

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ÁGUAS DE CHUVA EM ÁREAS TROPICAIS CONTINENTAIS, CUIABÁ-MT: APLICAÇÃO DO SISTEMA CLIMA URBANO (S.C.U.)¹

Rodrigo Marques²
Cleusa A. G. P. Zamparoni³
Edinaldo de Castro e Silva⁴
Aparecida de Magalhães⁴
Sumaya Ferreira Guedes⁴
Adalgiza Fornaro²

Resumo: Avaliou-se a composição química de águas da chuva em Cuiabá-MT sob a perspectiva do Sistema Clima Urbano (S.C.U.), considerando-se as fontes emissoras, as características geográficas/topográficas da cidade, e a relação entre o homem e a natureza. O período de amostragem foi entre os dias 21/02 e 02/07 de 2006, representando o final da estação chuvosa e início da estação seca da região. No total de 38 amostras determinaram-se a acidez (medidas de pH), a condutividade elétrica e a concentração dos ânions nitrato, sulfato, cloreto, nitrito e fosfato. Também foi observada a influência do número de dias anteriores sem chuvas ao evento na variabilidade da composição química destas amostras. Os resultados mostraram que mesmo com valores de pH inferiores a 5,6, portanto, chuvas ligeiramente ácidas; as concentrações dos ânions foram baixas, indicando a existência de chuvas limpas. Para o período do estudo, pode-se considerar Cuiabá representando área continental ainda não impactada com atividades antrópicas.

Palavras-chave: Composição química de águas de chuva; Teoria do Sistema Clima Urbano; Cuiabá-MT.

Introdução

Atualmente, a tendência é que cada vez mais a população se concentre nas cidades, e desta maneira, são nas cidades onde ocorre interação mais efetiva entre o homem e a natureza (MONTEIRO, 2003). A consolidação das edificações, de parques industriais, do uso de veículos automotores e queima de combustíveis fósseis, cria uma situação peculiar na atmosfera da cidade. Todas estas ações humanas podem retornar para a própria sociedade e provocar vários danos à saúde, afinal o homem acaba por viver em uma atmosfera com concentrações de gases não adequadas. Também pode resultar em danos ambientais, como é o caso das chuvas ácidas, quando gases poluentes (sobretudo os óxidos de nitrogênio e de enxofre) são oxidados na atmosfera e removidos por deposição seca e úmida, afetando os corpos d'água, a vegetação, o solo e também as edificações (que podem sofrer com corrosão). Devido às concentrações existentes de gás carbônico (CO₂) na atmosfera,

a chuva é considerada neutra com o pH 5,6. Quando os valores são inferiores a 5,6, considera-se a ocorrência de chuvas ácidas, embora fatores naturais podem fazer com que este valor chegue a 5,0 (MENZ e SEIP, 2004, GALLOWAY *et al.*, 1982).

Os estudos sobre a acidez das chuvas têm se concentrado em áreas que já sofreram grande processo de industrialização (OKUDA *et al.*, 2005; OSEKI *et al.*, 2006; MENZ e SEIP, 2004; CHESTNUT e MILLS, 2005), ou em áreas que atualmente apresentam grande crescimento industrial (XIE *et al.*, 2004; TANG *et al.*, 2005; KULSHRESTHA *et al.*, 2005; BÁEZ *et al.*, 2006). A deposição ácida causa danos em edificações (XIE *et al.*, 2004), mas também em florestas e lagos, com diminuição da biodiversidade, como o que se verificou nas espécies lacustres na fronteira entre a Polônia, República Tcheca e Alemanha, região conhecida como Sudetos (SIENKIEWICZ *et al.*, 2006). No Brasil, ao contrário da Europa e dos EUA onde existem redes de monitoramento (MENZ e SEIP,

¹ - Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

² - Departamento de Ciências Atmosféricas/IAG/USP – End: Rua do Matão nº 1226, Cidade Universitária – USP, São Paulo-SP, CEP: 05508-090. E-mail correspondência: rmarques@model.iag.usp.br

³ - Departamento de Geografia/ICHS/UFMT

⁴ - Departamento de Química/ICET/UFMT

2004; CHESTNUT e MILLS, 2005), os estudos sobre a acidez das chuvas foram realizados por períodos curtos de amostragem e desenvolvidos isoladamente em diferentes regiões do país, como nas áreas metropolitanas de São Paulo (LEAL *et al.*, 2004, FORNARO e GUTZ, 2003 e 2006), Rio de Janeiro (DE MELLO, 2001), Salvador (CAMPOS *et al.*, 1998) e Porto Alegre (MIRLEAN *et al.*, 2000); na região do Lago Calado – Amazonas (WILLIAMS *et al.*, 1997), e no Parque Nacional do Itatiaia (DE MELLO e ALMEIDA, 2004); em áreas de influência de termoeletricas a carvão como em Figueira – PR (FLUES *et al.*, 2003). Na região central do Brasil, entre os poucos estudos de águas de chuva, destaca-se o estudo de MARQUES *et al.* (2006) em Cuiabá, em que se avaliou apenas os parâmetros de acidez (medidas de pH), condutividade e concentrações de nitrato no período de set/2004 a jan/2005.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a composição química de águas de chuva (pH, condutividade e ânions) e influência de fatores geográficos e meteorológicos de Cuiabá sob a percepção do Sistema Clima Urbano (S.C.U.), conforme proposta de MONTEIRO (1976; 2003).

Materiais e Métodos

Metodologia

A análise deste trabalho foi realizada sob a perspectiva do S.C.U. (MONTEIRO, 1976; 2003), que sistematiza o Clima Urbano como uma articulação de diversos fatores (geoecológicos e geourbanos), subdividindo-o em três subsistemas - o termodinâmico, o físico-químico e o hidrometeorológico. Entretanto esta subdivisão não objetiva o trabalho isolado, até porque segundo o próprio autor, o clima urbano é formado pela articulação destes três subsistemas, através de seus respectivos canais de percepção, ou seja, como se dá a percepção humana sobre o fenômeno estudado. Assim, foram realizados os ajustes metodológicos necessários para atender a realidade do estudo em questão e dar conta dos objetivos de análise do subsistema físico-químico, através do canal de percepção da qualidade do ar, integrando-a aos aspectos termodinâmicos em análises temporais.

