

# Contaminação da chuva e da drenagem pluvial

Sérgio João de Luca<sup>1</sup>  
Carmem B. Castro<sup>2</sup>  
Carlos N. Ide<sup>3</sup>

**RESUMO** São apresentados aspectos de qualidade da chuva e da drenagem pluvial urbana da Região Metropolitana de Porto Alegre. Os resultados obtidos no levantamento mostram que ocorrem chuvas químicas, às vezes ácidas, na região. Os dados de qualidade da drenagem pluvial urbana mostram que, além da chuva contaminada, outras fontes de poluição como o mau serviço de coleta de lixo e de limpeza das ruas, a descarga dos carros e vazamentos de veículos contribuem para o aumento da poluição do corpo d'água receptor, o Lago Guaíba.

**ABSTRACT** Aspects of the quality of the rain and of the urban stormwater in the Metropolitan Area of Porto Alegre, Brazil, are presented. The results obtained in the survey show a significant occurrence of chemical and acid rain in the area. The data on the quality of the urban drainage show that, besides contaminated rain, other sources of pollution such as poor garbage collection, car exhaust, crankcase leakage, and badly done street cleaning contribute to increase the pollution of the receiving body of water, the Guaíba Lake. **Key words:** atmospheric pollution, acid rain, urban stormwater quality, water resources management.

**Este artigo apresenta uma contribuição para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Considerações são feitas a respeito do problema da chuva química, às vezes ácida, que é precipitada na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). Os resultados de um ano de levantamentos da qualidade da chuva e da drenagem pluvial urbana são sintetizados e os aspectos principais discutidos e enfatizados. É ressaltada, também, a importância da carga poluente que é conduzida sem tratamento ao corpo receptor.**



## Qualidade da água das chuvas

A precipitação de chuvas ácidas ou químicas em algumas regiões do planeta é uma das conseqüências da poluição atmosférica, principalmente devido à interferência antropogênica nos ciclos que unem a biosfera. A atmosfera parece ser mais suscetível a emissões antrópicas do que ambientes terrestres ou aquáticos e tem sido utilizada como um sumidouro de poluentes (Keith, 1982).

O tempo de residência dos poluentes na atmosfera depende de uma série de fatores, podendo ser bastante breve ou se estender por dias, semanas ou anos. A qualidade da água da chuva pode variar em função do tipo de carga poluidora e das condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime dos ventos, estações do ano etc.).

O incremento na queima de combustíveis fósseis, principalmente os derivados de petróleo e de carvão, vem ocasionando sensíveis alterações na qualidade do ar atmosférico, notadamente pela liberação de elevadas cargas de compostos de nitrogênio e enxofre, o que vem cau-

1 Professor Titular do IPH/UFRGS

2 Professor Assistente do IPH/UFRGS

3 Professor Adjunto da UFMS

sando situações de desequilíbrio graves, notadamente em áreas urbanas e industriais. Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) são emitidos principalmente de fontes estacionárias. Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) são emitidos tanto por fontes estacionárias quanto móveis. Os óxidos de enxofre e de nitrogênio podem ser convertidos em atmosferas úmidas a ácido sulfúrico e nítrico, respectivamente. Outros ácidos, como o ácido clorídrico a partir de cloretos, podem provir de fontes como a queima de carvão, queima de PVC, branqueamento de celulose e têxtil, cloração de águas e efluentes, ou de aerossóis marinhos. Ácidos orgânicos, ácido carbônico atmosférico e ácidos de Bronsted contribuem em pequena escala para a acidez da chuva.

Altas concentrações de metais traços (pesados), como o zinco, o chumbo, o cádmio ou o berílio, podem estar associadas a cinzas volantes de carvão mineral e vegetal, desgaste de lonas de freio e/ou desgaste de pneus de veículos. Íons de Ca, Mg e K são devidos à poeira dos solos, à fabricação de cal ou cimento e à indústria cerâmica. Íons Na e Cl ocorrem principalmente junto ao mar. O íon amônia provém principalmente de fenômenos naturais de decomposição de matéria orgânica. Os íons amônia, Ca, Mg e K, além de neutralizantes de acidez, agem como nutrientes quando precipitados. Compostos de ferro e manganês e outros metais pesados geram ácidos fracos em meio líquido, podendo contribuir para a produção de acidez.

Considera-se internacionalmente que a chuva seja ácida quando o pH das amostras de chuva seja menor que 5,6. A chuva não contaminada antropogenicamente pode ter um pH levemente ácido devido à dissolução do CO<sub>2</sub> atmosférico. Porém, a pHs menores que 5,1, a solubilidade do CO<sub>2</sub> em CNTP é de apenas 20 μ eq/l, podendo-se concluir que a acidez seja devido a outros ácidos. (Fischer, 1968.)

