, esperava-se um acréscimo nas concentrações do segundo período, o que de fato ocorreu (com exceção do Na). Entretanto, como foi mencionado, houve construções próximas ao local de amostragens, as quais foram particularmente mais intensas durante o segundo período.

O cimento tem em sua composição, entre outras substâncias, as de interesse neste trabalho, que são principalmente: CaO [60-67]%, MgO [0,1-5,5]% e (Na₂O + K₂O) [0,5-1,3]%. Com esses dados, pode-se afirmar que essas construções contribuíram para o aumento das concentrações do Ca, Mg, Na e K. Entretanto, deve-se considerar que o local de estudo está numa região industrial e, portanto, é provável que uma porcentagem desses teores provenham de outras fontes antropogênicas.

O decréscimo no teor médio de Na, observado no segundo período, não pode ser explicado pelos fatores citados anteriormente; uma hipótese para tal comportamento seria a possível existência de fontes de Na (antrópica ou não) que estariam injetando seus compostos em níveis elevados durante alguns períodos do ano. Entretanto, esta hipótese precisa ser comprovada e, para tal, estão sendo desenvolvidos estudos específicos.

As figuras 5 (a, b, c, d e e) mostram as variações relativas observadas nas concentrações dos elementos, durante o período de coleta, para cada amostra de particulado e sua correspondente amostra de chuva. Esses gráficos mostram que, quando os teores desses elementos aumentam na chuva, os teores desses mesmos elementos no ar sob forma de M.P., correspondentes ao mesmo período de amostragem, diminuem; evidenciando, assim, a existência de uma anticorrelação entre os teores dos elementos na chuva e no ar.

Tabela 4 Concentrações médias de Na, K, Mg, Ca e Cl em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na fração solúvel do M.P.; valores máximos e mínimos para o primeiro e segundo períodos de coleta (Série A).

		Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mg($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
17/11/1983	Máx.	1,23	0,46	0,12	0,46	0,53
	Mín.	0,98	0,10	0,09	0,09	0,29
a 01/05/1984	Méd.	1,13 \pm 0,20	0,25 \pm 0,14	0,11 \pm 0,01	0,30 \pm 0,15	0,44 \pm 0,10
	Máx.	1,51	0,87	0,91	0,89	1,45
20/8/1984	Mín.	0,36	0,19	0,15	0,30	0,44
	Méd.	0,73 \pm 0,36	0,45 \pm 0,21	0,37 \pm 0,23	0,57 \pm 0,21	0,76 \pm 0,42

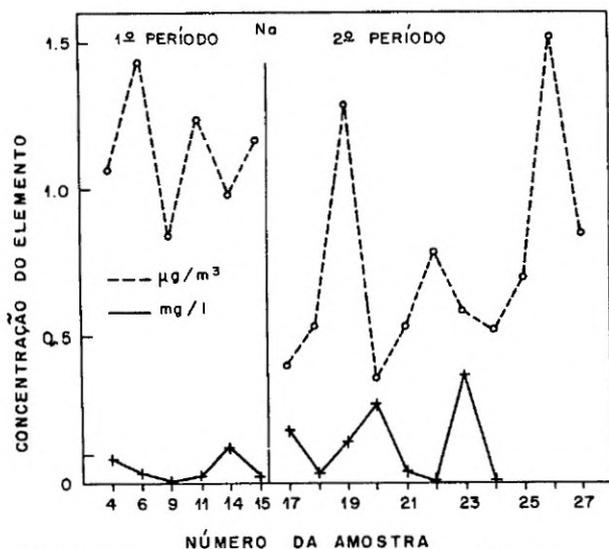


Figura 5a Variação no teor de sódio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante o período de coleta, para cada amostra de M.P.

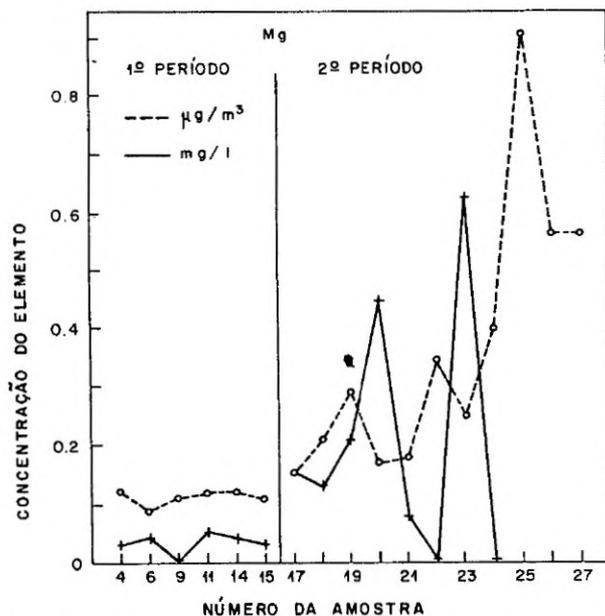


Figura 5c Variação no teor de magnésio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante o período de coleta, para cada amostra de M.P.

