

CONCENTRAÇÕES DE AMÔNIO NA ÁGUA DA CHUVA E ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE AMÔNIA DE REBANHOS DOMÉSTICOS DE PINHEIRO E VIANA, BAIXADA MARANHENSE

Richardson G. Lima*

Departamento de Biologia, Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, s/n, 65040-080 São Luís – MA, Brasil

Paulo R. S. Cavalcante e Odilon T. Melo

Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, s/n, 65040-080 São Luís – MA, Brasil

William Z. de Mello

Departamento de Geoquímica, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Outeiro de São João Batista, s/n, 24020-141 Niterói – RJ, Brasil

Recebido em 11/7/08; aceito em 11/5/09; publicado na web em 6/10/09

RAINWATER AMMONIUM CONCENTRATIONS AND ESTIMATE OF AMMONIA EMISSIONS FROM DOMESTIC ANIMALS IN PINHEIRO AND VIANA, BAIXADA MARANHENSE. Rainwater samples (bulk deposition samples) were collected in Pinheiro and Viana. Rainwater pHs were higher than the range usually expected for unpolluted rain (5.0-5.6). The highest values were found in the beginning of the rainy season. High concentrations of ammonium found in the rainwater samples could probably explain the high pHs. Grazing animals and other human activities, combined with soil characteristics and climatic conditions can be the potential factors controlling the rainwater concentrations of ammonium in Baixada Maranhense.

Keywords: rainwater; ammonium; Baixada Maranhense.

INTRODUÇÃO

A amônia (NH_3) é um gás bastante solúvel em água. Entre suas várias aplicações, se destaca o uso na fabricação de fertilizantes, como agente neutralizador na indústria de petróleo e como gás de refrigeração em sistemas industriais.¹ Algumas fontes naturais de amônia incluem a superfície marinha e as emissões do solo, mas algumas atividades antrópicas (como queima de combustíveis fósseis, uso de fertilizantes nitrogenados e atividades pecuárias) têm provocado desequilíbrios nos ciclos naturais.¹⁻⁶

Na atmosfera, a amônia possui um tempo de residência que varia de uma a duas semanas, podendo ser retirada desta por processos físicos de deposições seca e úmida ou ainda, em menor proporção, por processos fotoquímicos.¹⁻⁴ Uma parte substancial dos ácidos gerados pela oxidação do dióxido de enxofre (SO_2) e dos óxidos de nitrogênio (NO_x) é neutralizada pela amônia, gerando sais de amônio (NH_4^+) na forma particulada.^{1,7,8} Essas partículas compõem a fração fina dos aerossóis atmosféricos (diâmetro aerodinâmico inferior a $2,5 \mu\text{m}$) e provocam efeitos adversos à saúde humana.¹ Portanto, a amônia pode ser considerada um contaminante atmosférico, desde que seja emitida em quantidades suficientes para produzir concentrações locais mais elevadas que a concentração ambiental.³

O monitoramento atmosférico de espécies químicas de importância ambiental é uma prática que tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, devido à crescente necessidade de se controlar a poluição em grandes centros urbanos, bem como evitar impactos negativos aos sistemas naturais. Assim, o conhecimento da composição química da água da chuva, juntamente com a análise das possíveis fontes de contribuição (naturais e antrópicas), é essencial para o entendimento e controle das atividades humanas sobre o meio ambiente.³

Este trabalho teve por objetivo determinar as concentrações de amônio na água da chuva em dois municípios da Baixada Maranhense,

bem como estimar a potencial contribuição de rebanhos domésticos como fontes locais de amônia para a atmosfera.

PARTE EXPERIMENTAL

Área de estudo

Este estudo foi realizado nas cidades de Pinheiro e Viana, capitais de dois dos vinte e um municípios que constituem a Baixada Maranhense. Localizada a noroeste do Estado do Maranhão, a Baixada Maranhense possui o maior conjunto de bacias lacustres do nordeste, com predominância de terras planas, baixas e inundáveis, e vegetação de manguezais, campos aluviais e flúvio-marinhas.^{9,10} Possui uma área de 17.579 km^2 e uma população de aproximadamente 518 mil habitantes. As estações climáticas são bem definidas, a chuvosa, que abrange o período de janeiro a junho, e a seca, de julho a dezembro. As precipitações encontram-se em torno de 2.000 mm anuais, com ocorrência de quase 90% do total de chuva nos primeiros seis meses do ano.