Existem na região metropolitana de Porto Alegre várias fontes prováveis de poluição atmosférica, entre elas citam-se uma refinaria de petróleo, um complexo petroquímico, siderúrgicas e metalúrgicas, cimenteiras, fábricas de celulose e papel, têxteis, curtumes, etc... e regiões densamente povoadas, as quais podem liberar compostos com potencial de contaminação das chuvas (Orsini, et al, 1986).

### Programa de Amostragem

Além das características químicas e físicas e variáveis hidrodinâmicas que afetam a qualidade da água da chuva, o programa de amostragem (tipo de amostragem, frequência e tipo de amostrador) pode influenciar nos resultados das análises de seus constituintes. /

Neste estudo foi empregado um amostrador comum de coleta da água da chuva, composto de um reservatório de 50 l, encimado por um funil coletor de 1m<sup>2</sup>. Esse amostrador foi localizado de acordo com as normas da OMM, para estações de 2ª ordem, e sem a interferência de muros, prédios, árvores, etc..., 1,5m acima do solo. Deve-se lembrar que 1mm de chuva equivale a 1 l/m<sup>2</sup> de contribuição superficial. Esse tipo de amostrador coleta todo o evento chuvoso, não permitindo detectar as variações que eventualmente ocorrem ao longo da precipitação, porém tem a vantagem de informar uma situação média de qualidade da precipitação (Milano, et al, 1989a).

Foram utilizados 23 pontos de coleta num raio de 30km do centro de Porto Alegre. Foram executadas 50 campanhas

de coleta ao longo de um ano. Analisaram-se pH, acidez, condutividade específica, sulfatos, nitratos, cloretos, ferro total (frequência semanal), cálcio, magnésio, potássio, amônia, chumbo, cobre, cádmio e berílio (frequência mensal). Todas as análises foram executadas segundo o Standard Methods, 16ª edição, 1985.

### Resultados

No período do estudo, a precipitação média anual foi de 1.926mm vs uma precipitação média histórica de 1.326mm, havendo portanto maior limpeza da atmosfera. O regime de ventos pode ser considerado normal com 75% dominante na direção sudeste. O regime das precipitações foi também normal com predominância de frentes frias de sul e sudeste. (Milano, et al, 1989b.)

O valor médio anual de pH resultou em 5,5. Em 21 dos 23 postos de coleta, o pH teve valores médios anuais menores que 5,6. Das 1.019 análises de pH, 65% apresentaram pHs menores que 5,6 e 26% resultaram em pHs menores que 5,0.

A Análise de Séries Temporais revela que das cinquenta campanhas de coleta semanais, trinta e duas tiveram valores médios de pHs menores que 5,6 e doze campanhas indicaram mais de 50% dos postos com pH menor que 5,0.

A *tabela 1* apresenta e compara valores de literatura em termos de concentração (mg/l) para alguns parâmetros de qualidade mais comuns. As concentrações máximas e mínimas também são apresentadas para ilustração. Notam-se teores anormalmente altos de sulfatos e cloretos, denunciando fontes como queima de carvão mineral e óleos com alto teor de cloretos e enxofre.

Os níveis de nitrato são baixos quando comparados com dados internacionais, mas os teores de sulfato e cloreto ocorrem em níveis encontrados em regiões industrializadas (Huff, 1976). É bastante reduzida a concentração de metais pesados, incluindo ferro, nas águas da chuva. Os níveis de Ca, Mg e K estão dentro dos valores usuais em outras regiões da América Latina (IPH/UFRGS, 1988).

A análise de variância revela que a nível de significância de 5%, a acidez média anual da água da chuva é gerada 53,2% por sulfatos, 37,1% por cloretos, 5,7% por compostos de ferro e 4% por nitratos.

### Qualidade da drenagem pluvial

A água da drenagem pluvial urbana contém os mais diversos poluentes, incluindo metais pesados e bactérias patogênicas, podendo eventualmente ser a principal causadora de poluição intermitente de corpos d'água, tornando-os impróprios, por exemplo, para lazer, pesca, recreação e abastecimento, notadamente após o início do escoamento. Nas ruas são encontrados agentes tóxicos, tais como metais traços, hidrocarbonetos clorados ou não, pesticidas, materiais consumidores de oxigênio e matérias orgânicas outras, bioestimulantes, patogênicos em geral e diversos tipos de sólidos, dissolvidos, fluantes etc...