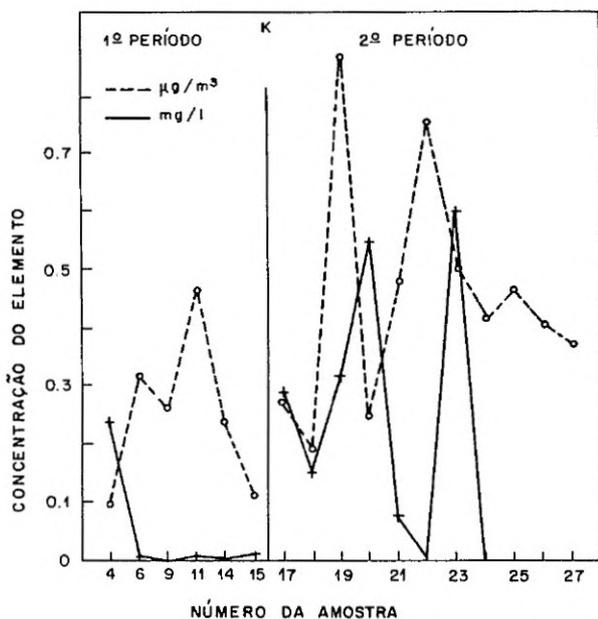


Figura 5b Variação no teor de potássio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante o período de coleta, para cada amostra de M.P.

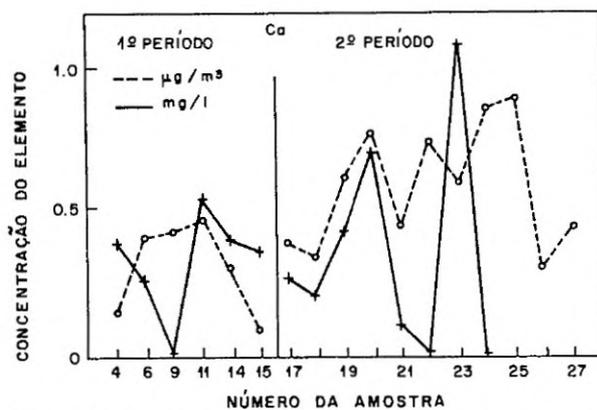


Figura 5d Variação no teor de cálcio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante o período de coleta, para cada amostra de M.P.

Observa-se (figura 5) que no segundo período a pluviosidade não foi uniforme, apresentando períodos secos alternados com períodos chuvosos. Este comportamento implica a ocorrência de flutuações nos teores dos elementos tanto na chuva como no ar e, também, a existência de uma defasagem temporal entre os picos de concentração dos elementos no ar e na chuva. No primeiro período de amostragem, a pluviosidade não apresentou variações acentuadas e, neste caso, não foram observadas grandes flutuações nas concentrações dos elementos.

A tabela 5 mostra as variações nos teores dos elementos no ar, sob forma de particulado atmosférico, em 1982³, 1983³ e 1984. Verifica-se que o K apresentou um crescimento menor de 1983 para 1984, o Ca manteve a taxa de crescimento e os outros (Na, Mg e Cl) mostraram crescimento maior de 1983 para 1984. Observa-se então que os elementos, individualmente, vêm aumentando de ano para ano; porém as taxas de variações não são constantes como no caso do M.P. total.

A comparação entre as concentrações dos elementos na água de chuva e no ar foi efetuada através da estimativa da entrada total dos elementos pela chuva (deposição úmida) e pelo M.P. atmosférico (deposição seca), para cada

Tabela 5 Variações nos teores dos elementos no particulado atmosférico em suspensão, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para os anos de 1982³, 1983³ e 1984 e da pluviometria (mm).