Os campos naturais da Baixada Maranhense servem como áreas de pastoreio para o gado bovino e bubalino durante os meses de julho a dezembro, período em que a incidência de chuvas no estado é menor.¹⁰ Porém, de janeiro a junho os campos tornam-se totalmente inundados, favorecendo uma elevada produtividade e biodiversidade,¹¹ sobretudo de peixes, principal base alimentar e econômica da região.^{10,11}

O município de Pinheiro ($2^\circ30' - 2^\circ45' \text{S}$; $45^\circ00' - 45^\circ15' \text{W}$) situa-se na bacia hidrográfica do rio Pericumã e possui uma área de 1.466 km^2 , com uma população de cerca de 74.100 habitantes.¹² A região apresenta um grande mosaico de vegetação, o qual se alterna entre o cerrado aberto nas chapadas e os campos inundáveis nas planícies. Também estão presentes as matas de igapó nas margens de rios e lagos, bem como capoeiras e babaçuais nas áreas de terra firme.¹³ A precipitação total da região situa-se acima de 2.000 mm anuais,^{11,14} com temperaturas variando entre 25 e $30 \text{ }^\circ\text{C}$.¹⁴

O município de Viana ($3^\circ00' - 3^\circ15' \text{S}$; $45^\circ00' - 45^\circ15' \text{W}$) possui uma área de aproximadamente 1.162 km^2 e população de cerca de 47.500

*e-mail: richlima@yahoo.com.br

habitantes,¹² sendo banhado por trechos dos rios Mearim, Pindaré e Maracu, este último genuinamente municipal. Existem também vários lagos, destacando-se o lago de Viana, localizado ao sul do município e em pleno perímetro urbano.¹⁵ O clima da região parece oscilar entre o Equatorial e o Subtropical, com temperaturas médias anuais em torno de 27 °C e índices pluviométricos acima de 2.000 mm.¹⁴

Coleta de amostras

Amostras de chuva (deposição total) foram coletadas em 2 pontos da Baixada Maranhense (cidades de Pinheiro e Viana), entre 01/01/2006 e 30/06/2006, por meio de funis de polipropileno com 24 cm de diâmetro, instalados a 2 m de altura do solo e conectados a garrafas de 20 L por intermédio de mangueiras plásticas. Antes do primeiro uso e de cada reutilização, os coletores foram lavados com solução de água e detergente neutro (Extran, Merk) e enxaguados pelo menos sete vezes com água destilada.

As coletas foram efetuadas semanalmente. Alíquotas de água de chuva (pelo menos 350 mL) foram retiradas de cada coletor, armazenadas e congeladas para posteriores análises físico-químicas em laboratório. No campo foram efetuadas as medidas de pH e condutividade através de um aparelho Hanna, modelo 8314, em alíquotas não filtradas de cada amostra. Para calibração foram utilizadas soluções tampão (4,0 e 6,89) para o pH e de KCl 0,01M (1413 $\mu\text{S cm}^{-1}$) para a condutividade. De cada amostra foram reservados 150 mL para análises de NO_3^- , SO_4^{2-} e Cl no laboratório na Universidade Federal Fluminense e o restante foi utilizado para análises dos demais íons (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e NH_4^+) no Laboratório de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão. Neste trabalho serão considerados apenas os resultados de NH_4^+ .

Análises químicas

No laboratório, as amostras foram deixadas à temperatura ambiente até total descongelamento e, em seguida, filtradas em membranas de acetato de celulose (Millipore) de 0,45 μm de diâmetro. O íon amônio (NH_4^+) foi determinado pelo método espectrofotométrico do azul de indofenol, um complexo que se forma a partir da reação da amônia com o ácido isocianúrico e fenol. A absorbância foi medida em um espectrofotômetro Hitachi, modelo U-1100. O limite de detecção das determinações de amônio foi 0,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (3,6 $\mu\text{g L}^{-1}$) com uma precisão na faixa de $\pm 5\%$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletadas no total 30 amostras de chuva (precipitação total) com volumes superiores a 350 mL, sendo 12 em Pinheiro e 18 em Viana. Do total, a maior parte (80%) apresentou valores de pH superiores a 5,6 (valor que resulta exclusivamente da dissolução do CO_2 atmosférico em água pura), principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, que marcam o início das chuvas no estado (Tabela 1). Ainda do total, 43% apresentaram valores de pH superiores

a 6,0. Atribui-se os elevados valores de pH às altas concentrações de amônio encontradas nas amostras de chuva nesse período, cuja média aritmética foi 25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (mediana = 17 $\mu\text{mol L}^{-1}$; n = 30). O pH médio, calculado a partir da concentração média de H^+ , foi de 5,6. Individualmente, a concentração média de NH_4^+ foi superior em Pinheiro (média = 30 $\mu\text{mol L}^{-1}$; mediana = 21 $\mu\text{mol L}^{-1}$; n = 12) em relação a Viana (média = 22 $\mu\text{mol L}^{-1}$; mediana = 17 $\mu\text{mol L}^{-1}$; n = 18). Os valores médios do pH em Pinheiro e Viana foram 5,6 (mediana = 6,1) e 5,8 (mediana = 6,0), respectivamente.