O mais importante contribuinte de poluentes para o escoamento urbano é a superfície do solo, principalmente ruas, sarjetas e outras superfícies conectadas à rede de drenagem, como telhados, as quais recebem principalmente os poluentes atmosféricos. Os poluentes são acumulados

**Tabela 1** Comparação das concentrações dos parâmetros para a qualidade da água de chuva em diferentes regiões.

I: Região não-industrial (USA, Europa)  
 II: Região altamente industrial (USA, Europa)  
 III: Região metropolitana de Porto Alegre/R\$

Parâmetros	I		II		III		
	Concentração (mg/l)		Concentração (mg/l)		Concentração (mg/l)		
	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MED.	MIN.
pH	5.6	4.8	5.0	4.0	6.0	5.5	4.0
Sulfatos	3.2	1.1	33.5	3.3	7.0	6.0	5.0
Cloretos	1.1	0.1	1.2	0.7	4.9	4.2	3.7
Nitratos	1.0	0.2	31.3	6.2	0.57	0.45	0.34
Ferro total	—	—	42.0	7.0	1.12	0.65	0.36
Amônia	—	—	—	—	3.10	1.80	1.00
Cálcio	1.2	0.2	20.0	2.0	1.35	0.95	0.58
Magnésio	0.2	0.1	7.3	1.2	1.85	0.81	0.35
Potássio	0.3	0.1	0.8	0.1	0.80	0.66	0.50
Zinco	—	—	33.0	3.3	0.03	0.01	0.008
Chumbo	—	—	52.0	31.0	0.09	0.06	0.05
Cobre	—	—	3.3	0.04	0.03	0.01	0.01
Cádmio	—	—	0.2	0.01	0.06	0.02	0.002

nessas superfícies de várias maneiras. Há, por exemplo, materiais inúteis provenientes de construção ou da demolição, abandonados ou espalhados, esgoto e lixos de edifícios, excremento de pássaros, fezes de cachorros e outros animais de estimação, restos de lixo doméstico abandonados durante a coleta, ou espalhados pelo vento e por animais, produtos expelidos por veículos ou desgaste de materiais de fontes móveis e estacionárias etc... (Roesner, 1974; Weibell, et al, 1964).

De posse desse conhecimento, foi escolhida uma bacia representativa da contaminação da drenagem urbana da região metropolitana de Porto Alegre, para estudo das concentrações e das massas de contaminantes daquela bacia.

### Programa de amostragem

A amostragem era executada por evento de precipitação, sendo que a cada cinco minutos durante um evento, era medida a vazão, anotada a altura precipitada e coletadas amostras para posteriores ensaios de qualidade. De estudos prévios se sabia que a maior contribuição de poluentes da drenagem urbana acontecia nos primeiros 30 minutos ("first-flush") de maneira que se amostrou principalmente o início do escoamento, de cinco em cinco minutos, e adotou-se a qualidade, após trinta minutos, como constante para o resto da chuva. A vazão efluente da bacia era medida com uma calha Parshall modificada (Alfaro, 1974). Um total de sete eventos foi analisado, captando situações de inverno e verão e de diferentes tempos antecedentes de estiagem.

### Resultados

A *tabela 2* apresenta a média e valores máximos e mí-

nimos dos parâmetros de qualidade analisados segundo o Standard Methods, 16ª edição. Não foram coletadas amostras de chuvas menores que 2mm, pois essas não produzem escoamentos superficiais. O fluxo de base existente no local de coleta era proveniente de água de infiltração do lençol freático, pois essa bacia não possuía nenhuma ligação domiciliar ou sanitária à rede coletora. (Ide e De Luca, 1985.)

Na *Tabela 2*, verifica-se que são altos os teores de sólidos totais, denunciando a má coleta de lixo, má limpeza das ruas, desgaste de veículos, restos de exaustão de veículos etc... Também altos teores médios de coliformes totais e fecais, e de contagem-padrão em placa são mostrados. A relação DBO/DQO revela altos teores de matéria orgânica não biodegradável, principalmente óleos e graxas e os hidrocarbonetos associados, pois os veículos de carga e passageiros no Brasil usam principalmente o óleo diesel.

A *Tabela 3* apresenta uma estimativa da carga média anual de contaminantes para a Região Metropolitana de Porto Alegre, transportados apenas pela drenagem pluvial. Fez-se um exercício comparando-se a carga lançada por estações de tratamento secundárias (80% de remoção de poluentes) e a carga transportada pela drenagem pluvial amostrada. Verifica-se que, em termos médios anuais, 98% do SS, 52% da DBO, 67% da DQO, 80% dos óleos e graxas, e altas percentagens dos metais pesados continuariam sendo transportados ao corpo receptor, apesar do tratamento de esgotos.