Sabendo-se que a gênese desse subsistema parte da produção humana na cidade, se fez necessário levantar as fontes emissoras de poluição que, partindo de certos pontos da cidade, difundem-se dentro dela e tendem a ser exportada para o ambiente circundante (MONTEIRO, 1976). Por isto a importância de avaliação criteriosa da frota de veículos automotores e das atividades industriais existentes (embora pequenas), de maneira a identificar quais os possíveis poluentes presentes na atmosfera local

em Cuiabá. Neste caso também é importante ressaltar o elevado número de queimadas, sobretudo na estação seca, bem como a influência da localização geográfica da capital mato-grossense na dispersão dos poluentes. Outra indagação foi a de verificar se o uso de corretivos agrícolas e exploração do calcário no entorno da Depressão Cuiabana (Planaltos dos Alcantilados e de Chapada dos Guimarães, e Província Serrana), estão sendo transportados, pelos ventos, para Cuiabá, contribuindo para a contaminação da atmosfera. Como os dados se referem somente período de transição das estações chuvosa para seca, o efeito das queimadas não pode ser verificado de maneira mais profunda.

Desta maneira, toda esta emissão de poluentes na atmosfera pode provocar efeitos diretos no ambiente, como a acidificação dos solos, corpos d'água e impactos em áreas vegetadas, que embora ainda não tenha sido verificado no estado de Mato Grosso, já foram estudados em outros lugares do país e do mundo (HAN e LIU, 2006; SANT'ANNA-SANTOS *et al.*, 2006; FLUES *et al.*, 2003; CHESTNUT e MILLS, 2005; SIENKIEWICZ *et al.*, 2006).

Área de Estudo

Cuiabá – capital do Estado de Mato Grosso – é uma cidade com clima tropical semi-úmido (tipo Aw pela classificação de Koppen), cuja sede municipal que também é o centro geodésico da América do Sul se encontra nas coordenadas 15°36'49" LS e 56°04'06" LW. Possui duas estações bem distintas, sendo uma úmida e uma seca - alternadamente. A estação seca dura cerca de 5 meses, de maio a setembro (MAITELLI, 1994), possuindo apenas alguns dias frios no inverno, com temperaturas mínimas absolutas que podem ser inferior a 10°C, conforme histórico do INMET no período 1931-1990 (BRASIL, 2008), devido à chegada de frentes frias oriundas da região polar. O restante da estação é quente e seca. A estação chuvosa (outubro a abril) é quente e úmida, concentrando cerca de 80% da precipitação anual. O índice médio de precipitação anual é de cerca de 1.500 mm. Como o sítio urbano da cidade está assentado em uma topografia horizontalizada, com a ocorrência de extensos chapadões a sua borda, verifica-se que estes fatores contribuem para que haja uma fraca ventilação, inferior a 2 m/s. Isto pode dificultar a dispersão dos poluentes, aumentando a concentração dos mesmos sobre a cidade. Além disto, durante a estação seca, predominam situações de estabilidade atmosférica e céu limpo (MAITELLI, 1994), que associadas às baixas velocidades do vento, tornam-se fatores que dificultam ainda mais a dispersão dos poluentes.

Quanto ao relevo, Cuiabá está localizada na depressão Cuiabana, sendo esta depressão circundada pela Província Serrana das Serras residuais do Alto Paraguai, pelo Planalto dos

Guimarães e Planalto dos Alcantilados. O uso do solo e as atividades econômicas dos Planaltos dos Guimarães, dos Alcantilados e da Província Serrana são muito importantes para se compreender as influências que podem ocorrer na Depressão Cuiabana. Em função das jazidas calcárias existentes na Província Serrana, encontram-se principalmente no município de Nobres (cerca de 120 km ao norte de Cuiabá, seguindo a BR-364/163), indústrias mineradoras que produzem calcário para fins agrícolas além de uma fábrica produtora de cimento de grande porte. Estas atividades podem contribuir na emissão de partículas de calcário (ricos em carbonatos) para a atmosfera, e assim podem posteriormente ser transportadas pelos ventos. No ano de 2004 foram produzidas no estado de Mato Grosso cerca de 5,8 milhões de toneladas de calcário beneficiado (BRASIL, 2005a), enquanto que no ano de 2003 foram cerca de 6,1 milhões de toneladas (BRASIL, 2004). Desta quantidade, quase 100% tem como destino o próprio estado, sendo usado para fins agrícolas e produção de cimento.

Nos planaltos, cobertos pelos cerrados, os solos são considerados ácidos, em função de suas características químicas, físicas e mineralógicas, o que torna necessário uma reconstrução da fertilidade destes solos, feita através da calagem e da adubação fosfatada corretiva (LOPES, 1983). Para o entorno da Depressão Cuiabana, o processo de calagem é muito importante. Esta técnica se baseia na adição de calcário no solo, e colabora em dois processos importantes, pois melhora as condições de fertilidade natural do solo, além de auxiliar na diminuição da toxidez provocada pelo alumínio, ferro e manganês. Outro fator importante é que a calagem prévia faz aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados solúveis em água (LOPES, 1983). Assim, durante do processo de aplicação de calcário no solo, pode haver dispersão de parte deste calcário para a atmosfera e o transporte pelos ventos pode convergir para a Depressão Cuiabana, mais baixa que o entorno, facilitando o acúmulo nesta área em função da fraca ventilação.

O processo de expansão urbana resultou na conurbação de Cuiabá com a cidade vizinha de Várzea Grande, formando o Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande, que conta atualmente com uma população estimada em torno de 800 mil habitantes (BRASIL, 2005b), porém em 2000 sua população era de 698.644 habitantes. Um dos principais responsáveis pela emissão de poluentes é a frota de veículos existente, que considerando o Aglomerado Urbano Cuiabá – Várzea Grande somavam em dezembro de 2005 pouco mais de 216 mil veículos automotores (MATO GROSSO, 2005). Também há um grande número de focos de queimadas urbanas, principalmente durante a seca, o que pode aumentar a concentração de gases e material sólido suspenso no ar,

e conseqüentemente afetar a saúde de sua população. Quanto ao setor industrial, Cuiabá apresenta seu forte na construção civil, na transformação de minerais, e na produção de produtos alimentares. Embora apresente indústrias ligadas à metalurgia, química e refino de petróleo (CUIABÁ, 2004), estas são na sua maioria de pequeno porte, o que faz com que Cuiabá não se caracterize como um grande pólo industrial, ou seja, podem-se considerar pouco significativas as emissões de poluentes atmosféricos de origem industrial. É importante ressaltar que há uma termelétrica de ciclo combinado a gás natural que opera em Cuiabá, com capacidade instalada de gerar 480 MW. Em 2005, a termelétrica respondia por cerca de 23% da capacidade instalada no estado de Mato Grosso, que é de 2113 MWh (BRASIL, 2005c). Durante a queima do gás para a obtenção de energia elétrica, forma-se maior quantidade de NO_x do que as caldeiras a óleo ou carvão, devido a relação entre o ar e o gás ser muito maior durante a queima do que os outros combustíveis. em ciclo combinado em Cuiabá

A amostragem foi realizada no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso, (15°36'40" LS e 56°01'33" LW) – região leste de Cuiabá, conforme **Figura 1**. A área fica entre duas avenidas com grande tráfego de automóveis, pois ligam o centro da cidade e a região norte à região do Coxipó, onde estão localizados diversos bairros residenciais e também ao distrito industrial de Cuiabá. As amostras foram coletadas entre os dias 21/02 e 02/07 de 2006, totalizando 38 amostras, e compreendendo o final da estação chuvosa e início da estação seca.