A concentração média de NH_4^+ em Pinheiro e Viana é uma ordem de grandeza superior à média anual (2 $\mu\text{mol L}^{-1}$) encontrada por Pérez¹⁶ na Lagoa do Caçó (município de Primeira Cruz, Maranhão), situada a aproximadamente 40 km a sudoeste dos Lençóis Maranhenses e 200 km a leste-nordeste de Pinheiro. As concentrações médias mensais de amônio na chuva dos municípios da Baixada Maranhense são semelhantes ou superam as médias aritméticas anuais verificadas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro¹⁷ (21 $\mu\text{mol L}^{-1}$) e na Ilha Grande⁷ (13 $\mu\text{mol L}^{-1}$), situada na costa sul do Estado do Rio de Janeiro. Na região central de São Paulo, Leal *et al.*¹⁸ reportaram média aritmética anual de amônio de 49 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e indicaram como potenciais fontes de amônia a decomposição da matéria orgânica de esgotos e lixo urbano, a eliminação metabólica de humanos e animais, a queima de biomassa e veículos equipados com catalisadores de três vias.¹⁸

A Figura 1 mostra as variações das concentrações médias mensais de amônio e médias de pH ao longo do período das chuvas. Nos dois locais, mas especialmente em Pinheiro, esses parâmetros mostram tendências temporais semelhantes, sugerindo que a dissolução da amônia possa ser o principal fator de controle do pH da água da chuva nas áreas estudadas. Sendo assim, quanto maior a concentração de amônio maior é o pH, devido à protonação da amônia [$\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq})$]. Embora as médias mensais das concentrações de amônio e pH apresentem tendências semelhantes e que podem justificar esse controle, é importante salientar que os valores dos coeficientes de correlação linear (*r*) entre amônio e pH não são estatisticamente significativos quando os dados são tratados individualmente para cada local de estudo. Os valores de *r* calculados para Pinheiro e Viana são, respectivamente, 0,524 (n = 12) e 0,011 (n = 18), inferiores aos valores críticos para *r*, que para $P < 0,05$ são, respectivamente, 0,576 e 0,468.¹⁹

Ocorrências de fontes de amônia locais e regionais, combinadas a fatores climáticos, podem explicar as concentrações elevadas de amônio nas amostras de chuva. As principais fontes potenciais emissoras de amônia relacionadas às atividades antrópicas locais são a pecuária e as queimadas (queima de biomassa vegetal). Considerando-se a ausência ou menor frequência de queimadas durante o período das chuvas (janeiro-junho), a contribuição da atividade pecuária na Baixada Maranhense deve ser considerada como a principal nesse período. Além disso, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) provoca diminuição da velocidade do vento na região entre os meses de janeiro e abril²⁰ (maior parte do período das chuvas), o que pode acarretar numa menor dispersão da amônia, favorecendo sua deposição nas proximidades de suas áreas-fonte.

Tabela 1. Médias aritméticas mensais das concentrações de amônio (em $\mu\text{mol L}^{-1}$) e pH em amostras de água de chuva de Pinheiro (n = 12) e Viana (n = 18), Baixada Maranhense, no período de janeiro a junho de 2006

	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho	
	NH_4^+	pH	NH_4^+	pH	NH_4^+	pH	NH_4^+	pH	NH_4^+	pH	NH_4^+	pH
Pinheiro	44,4 (4)*	6,5	ND	ND	39,6 (2)	6,2	12,1 (4)	5,2	27,2 (2)	5,9	ND	ND
Viana	38,4 (3)	6,3	ND	ND	26,0 (5)	5,7	15,6 (4)	5,9	14,2 (4)	5,7	18,3 (2)	5,8

ND = não determinado devido à ausência de chuvas no período; *Valores entre parênteses representam o número mensal de amostras de água de chuva.

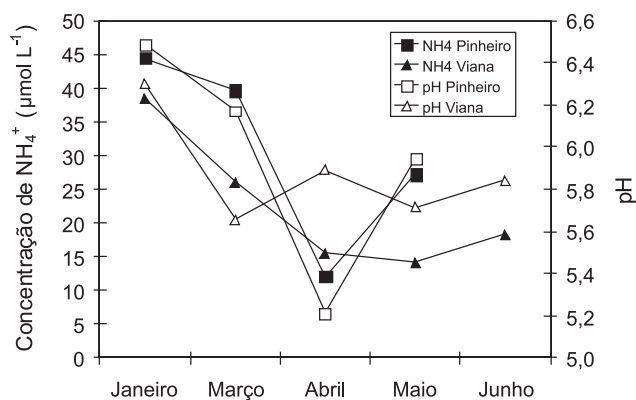


Figura 1. Médias mensais das concentrações de amônio e pH nas águas de chuva de Pinheiro e Viana (Baixada Maranhense) de janeiro a junho de 2006