Os dados da *Tabela 4* mostram que, além de outros fatores já mencionados, os constituintes das águas da chuva podem contribuir significativamente para a contaminação da drenagem pluvial. Altas cargas de sulfatos, de cloretos, de nitratos e de alguns metais mostram a necessidade de

controle mais eficaz das fontes de emissão daqueles poluentes.

### Conclusões

Os levantamentos de dados de qualidade da chuva e

da drenagem pluvial urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre revelam que:

Há significativa ocorrência de chuvas ácidas e mormente de chuvas químicas nessa região; ocorreram situações de pH com valores mínimos em torno de 4,0; sulfatos e cloretos são os principais poluentes atmosféricos, juntamente

**Tabela 2** Concentração média anual dos principais constituintes da drenagem pluvial urbana.

Parâmetros	Média	Valores	
		Mínimo	Máximo
Temperatura do ar (°C)	24,3	13,5	31,0
Temperatura da água (°C)	25,7	17,5	30,0
pH	7,2	6,5	8,3
Condutividade ( $\mu$ mho/cm)	232,2	72,0	445,0
Cor aparente (mg/l de Pt)	2.080	50	20.000
Turbidez (UNT)	106,1	30,0	270,0
Sólidos totais (mg/l)	1.522,7	160,0	10.225,0
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)	228,9	75,0	555,0
Sólidos suspensos totais (mg/l)	1.394,6	10,0	9.880,0
Sólidos sedimentáveis (ml/l)	36,4	0,0	260,0
Chumbo (mg/l)	0,19	0,10	0,31
Zinco (mg/l)	0,77	0,03	3,31
Cádmio (mg/l)	0,03	—	—
Cromo total (mg/l)	0,09	0,06	0,23
Cobre (mg/l)	0,20	0,06	1,12
Ferro total (mg/l)	30,33	0,19	81,29
Acidez (mg/l)	17,1	1,1	55,6
Alcalinidade (mg/l)	84,3	21,0	326,2
Cloretos (mg/l)	17,6	5,5	52,5
Oxigênio dissolvido (mg/l)	3,4	0,0	6,6
Amônia (mg/l)	1,00	0,31	4,88
Nitritos (mg/l)	0,14	0,01	0,85
Nitratos (mg/l)	1,86	0,20	12,61
Fosfato total (mg/l)	0,347	0,008	2,580
Sulfatos (mg/l)	16,73	2,24	51,91
DBO <sub>5</sub> , 20°C (mg/l)	31,8	1,3	97,9
DQO (mg/l)	176,53	2,20	597,51
Óleos e graxas (mg/l)	23,1	1,0	56,5
Coliformes totais (NMP/100 ml)	1,7x10 <sup>7</sup>	4,0x10 <sup>2</sup>	2,4x10 <sup>8</sup>
Coliformes fecais (NMP/100 ml)	1,5x10 <sup>7</sup>	4,0x10 <sup>2</sup>	2,4x10 <sup>8</sup>
CBT (CBT/ml)	6,2x10 <sup>6</sup>	2,1x10 <sup>4</sup>	6,3x10 <sup>2</sup>

**Tabela 3** Carga média de poluentes transportados pela drenagem pluvial (kg/ha/ano)

Parâmetros	Carga (kg/ha/ano)	% de contribuição Corpo Receptor
Sólidos dissolvidos	1.825	64
Sólidos suspensos	11.120	98
DBO <sub>5</sub>	254	52
DQO	1.408	67
D&G	184	80
Amônia	8	24
Cloretos	139	79
Fosfato total	3	7
Nitratos	15	99
Sulfatos	132	83
Ferro total	240	95
Chumbo	1,5	99
Cromo total	0,7	96
Cobre	1,6	98
Zinco	6,2	50

**Tabela 4** Comparação das cargas médias anuais da chuva e da drenagem pluvial urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre.

Parâmetros	Carga (kg/ha/ano)	
	Chuva	Drenagem Pluvial
Sulfatos	116,30	132,00
Cloretos	81,26	139,00
Nitratos	8,66	14,70
Ferro total	12,52	240,00
Fosfato total	0,38	3,00
Amônia	34,34	8,00
Zinco	0,19	6,20
Chumbo	1,16	1,50
Cádmio	0,19	0,30
Cobre	0,38	1,60

com a amônia. As cargas médias anuais desses parâmetros estão acima dos valores médios encontrados em regiões industrializadas da Europa e dos Estados Unidos.