Coleta e análise da composição da água da chuva

Foi instalado um coletor manual (abertura em forma de funil de polipropileno, encaixado em um suporte fechado de aço inox, revestido com isolante térmico, dentro do suporte ficava um frasco – conectado ao funil – com capacidade para armazenar 12 litros) de amostras no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso (LW 56° 01' 33" e LS 15° 36' 40") em área aberta, a 1,70 metros de altura livre de obstáculos que pudessem vir a contaminar as amostras coletadas. O coletor permanecia sempre aberto, e para evitar interferência por deposição seca, foram realizadas amostragens com intervalo máximo de 12 horas, ou após um evento chuvoso. Em cada amostragem, o coletor era lavado e limpo com água desionizada, para evitar que ficassem resquícios de contaminação por deposição seca.

Imediatamente após a amostragem realizavam-se as medidas de pH (pH-metro Quimis Q-405 e eletrodo combinado de vidro Quimis) e da condutividade (condutivímetro Tecnopon mCA – 150). Após a calibração do pH-metro foi feita a leitura de uma solução de

ácido clorídrico (HCl) a uma concentração de 2×10^{-4} mol L⁻¹, o que melhora a resposta do equipamento nas leituras de amostras com baixa força iônica, caso da água da chuva (HARRIS, 2001). Uma alíquota (entre 30 e 50 ml) da amostra foi devidamente acondicionada em frasco de polietileno e congelada para posterior análise química. Os dados pluviométricos foram obtidos da Estação Meteorológica Mestre Bombled (convencional), localizada no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso.

As análises de nitrato, sulfato, cloreto, nitrito, fosfato e soma de ânions (fluoreto, acetato, glicolato e formiato) foram realizadas

no Laboratório de Metais Pesados do Departamento de Química da UFMT, usando-se cromatógrafo iônico Dionex – ICS 90. As condições analíticas foram: coluna aniônica IonPac AS14A 4x250 mm Dionex, fluxo de 1 mL min⁻¹, eluente a mistura de Na₂CO₃ 8 mmol L⁻¹ e NaHCO₃ 1 mmol L⁻¹ e solução regenerante de H₂SO₄ 36 mmol L⁻¹. Destaca-se que o primeiro pico do cromatograma corresponde à soma dos ânions fluoreto, acetato, glicolato e formiato, que coeluem nesta condição analítica (FORNARO e GUTZ, 2003). Na análise estatística foi utilizada a análise de correlação de Pearson no software Minitab 13.0.

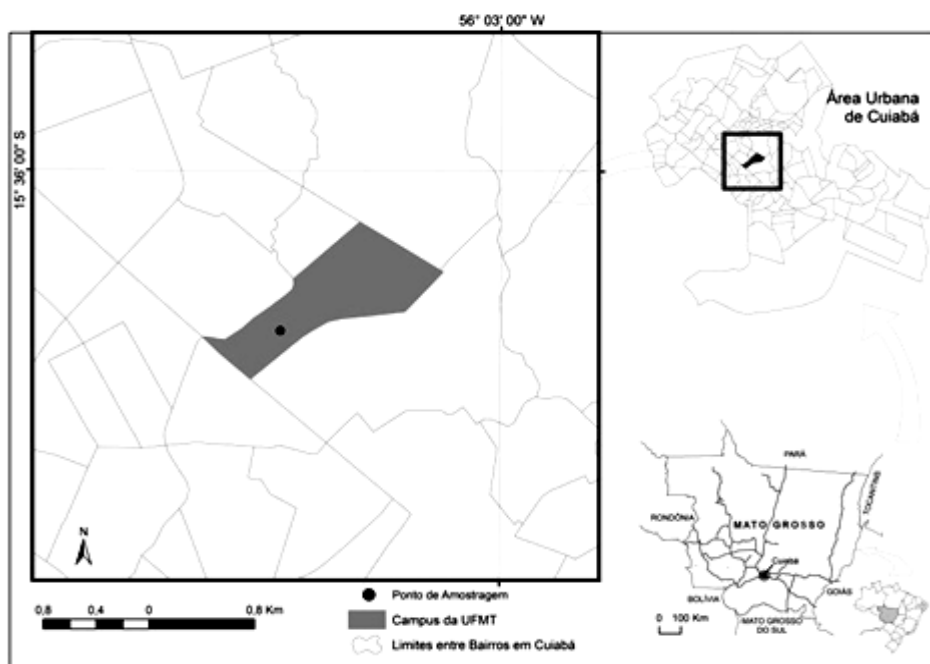


Figura 1 Área de Estudo (Org. Emerson Soares dos Santos).

Resultados e Discussão

A pluviometria total do período estudado foi de 777 mm, porém apenas em 472 mm (Fig. 2) foram realizadas as análises de composição química. É importante ressaltar que no mês de fevereiro choveu 359 mm. A grande diferença entre o volume total e o amostrado apresentado na tabela se refere a um evento não amostrado de 129 mm, registrado no dia 28/02.

Na **Tabela 1** estão apresentados os valores de média aritmética, mediana, desvio padrão, média ponderada pelo volume (MPV), além dos valores máximos e mínimos para as espécies analisadas. O uso da MPV para representação das concentrações iônicas em águas de chuva é importante por limitar a influência de concentrações muito altas que ocorrem em chuvas muito fracas,

assim como efeitos de diluição em chuvas muito intensas (LEAL *et al.*, 2004). No cálculo do valor médio de pH, primeiro converte-se o valor do pH para seu valor em concentração de H⁺ ($[H^+] = 10^{-pH}$), calcula-se a média de H⁺, que é novamente convertido para o valor em unidades de pH ($pH = -\log [H^+]$) (HARRIS, 2001).