Ano	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mg($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pluviometria (mm)
1982 ³	$0,48 \pm 0,23$	$0,23 \pm 0,11$	$0,05 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,10$	$0,24 \pm 0,12$	1.605,2
1983 ³	$0,51 \pm 0,30$	$0,31 \pm 0,33$	$0,06 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,25$	$0,37 \pm 0,26$	2.207,0
1984	$0,87 \pm 0,37$	$0,38 \pm 0,20$	$0,28 \pm 0,22$	$0,48 \pm 0,23$	$0,65 \pm 0,37$	987,9

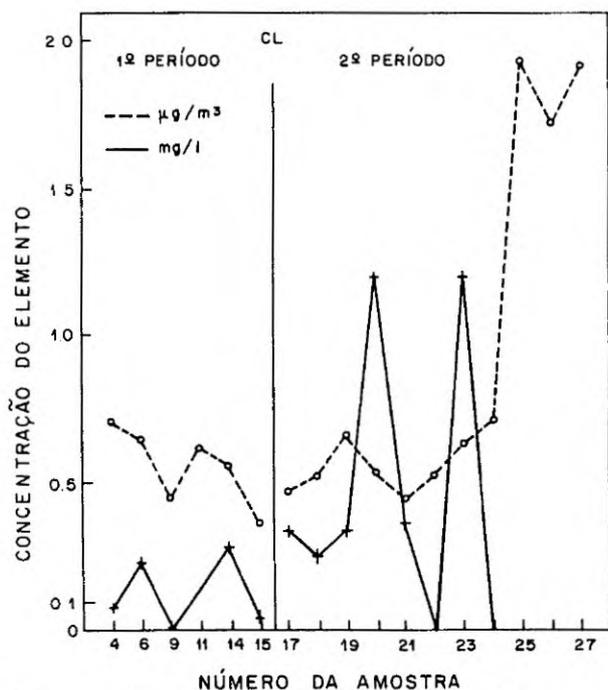


Figura 5e Variação no teor de cloro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante o período de coleta, para cada amostra de M.P.

Tabela 6 Deposição seca e úmida em $\text{mg}/\text{m}^2/\text{ano}$ para cada um dos períodos e para o período total de amostragem.

		Na	K	Mg	Ca	Cl
Deposição úmida	1º período	356,60	78,90	34,71	94,67	138,86
	2º período	230,37	142,01	116,76	179,88	239,84
	Total	274,55	119,92	88,36	151,48	205,13
Deposição seca	1º período	21,54	35,91	21,54	201,07	107,72
	2º período	27,25	54,50	41,92	81,74	106,90
	Total	49,40	88,90	69,20	306,20	227,20

índices pluviométricos mais elevados), as entradas de Na e K ocorrem principalmente através da deposição seca, as de Ca pela úmida, e as de Cl e Mg pelas duas equivalentemente. Durante o segundo período (índices pluviométricos mais baixos), as entradas desses elementos são predominantemente através da deposição seca, o que era esperado devido à baixa pluviosidade. Durante o ano de amostragem, as entradas de Mg, K e Cl, em média, ocorrem de forma equilibrada através da deposição seca e úmida, a entrada do Na se dá predominantemente através da deposição úmida. Entretanto, compostos de Na são, em geral, mais solúveis do que os de Ca. Uma hipótese para explicar essa contradição é a ocorrência não somente de solubilização, mas também de um arraste, pelas gotas de chuva, das partículas contendo compostos solúveis de Ca. Este arraste poderia então ser predominante, devido a condições físico-químicas peculiares dos aerossóis, contendo preferencialmente compostos solúveis de Ca. A ocorrência de tal fenômeno faria com que a deposição úmida, neste caso, contribuisse com maiores quantidades de Ca do que a deposição seca. Todavia, esse tipo de fenômeno requer estudos específicos, ficando aqui como sugestão para futuras pesquisas.

Pode-se concluir, então, que, durante períodos de baixa pluviosidade, os compostos solúveis são removidos da atmosfera principalmente por processos mecânicos (sedimentação, impacto com saliências na superfície da terra e arrastamento pelas gotas de chuva). Em média, o

um dos períodos e para o período total de amostragem.

A deposição úmida dada em $[\text{mg}/\text{m}^2/\text{ano}]$ foi calculada através da expressão $C[\text{mg}/\text{l}] * P[\text{mm}/\text{ano}]$, onde C é a concentração média do elemento na chuva, e P é a altura pluviométrica total durante o período (ano) considerado.