A drenagem pluvial da bacia representativa é mais rica em materiais minerais do que em orgânicos. A maioria das substâncias é biologicamente pouco decomponível (DQO/DBO maior que 5,0). Os resíduos sólidos são a maior porção de poluentes encontrados na superfície de ruas. Essa carga de sólidos pode colaborar para a aceleração do assoreamento dos cursos d'água pela deposição de sólidos sedimentáveis, reduzindo sua eficiência e aumentando a área de inundação, além de prejudicar a estética e a manutenção da vida aquática.

Os óleos e graxas são provavelmente derivados da descarga de veículos e de vazamentos que afetam boa parte da frota do equipamento rodante nacional. Nitratos, cloretos, sulfatos e muitos metais pesados são provenientes principalmente da deposição atmosférica em superfícies e do desgaste de peças de veículos.

A densidade microbiana encontrada parece ser uma expressão das condições da bacia de drenagem, e não do próprio escoamento, pois não há um tempo de contato suficiente para que os microorganismos arrastados pela água da chuva possam responder ao aporte de nutrientes, também carregados por essa mesma água.

O início do escoamento superficial pode representar uma séria fonte de poluição. Foi observada a ocorrência do efeito da primeira lavagem nessa bacia representativa, nos primeiros 15 minutos da descarga. A verificação desse fenômeno pode ser importante no projeto de estações de tratamento ou de bacias de retenção.

Os constituintes encontrados no escoamento pluvial podem ter menor concentração (alguns deles), mas a massa média anual de poluentes produzidos pelo escoamento é provavelmente maior que a produzida por um efluente de uma estação de tratamento de esgotos secundária. Um exercício foi realizado para a Região Metropolitana de Porto Alegre, indicando que cerca de 64% SDT, 98% SS, 99% Pb, 50% Zn, 96% Cr, 98% Cu, 7% de fosfatos, 52% DBO, 87% DQO, 24% amônia e 80% O&G alcançam o Lago Guaíba anualmente. Essas percentagens dizem respeito à massa de poluentes jogada no corpo receptor, se o esgoto doméstico urbano tivesse tratamento ao nível de 80% de remoção de poluentes, e indicam que um tratamento terciário do esgoto doméstico não irá melhorar muito a qualidade da água do lago.

É significativa a contribuição de contaminantes na água da chuva à carga de poluentes da drenagem pluvial urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre.

#### Bibliografia

- IDE, C.N., e De Luca, S.J., 1985. "Qualidade da Drenagem Pluvial", Anais XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maceió/AL.
- MILANO, L.M., De Luca, S.J., Castro, C.M., Rosauero, N.L. 1989a. "Chuvas Ácidas na Região Metropolitana de Porto Alegre", Anais XV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belém/PA.
- MILANO, L.M., De Luca, S.J., Rosauro, N.M. 1989b. "Chuvas Ácidas e Parâmetros Meteorológicos Relacionados", Cadernos de Recursos Hídricos, RBE, Vol. 7, Nº 6, Dez.
- FISHER, D.W., et al., 1968. "Atmospheric Contributions to Water Quality of Streams of the Hubbard Brook Experimental Forest", Wat. Res. Research, Vol. 4, Nº 5.
- ORSINI, C.Q., et al., 1986. "Characteristics of Fine Coarse Particles of Natural and Urban Aerosols of Brazil", Atm. Environ., Vol. 20, Nº 11.
- HUFF, F.A., 1976. "Relation Between Atmospheric Pollution and Stream Water Quality near a Large Urban Industrial Complex", Wat. Res., Vol. 10.
- KEITH, L.M., 1982. "Energy and Environmental: Acid Rain", Vol. II, Ann Arbor Science, Michigan.
- ROESNER, L.A., 1974. "Quality of Urban Runoff", in HEC Training Course on Urban Hydrology, Chap. 4, Davis/USA.
- WEIBELL, S.R., Anderson, R.J., and Woodward, R.L., 1964. "Urban Land Runoff as a Factor in Stream Pollution", Jour. Wat. Poll. Contr. Fed., Vol. 36, Nº 7.
- ALFARO, J.F., 1974. "Medidas del Agua por Medio del Aforador Sin Cuello", Proc. Simp. Intern. Irrigação e Drenagem, Porto Alegre/RS.
- IPH/UFRGS, 1988. "Chuvas Ácidas na Região Metropolitana de Porto Alegre/Brasil", PETROBRÁS S/A, Relatório Confidencial.
- APHA, AWWA, WPCF, 1985. "The Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters", 16th ed., Washington.