Dos ânions analisados, os principais e que foram encontrados na maioria das amostras foram: cloreto (Cl⁻), nitrato (NO₃⁻) e sulfato (SO₄⁻²). Destes o valor máximo encontrado para SO₄⁻² foi em um evento com volume de precipitação de apenas 0,6 mm, sob forma de garoa, sendo que a condutividade medida foi de 15,29 µS cm⁻¹. Chuvas fracas significam gotas pequenas e de maior tempo de vida no ar, podendo absorver maior quantidade de gases, assim como de partículas.

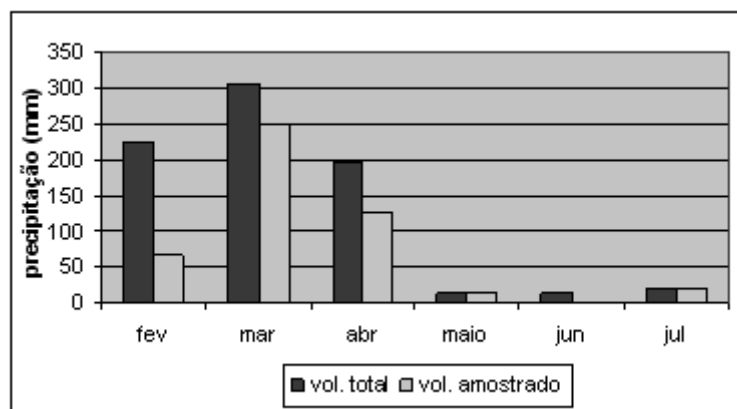


Figura 2 Variação pluviométrica mensal e volume de precipitação de águas de chuva analisadas no presente estudo

Tabela 1 Valores da média aritmética (\pm desvio padrão), mediana, valores máximos e mínimos, e MPV para os parâmetros analisados nas 38 amostras coletadas.

| Parâmetros analisados | Média Aritmética (\pm dp) | Mediana | Máx. | Mín. | MPV |
|-------------------------------------|------------------------------|---------|------|------|------|
| Condutividade $\mu\text{S cm}^{-1}$ | 7,25 (5,25) | 5,78 | 27,0 | 1,90 | 6,93 |
| pH | 5,63 (0,51) | 5,70 | 6,79 | 4,5 | 5,18 |
| | $\mu\text{Mol L}^{-1}$ | | | | |
| H ⁺ | 4,5 (6,3) | 2,0 | 3,2 | 0,2 | 6,6 |
| A.* | 0,9 (0,2) | 0,9 | 1,4 | 0,7 | 0,9 |
| Cl ⁻ | 2,0 (1,9) | 1,3 | 8,7 | 0,4 | 1,4 |
| NO ₂ ⁻ | 0,4 (0,3) | 0,4 | 0,9 | 0,07 | 0,5 |
| NO ₃ ⁻ | 4,2 (3,3) | 3,3 | 14,1 | 0,08 | 3,9 |
| PO ₄ ³⁻ | 0,1 (0,1) | 0,1 | 0,2 | 0,05 | 0,09 |
| SO ₄ ²⁻ | 1,8 (2,7) | 1,1 | 17,2 | 0,5 | 1,3 |

A.* corresponde a soma dos ânions fluoreto, acetato, glicolato e formiato.

No que se refere ao valor máximo de NO₃⁻, embora tenha ocorrido em evento com volume de 24,2 mm, fazia dois dias que não choviam em Cuiabá, sendo também alto o valor medido para a condutividade elétrica, que foi de 27 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Na **Figura 3** tem-se a variação dos valores de pH e condutividade elétrica para todas as amostras. Apesar de uma amostra apresentar valor de pH = 4,5, a maioria das amostras (63%) apresentaram valor de pH menor que 5,6. Os dados de condutividade apresentaram valores em geral baixos, sendo que apenas 3 eventos

apresentaram condutividade superior a 15 $\mu\text{S cm}^{-1}$, o que mostra como encontrou-se em geral no período amostrado chuvas com baixas concentrações de íons. Os dois últimos eventos amostrados (um em maio e um em julho), apresentaram resultados de pH superiores aos encontrados em abril, e valores de condutividade superiores às médias dos meses anteriores, indicando a contribuição do período de estiagem em Cuiabá. Isto pode indicar que os sais que estão dissolvidos na água apresentam características alcalinas, neutralizando a acidez existente na água da chuva.

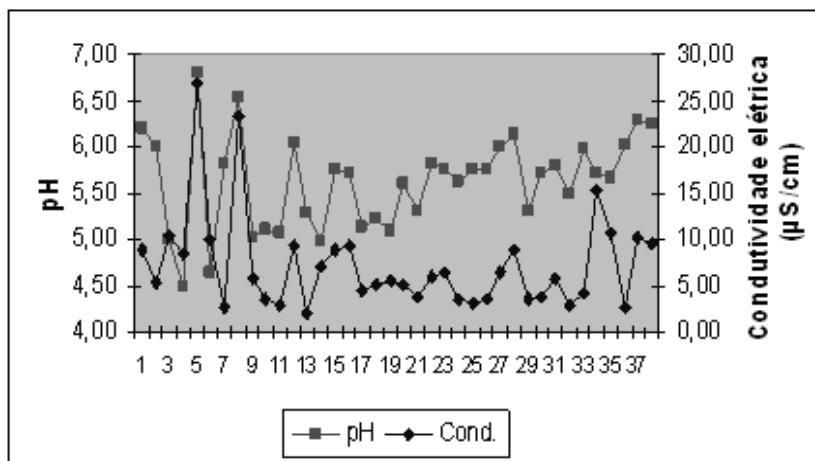


Figura 3 Variação dos valores de pH e condutividade elétrica para o período analisado, entre 21/02/2006 a 02/07/2006.

Como os meses de maio e julho compreendem parte da estação seca, onde chuvas são escassas (haja vista que se amostrou apenas um evento chuvoso em maio e outro em julho, não sendo registrado chuvas em junho) e por isso há uma maior concentração de poluentes na atmosfera. Cuiabá ainda sofre com as queimadas urbanas, além da ressuspensão de poeiras de solo, que podem emitir para a atmosfera substâncias com características alcalinas (carbonatos, bicarbonatos ou hidróxidos de cálcio ou magnésio). Um exemplo para esta afirmação pode ser constatado no trabalho de REBELLATO (2006) que encontrou no material particulado em suspensão na atmosfera de Cuiabá teores elevados de cálcio e potássio.