A deposição seca dada em $[\text{mg}/\text{m}^2/\text{ano}]$ foi calculada através da expressão $C[\text{mg}/\text{m}^3] * v[\text{cm}/\text{s}]$, onde C é a concentração média do elemento no ar, sob forma de M.P., e v é a velocidade de deposição do elemento considerado. A velocidade de deposição é função da aerodinâmica da partícula considerada e da dinâmica da atmosfera da região, sendo de difícil determinação⁸. Por esta razão, para o cálculo da deposição seca, optou-se pelo valor 1 cm/s já utilizado em outros trabalhos³.

Na tabela 6 são mostrados os valores calculados para a deposição seca e úmida durante os períodos de amostragem considerados. Esses valores indicam que, durante o primeiro período

K, Mg e o Cl, no estado de compostos solúveis, devem estar sendo removidos, de forma equilibrada, por solubilização pela chuva e, mecanicamente, durante as estações seca e chuvosa. Os compostos solúveis de Na provavelmente são removidos principalmente por processos mecânicos, enquanto que os de Ca podem estar sendo fortemente lixiviados pelas gotas de chuva, incorporando-se principalmente à deposição úmida.

Conclusões

Segundo os resultados aqui obtidos, pode-se concluir que, ao proceder a estudos de teores de elementos dos compostos solúveis em água, é representativo solubilizar o material particulado em água deionizada. Verificou-se que a solubilização nas condições experimentais aqui utilizadas independe do valor de pH de água e, portanto, a interação particulado atmosférico-água deionizada no laboratório é equivalente à do particulado atmosférico-água de chuva na natureza.

Verifica-se a relação inversa entre a pluviometria e a concentração de particulado atmosférico total, principalmente no segundo período de amostragem.

Os compostos solúveis de Na presentes na atmosfera devem estar predominantemente sob forma sólida, enquanto que os de Ca em solução; quanto aos de K, Mg e Cl, podem estar em quantidades equivalentes nas duas formas.

A chuva efetivamente promove uma "lavagem" da atmosfera, removendo o material particulado em suspensão; essa remoção pode ser por arraste mecânico ou solubilização dos compostos presentes no particulado.

Já foi mostrado que esta região sofre influência antropogênica, não só pelo grande número

e diversidade de indústrias, mas também por outras atividades decorrentes de população crescente. Os resultados dos três últimos anos de medidas da concentração total de material particulado e de seus elementos mostram um crescimento gradativo que confirma a observação anterior. Além disso, se o aumento da concentração de particulado atmosférico se mantiver nas taxas atuais, dificilmente o nível médio anual dessa concentração permanecerá abaixo do limite permitido pela legislação. □

Notas e referências

1. R. Delmas, J. Baudet, J. Servant — Mise en evidence des sources naturelles de sulfate en milieu tropical humide. *Tellus*, 30:150-168 (1978).
2. M.F.M. Tavares, B.M. Vieira, L.M. Moreira-Nordemann — *Análise química de íons em águas de chuva de regiões naturais. Correlação com aerossóis atmosféricos*. INPE-2856-PRE/395 (1983).
3. B.M. Vieira, M.C. Forti, M.F.M. Tavares, L.M. Moreira-Nordemann — *Na, Ca, K, Mg e Cl atmosféricos na Região Nordeste do Estado de São Paulo*. INPE-4339-PRE/1180 (1987).
4. W. C. Hinds — Uniform particle motion. *In Aerosol technology*. John Wiley & Sons, p. 38 (1982).
5. C.E. Junge — Air chemistry and radioactivity. *In Chemistry of precipitation*. Academic Press, p. 289 (1963).
6. C.M. do Espírito Santo, M.C. Forti, L.M. Moreira-Nordemann — *Elementos na precipitação de São José dos Campos*, INPE-4363-PRE/1189 (1987).
7. Cetesb — *Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental — Legislação sobre controle da poluição no Estado de São Paulo — Regulamento da Lei. Nº 997 de 31/5/1976, Cap. II Art. 29* (1984).
8. S. R. Hanna, G. A. Briggs, R. P. Hosker Jr. — Removal mechanisms. *In Handbook on atmospheric diffusion*. Tech. Inf. Center (U.S. Dep. of Energy), p. 67 (1982).

Artigo recebido em 26/mar/89

Aceito para publicação em 5/jun/89

Autores

Maria Cristina Forti (pesquisador auxiliar) e Lycia M. Moreira-Nordemann (pesquisador sênior) — Instituto de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, CP 515, 12201 S. J. dos Campos, SP.