A Figura 4 mostra a variação das concentrações de nitrato, cloreto e sulfato em águas de chuva do período estudado. O íon nitrato apresentou as concentrações mais altas, podendo indicar

a importância da contribuição da queima de combustíveis pela frota veicular, assim como queima de gás natural pela termelétrica Gov. Mário Covas de Cuiabá-MT. Estimativas realizadas por SCHAEFFER e SZKLO (2001), mostram que termelétricas de ciclo combinado a gás natural, como é o caso da existente em Cuiabá, emitem cerca de 0,68 g/kWh de óxidos de nitrogênio (NO_x). Levando-se em conta a capacidade instalada de 480MW, pode-se estimar que sua emissão de NO_x quando opera na capacidade máxima é de cerca de 326,4 kg/h. Neste sentido o NO_3^- é produto da oxidação do NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) emitido pelo processo de combustão tanto de gás natural quanto de combustíveis fósseis. Os baixos valores de cloreto indicam a continentalidade de Cuiabá, que não sofre influência do *spray* marinho, embora, durante a seca, as queimadas possam contribuir para a emissão de cloreto, que é liberado pelas cinzas na fumaça.

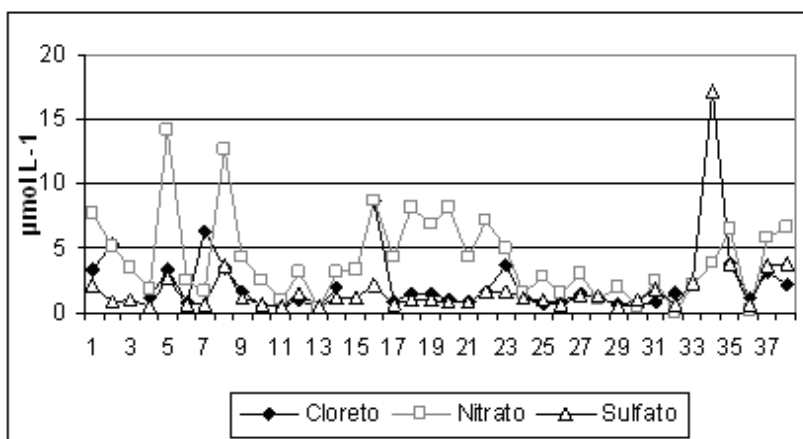


Figura 4 Variação temporal da concentração dos principais ânions encontrados em Cuiabá-MT para o período amostrado.

Na análise de correlação entre os dados de pH (em concentração de H⁺), condutividade elétrica, volume de precipitação, concentração de nitrato, sulfato e cloreto (Tab. 2). Observaram-se

correlação positiva significativa entre a condutividade e a concentração de nitrato (0,72), inclusive os valores máximos encontrados para ambos os parâmetros se deram no mesmo evento.

Tabela 2 Matriz de correlação entre as variáveis: H⁺, condutividade elétrica, volume de precipitação, nitrato, sulfato e cloreto para os eventos no período estudado.

| Variáveis | H ⁺ | Cond. | Volume | Nitrato | Cloreto |
|-----------|----------------|-------|--------|---------|---------|
| Cond. | -0,07 | | | | |
| Volume | 0,41 | -0,10 | | | |
| Nitrato | -0,22 | 0,72 | -0,11 | | |
| Cloreto | -0,27 | 0,33 | -0,32 | 0,46 | |
| Sulfato | -0,2 | 0,45 | -0,25 | 0,20 | 0,43 |

Efeito do número de dias sem chuva

Ao analisar a influência do número de dias anteriores sem chuva, nota-se que quando se comparam estes dados com os dados de pH, verifica-se que a maioria dos eventos com pH menor que 5,6 ocorreram quando choveu no mesmo dia ou no dia anterior (considera-se zero, o número de dias anteriores sem chuva), e três eventos entre um e três dias anteriores sem chuva. Dos cinco maiores valores de pH encontrados, três se deram quando não houve chuva de 1 a 3 dias anteriores ao evento, um com 11 dias sem chuva e o outro com 27 dias.

Os valores mais baixos de condutividade elétrica foram obtidos quando choveu no mesmo dia, ou no dia anterior (Fig. 5), indicando

como as chuvas colaboram na limpeza atmosférica, entretanto, os três maiores valores de condutividade elétrica ocorreram quando o número de dias anteriores sem chuva variou de zero a três, porém corresponderam a eventos de chuva muito fracos (quase garoa). Portanto, além do número de dias sem chuva outro parâmetro importante na variabilidade da composição química de águas de chuva é a intensidade de chuva. Pois, chuvas fracas em geral apresentam tamanho de gotas menores, possibilitando menor velocidade de queda e maior tempo de residência na atmosfera, incorporando mais gases e partículas durante sua trajetória (SEINFELD e PANDIS, 1998).

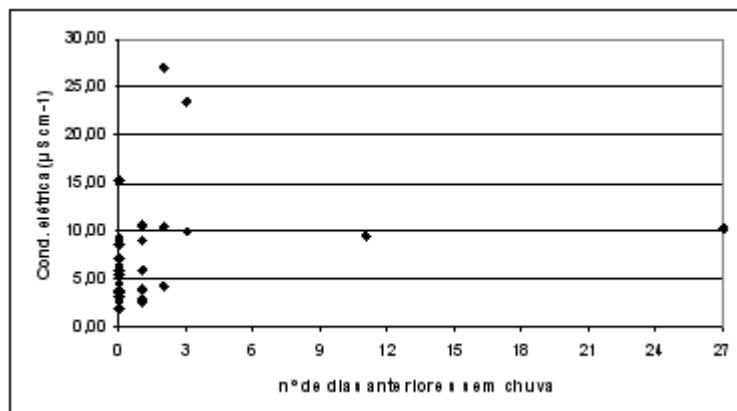


Figura 5 Relação entre o número de dias sem chuva anteriores ao evento e os valores obtidos de condutividade elétrica na água de chuva em Cuiabá-MT, entre 21/02/2006 e 02/07/2006.

Comparação das concentrações iônicas em águas de chuva de Cuiabá com outros estudos

Quando os resultados obtidos são comparados com estudos realizados em outras partes do Brasil e do mundo, se percebe como as águas de chuva em Cuiabá, de maneira geral, podem ser consideradas limpas com baixas concentrações de íons. Em relação a outras regiões brasileiras, os teores de sulfato, nitrato e

cloreto em Cuiabá foram bem menores, como mostra a **Tabela 3**. Ao comparar com áreas asiáticas, euro-asiáticas e da América do Norte, as diferenças são ainda maiores, principalmente por se tratarem de áreas que possuem grande atividade industriais e energéticas (uso de combustíveis fósseis, e produção de energia elétrica a partir da queima do carvão mineral, gás natural, etc), conforme a **Tabela 4**.

Tabela 3 Comparação entre as concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV) deste estudo com os registrados em outros lugares do Brasil.

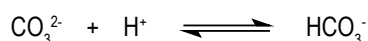
| Local | Características | pH | Cloreto ($\mu\text{Mol L}^{-1}$) | Nitrato ($\mu\text{Mol L}^{-1}$) | Sulfato ($\mu\text{Mol L}^{-1}$) | Autores |
|---------------------|--|------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| São Paulo (SP) | Área urbana / frota veicular / indústrias | 5,19 | 8,5 | 21,2 | 12,4 | Leal et al. (2004) |
| Figueira (PR) | Termelétrica a carvão | 4,9 | 16 | 13 | 35 | Flues et al. (2003) |
| Salvador (BA) | Área urbana / frota veicular / indústrias/ litoral | 5,51 | 152 | 6,1 | 22,6 | Campos et al. (1998) |
| Rio de Janeiro (RJ) | Área urbana / frota veicular / indústrias/ litoral | 4,77 | 66,6 | 15,8 | 41,9 | De Mello (2001) |
| Lago Calado (AM) | Floresta equatorial / queima de biomassa | 4,7 | 4,6 | 4,2 | 2 | Williams et al (1997) |
| Cuiabá (MT) | Área urbana/ queima de biomassa | 5,18 | 1,4 | 3,9 | 1,3 | Este trabalho |

Tabela 4 Comparação entre as concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV) deste estudo com os registrados em outros lugares do mundo.

| Local | Características | pH | Cloreto ($\mu\text{Mol L}^{-1}$) | Nitrato ($\mu\text{Mol L}^{-1}$) | Sulfato ($\mu\text{Mol L}^{-1}$) | Autores |
|-------------|---|------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Japão | Área urbana/ gases vulcânicos | - | 39,9 | 30,9 | 68,6 | Okuda et al. (2005) |
| China | Área urbana/ termelétrica a carvão | 4,53 | 21,2 | 48,2 | 94 | Han e Liu (2006) |
| Índia | Área rural | 6,7 | 50 | 13 | 37 | Rastogi e Sarin (2005) |
| Turquia | Área urbana/ termelétrica a carvão e diesel | 5,1 | 113,2 | 40,3 | 195,7 | Basak e Alagha (2005) |
| México | Área urbana/ floresta tropical | 4,95 | 9,3 | 42,9 | 76,7 | Báez et al. (2006) |
| Cuiabá (MT) | Área urbana queima de biomassa | 5,18 | 1,4 | 3,9 | 1,3 | Este trabalho |

Estimativa da concentração de bicarbonato (HCO₃⁻)

Algumas substâncias colaboram na neutralização da acidez, como hidroxila (OH⁻), carbonato (CO₃⁻²) e amônia (NH₃). A região de Cuiabá tem presença significativa de calcário, que predominante, é constituído de carbonato de cálcio (CaCO₃), que ao se dissolver na fase líquida da atmosfera (águas de nuvens, garoas e chuvas) pode liberar o ânion CO₃⁻², que reage com íons H⁺, formando bicarbonato (HCO₃⁻):



O bicarbonato é um ácido mais fraco (K_a = 4,69 x 10⁻¹¹ mol L⁻¹) do que o ácido carbônico (H₂CO₃) cuja constante ácida de dissociação, K_a = 4,45 x 10⁻⁷ mol L⁻¹ (HARRIS, 2001). Portanto, a formação do bicarbonato é favorecida em águas de chuva com alto teor de carbonato e sua concentração pode ser calculada através da seguinte expressão, resultado dos equilíbrios ácido-base na fase

aquosa atmosférica (PARASHAR et al., 1996, apud KULSHRESTHA et al., 2003):

$$[\text{HCO}_3^-] = 10^{-11,2+\text{pH}}$$

Portanto, a concentração do HCO₃⁻ é dependente da acidez do meio (valor do pH) e na Tabela 5, verifica-se que a menor concentração de bicarbonato ocorreu quando a média de pH foi 4,8 (fevereiro), e a maior quando o pH atingiu o valor de 6,30 (maio).

A importância da neutralização da acidez pelo íon carbonato pode ser avaliada considerando-se que apenas o íon H⁺ seja o par dos ânions presentes nas amostras de águas de chuva. Calculando-se o pH teórico do mês de fevereiro através das concentrações dos ânions, obtêm-se um valor de pH = 5,0, bem próximo ao do valor medido, que foi de 4,8. Entretanto, ao fazer o mesmo cálculo para o mês de maio, obteve-se um valor de pH = 4,7, para um valor medido de 6,3, ou seja a diferença de 1,6 unidade de pH, correspondente a 50 vezes em concentração de H⁺, neutralizados pelo equilíbrio CO₃⁻²/HCO₃⁻ (Tab. 5).

Tabela 5 Concentração da MPV dos íons e a sua respectiva concentração estimada de bicarbonato

| Meses | pH | H ⁺ | A* | Cl | NO ₂ | NO ₃ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ |
|-------|------|----------------|------|------|----------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| | | | | | μmol L ⁻¹ | | | |
| fev | 4,80 | 15,8 | 1,05 | 2,2 | 0,55 | 3,6 | 1,0 | 0,4 |
| mar | 5,13 | 7,3 | 0,9 | 1,5 | 0,3 | 4,9 | 0,9 | 0,85 |
| abr | 5,75 | 1,8 | 0,1 | 1,15 | 0,3 | 1,5 | 1,3 | 3,55 |
| maio | 6,30 | 0,5 | 1,25 | 3,1 | 1,2 | 5,9 | 3,6 | 12,5 |
| jul | 6,24 | 0,6 | 0,9 | 2,1 | 0,35 | 6,6 | 3,8 | 11 |

[*]: A: se refere a soma de fluoreto, glicolato, formiato e acetato.

Neste ponto, é importante destacar a formação geológica e litológica da área e uso do solo, pois tanto a Depressão Cuiabana como o Planalto dos Guimarães apresentam solos ácidos, impróprios para fins agrícolas, e no Planalto dos Alcantilados, encontram-se solos ácidos que com as devidas correções têm sido aproveitados para uso agrícola (RADAMBRASIL, 1982), destacando-se a calagem. Durante o processo da calagem, o calcário lançado no solo pode ser disperso atingindo a atmosfera. Além disto, a exploração das jazidas calcárias na Província Serrana (realizada a céu aberto) para produção de cimento e calcário agrícola pode contribuir para a emissão deste tipo de partículas para a atmosfera.

Perspectiva para o aproveitamento da água de chuva

A resolução do CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005d) estabelece critérios para a classificação dos corpos d'água no Brasil. Desta forma ao se comparar apenas os parâmetros estudados e

identificados na água de chuva em Cuiabá, esta água poderia ser classificada como água doce, classe I, apresentando MPV (em mg L⁻¹) de 0,06 para cloreto, 0,02 para nitrito, 0,24 para nitrato e 0,11 para sulfato, valores bem abaixo dos limites estabelecidos (em mg L⁻¹) pelo CONAMA que são de: 250 para cloreto, 10 para nitrato, 1 para nitrito e 250 para sulfato. A água doce classe I, pode ser utilizada para consumo humano, desde que feito tratamento simplificado, além de poder ser destinada para usos não potáveis como a irrigação. Registros mostram que o aproveitamento da água de chuva é feito há mais de dois mil anos e a cada dia aumentam os cuidados para sua conservação. Com a sinalização de que a água é um recurso finito, embora sejam renovadas pelo ciclo hidrológico, medidas vêm sendo adotadas, sobretudo em países desenvolvidos, para evitar o desperdício, sendo a captação e o aproveitamento da água de chuva uma alternativa altamente viável, pois ajuda a conservar os corpos d'água superficiais e subterrâneos. Apesar de não existir parâmetros

para a classificação de água de chuva no Brasil, está em elaboração um projeto de norma ABNT para a padronização da captação e aproveitamento de água de chuva (TOMAZ, 2003). Assim, a água das chuvas em Cuiabá apresenta inicialmente características que possibilitam seu aproveitamento para fins não potáveis, entretanto são necessários novos estudos com uma análise mais completa de suas características físico-químicas e microbiológicas para se definir todos os seus possíveis usos.

Considerações Finais

Verificou-se que as águas de chuva em Cuiabá apresentam baixas concentrações de ânions, tratando-se de uma área continental que ainda não foi impactada pelo fenômeno das chuvas ácidas. Através da percepção do S.C.U., observa-se que a neutralização da acidez da chuva pode estar ligada às ações antrópicas na região, como a calagem. A técnica da calagem tende a se concentrar de maio a julho, pois o período é propício para que haja disponibilidade de calcário, veículos de transporte, além de máquinas disponíveis nas propriedades agrícolas para aplicar o corretivo no solo (fator difícil de ocorrer em período de colheita,

quando os maquinários estão ocupados). Outro fator importante levantado pelo S.C.U. é a formação geológica da área, pois as rochas onde predominam os carbonatos na Província Serrana formam grandes jazidas calcárias, exploradas a céu aberto para atender a demanda (da produção de cimento e, sobretudo agrícola) da região. Como resultado destas ações, do solo podem se originar partículas com capacidade de neutralizar a acidez atmosférica, compreendendo os resultados alcançados. Os teores de nitrato também se referem às emissões antrópicas, sobretudo dos veículos automotores (fontes móveis) e da queima do gás natural (fonte estacionária).

Entretanto, o estudo se refere às coletas realizadas no Campus da UFMT, o que tornam necessárias campanhas de coletas na área central desta cidade, e também no distrito industrial, para evidenciar se há diferenças em áreas com atividades diferenciadas. As baixas concentrações encontradas e o volume anual de chuva em Cuiabá permitem abrir uma discussão sobre a viabilidade da captação e aproveitamento das águas de chuva para fins não potáveis, de forma a conservar o lençol freático, e racionalizar o uso das águas superficiais.

MARQUES, R. ZAMPARONI, C. A. G. P., SILVA, E. C., MAGALHÃES, A., GUEDES, S. F., FORNARO, A. (2010). Rainwater chemical composition in continental tropical areas, Cuiabá-MT: considering Urban Climate System (U.C.S.). *Revista do Departamento de Geografia*, n. 20, p. 63 - 75.

Abstract: It is intended, in this paper, to discuss rainwater chemical composition in Cuiabá City, using the Urban Climate System (U.C.S.) perspective, considering sources emissions, topographical and geographic characteristics, and Man-Nature relationship. The samples were collected between 02/21 and 07/02/2006, which represent the end of the wet season and the beginning of the dry season. Acidity (pH measure), electric conductivity, nitrate, sulphate, chloride, nitrite and phosphate anions concentration were determined from 38 samples in which low anions concentrations were observed. These results indicate that Cuiabá City, being a continental area, has not been impacted with the acid rain phenomenon. The influence of the number of previous days without rain in the chemical composition variability was also evaluated.

Key words: Rainwater chemical composition; Theory of Urban Climate System; Cuiabá City.

Recebido em 18 de setembro de 2007, aceito em 15 de outubro de 2008.

Referências Bibliográficas

- BÁEZ, A.P.; BELMONT, R.D.; GARCÍA, R.M.; TORRES, M.C.B.; PADILLA, H.G. (2006). Rainwater chemical composition at two sites in Central Mexico. *Atmospheric Research*, v.80, n.1, p.67– 85.
- BRASIL (2008). Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Gráfico das Normais Climatológicas de Cuiabá: Temperaturas Mínimas Absolutas – 1931-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 20 jun. 2008.
- BRASIL (2005a). Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Anuário Mineral Brasileiro 2005. Brasília: DNPM. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em 29 nov. 2006.
- BRASIL (2005b). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Dados estatísticos de Cuiabá: 2005. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 08 jul. 2006.
- BRASIL (2005c). Ministério de Minas e Energia. *Balço energético nacional: dados energéticos estaduais*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 02 set. 2007.
- BRASIL (2005d). Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. In: MMA. Livro das Resoluções do CONAMA. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2006.
- BRASIL (2004). Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Anuário Mineral Brasileiro 2004. Brasília: DNPM, 2004 Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em 29 nov. 2006.
- CAMPOS, V. P.; COSTA, A. C. A.; TAVARES, T. M. (1998). Comparação de dois tipos de amostragem de chuva: deposição total e deposição apenas úmida em área costeira tropical. *Química Nova*, v.21, n.4, p.418-423.
- CHESTNUT, L. G.; MILLS, D. M. (2006). A fresh look at the benefits and costs of the US acid rain program. *Journal of Environmental Management*, v.77, n.3, p.252-266.
- CUIABÁ (Prefeitura). Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano da Prefeitura Municipal de Cuiabá – IPDU (2004). *CD Rom: Perfil Socioeconômico de Cuiabá – Volume II*. Cuiabá: IPDU, 2004.
- DE MELLO, W. Z. (2001). Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Pollution*, v.114, n.2, p. 235-242.
- DE MELLO, W. Z.; ALMEIDA, M. D. (2004). Rainwater chemistry at the summit and southern flank of the Itatiaia massif, Southeastern Brazil. *Environmental Pollution*, v.129, n.1, p. 63-68.
- FORNARO, A., GUTZ, I.G.R. (2006). Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil: Part 3. Trends in precipitation chemistry during 1983 – 2003 period, *Atmospheric Environment*, v.40, n.30, p. 5893-5901.
- FORNARO, A., GUTZ, I.G.R. (2003). Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil: Part 2. Contribution of formic and acetic acids, *Atmospheric Environment*, v.37, n.1, p. 117-128.

- FLUES, M.; HAMA, P.; LEMES, M. J. L.; DANTAS, E. S. K.; FORNARO, A. (2002). Evaluation of rainwater acidity of the rural region due to a coal-fired power plant in Brazil. *Atmospheric Environment*, v.36, n.14, p.2397-2404.
- GALLOWAY, J.N.; LIKENS, GE; KEENE, WC; MILLER JM (1982). The composition of precipitation in remote areas of the world. *Journal of Geophysical Research*, v.87, n.11, p. 8771-8786.
- HAN, G.; LIU, C. (2006). Strontium isotope and major ion chemistry of the rainwaters from Guiyang, Guizhou Province, China. *Science of the Total Environment*, v.364, n.1-3, p.165-174.
- HARRIS, D. C. (2001). *Análise Química Quantitativa*. Tradução de Carlos Alberto da Silva Riehl e Alcides Wagner Serpa Guarino. 5.ed. Rio de Janeiro, Editora LTC. 862 p.
- KULSHRESTHA, U.C.; GRANAT, L.; ENGARDT, M.; RODHE, H. (2005). Review of precipitation monitoring studies in India - a search for regional patterns. *Atmospheric Environment*, v.39, n.38, p.7403-7419.
- KULSHRESTHA, U.C.; KULSHRESTHA, M.J.; SEKAR, R.; SASTRY, G.S.R.; VAIRAMANI, M. (2003). Chemical characteristics of rainwater at an urban site of south-central India. *Atmospheric Environment*, v.37, n.21, p.3019-3026.
- LEAL, T. F. M.; FONTENELE, A.P.G.; PEDROTTI, J.J.; FORNARO, A. (2004). Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. *Química Nova*, v.27, n.6, p.855-861.
- LOPES, A. S. (1983). *Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo*. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato – Instituto Internacional da Potassa, 158p.
- MAITELLI, G. T. (1994). *Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- MATO GROSSO (Estado). Departamento de Transito - DETRAN-MT (2005). *Estatística da frota de veículos automotores de Mato Grosso em dezembro de 2005*. Disponível em: <<http://www.detran.mt.gov.br>>. Acesso em 08 jul. 2006.
- MARQUES, R.; ZAMPARONI, C.A.G.P; SILVA, E.C; BARBOSA, A.M.; ARRUDA, D.; EVANGELISTA, S.; MAGALHÃES, A. (2006). Ensaio preliminar para o monitoramento da acidez chuva em Cuiabá – MT. *Caminhos de Geografia*, v.21, n.17, p.225-236. Disponível em: <<http://www.caminhosdegeografia.ig.ufu.br>>. Acesso em 21 fev. 2006.
- MENZ, F. C.; SEIP, H. M. (2004). Acid rain in Europe and United States: an update. *Environmental Science & Policy*, v.7, n.4, p.253-265.
- MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P. (2000). Níveis e origem da acidificação das chuvas na Região de Rio Grande – RS. *Química Nova*, v.23, n.5, p.590-593.
- MONTEIRO, C.A.F. (1976). *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo, IGEOG-USP. (Série Teses e Monografias, 25)
- _____. *Teoria e Clima Urbano* (2003). In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (org.). *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, p. 9-67.
- OKUDA, T.; IWASE, T.; UEDA, H.; SUDA, Y.; TANAKA, S.; DOKIYA, Y.; FUSHIMI, K.; HOSOE, M. (2005). The impact of volcanic gases from Miyake Island on the chemical constituents in precipitation in the Tokyo metropolitan area. *Science of the Total Environment*, v.341, n.1-3, p.185-197.
- OSEKI, T.; IHARA, T.; OGAWA, N (2006). Study of pollutants in precipitation (rain and snow) transported long distance to west coasts of Japan Islands using oblique rotational factor analysis with partially non-negative constraint. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v.82, n. 1-2, p.15 – 23.
- RADAM BRASIL (1982). *Projeto Radam Brasil: Levantamento dos Recursos Naturais – Folha SD 21 Cuiabá*. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 26 vol., p. 67-100.
- REBELATTO, A. L. (2006). *Determinação de índices quantitativos de material particulado inalável nos períodos seco e úmido na cidade de Cuiabá*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.
- SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; SILVA, L.C.; AZEVEDO, A.A.; ARAÚJO, J.M.; ALVES, E.F.; SILVA, E.A.M.S.; AGUIAR, R. (2006). Effects of simulated acid rain on the foliar micromorphology and anatomy of tree tropical species. *Environ. Exper. Botany* v.58, p.158-168.
- SCHAEFFER, R.; SZKLO, A.S. (2001). Future electric power technology choices of Brazil: a possible conflict between local pollution and global climate change. *Energy Policy*, v 29, n.5, p.335-369.
- SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change*. New York, John Wiley & Sons.

- SIENKIEWICZ, E.; GASIOROWSKI, M.; HERCMAN, H. (2006). Is acid rain impacting the Sudetic lakes. *Science of the Total Environment*, v.369, n.1-3, p.139–149.
- TANG, A.; ZHUANG, G.; WANG, Y.; YUAN, H.; SUN, Y. (2005). The chemistry of precipitation and its relation to aerosol in Beijing. *Atmospheric Environment*, v.39, n.19, p.3397–3406.
- TOMAZ, P. (2003). *Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis*. 2.ed. São Paulo, Navegar. 180 p.
- XIE,S.; QI,L.; ZHOU,D. (2004). Investigation of the effects of acid rain on the deterioration of cement concrete using accelerated tests established in laboratory. *Atmospheric Environment*, v.38, n.27, p.4457–4466.
- WILLIAMS,M.R.; FISHER,T.R.; MELACK,J.M. (1997). Chemical composition e deposition of rain in the Central Amazon, Brazil. *Atmospheric Environment*, v.31, n.2, p.207-217.