A atividade pecuária na Baixada Maranhense destaca-se pelo seu crescimento nos últimos anos. Como as fezes e a urina dos animais são fontes de amônia, que se forma a partir da hidrólise da uréia [(NH₂)₂CO + H₂O → 2NH₃ + CO₂], buscou-se, através dos dados de efetivo de animais fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)¹² e dos fatores de emissão utilizados por Yamaji *et al.*²¹ para estimativa das emissões de amônia de animais domésticos em alguns países da Ásia, estimar as emissões de amônia para a atmosfera para a área de estudo. A taxa de emissão de amônia por categoria de animal (asinino, aves, bovino, bubalino, caprino, equino, muar, ovino e suíno) foi calculada através da Equação 1:

$$TE_i = FE_i \times PA_i \quad (1)$$

onde TE_i é a taxa de emissão de amônia (em kg NH₃-N ano⁻¹) por categoria de animal *i*, FE_i é o fator de emissão (em kg NH₃-N indivíduo⁻¹ ano⁻¹) e PA_i é população de animais (número de indivíduos).

Os contingentes populacionais de animais domésticos dos municípios de Viana e Pinheiro, os fatores de emissão por categoria de efetivo animal e as taxas de emissão de amônia calculadas encontram-se compilados na Tabela 2. A taxa de emissão de amônia (em massa de nitrogênio) estimada é de 947 t N ano⁻¹ (0,95 Gg N ano⁻¹, 1 G = 10⁹), dos quais 23% são atribuídos a Pinheiro e 77% a Viana. Considerando-se a área total dos dois municípios (2.628 km²), esta taxa de emissão representa um fluxo médio de emissão de amônia oriunda de animais domésticos da ordem 3,6 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (1 ha = 10⁴ m² = 0,01 km²).

Com base no produto da concentração média de amônio medida nas amostras de água de chuva em Pinheiro e Viana (25 µmol L⁻¹) com a precipitação média anual na região, que é de aproximadamente 2.000 mm, estima-se um aporte atmosférico de amônio de quase 7,0 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, valor quase duas vezes superior à emissão de amônia atribuída aos rebanhos desses municípios (3,6 kg N ha⁻¹ ano⁻¹). Alguns fatores podem, isoladamente ou combinados, justificar a incompatibilidade entre os valores estimados dos fluxos de emissão de amônia e de deposição de amônio. No caso dos fluxos de emissão de amônia, não se estimou a contribuição de outras fontes (naturais e antrópicas) como, por exemplo, solos, sistemas aquáticos costeiros e marinhos, vegetação e esgotos domésticos. Sistemas aquáticos costeiros e marinhos que atuam como corpos receptores de esgotos domésticos não tratados tendem a emitir amônia para a atmosfera.⁷ O transporte a longa distância de poluentes atmosféricos (inclusive amônia) procedentes da Região Metropolitana de São Luís (RMSL) e a possibilidade de deposição na Baixada Maranhense deve ser investigada no futuro. Na RMSL (com 1,21 milhões de habitantes), situada a cerca de 90 km a leste de Pinheiro e 110 km a nordeste de Viana, os ventos predominantes são os de nordeste, de

janeiro a abril, e de leste, em maio e junho,²² o que favorece o transporte de poluentes atmosféricos, procedentes do setor urbano e industrial da RMSL, em direção à Baixada Maranhense.

Tabela 2. Estimativa das emissões de amônia (kg N ano⁻¹) atribuídas aos rebanhos domésticos de mamíferos e aves dos municípios de Pinheiro e Viana, na Baixada Maranhense

Tipo rebanho	Efetivo do rebanho*		Fatores de emissão**	Taxas de emissão	
	Pinheiro	Viana		Pinheiro	Viana
Asinino	417	1.027	7,0	2.919	7.189
Aves	91.008	121.631	0,12	10.921	14.596
Bovino	23.389	20.162	5,6	130.978	112.907
Bubalino	3.285	21.602	3,4	11.169	530.069
Caprino	3.825	2.634	1,1	4.207	2.897
Eqüino	2.224	2.479	7,0	15.568	17.353
Muar	823	1.685	7,0	5.761	11.795
Ovino	734	529	1,4	1.028	741
Suíno	23.865	20.764	1,5	35.798	31.146
Total	149.570	192.513	-	218.349	728.693

* IBGE¹². ** Valores, em kg NH₃-N indivíduo⁻¹ ano⁻¹, adotados por Yamaji *et al.*²¹ para sistemas de gestão de resíduos de origem animal na Ásia.

Características físicas, químicas e biológicas dos solos e sedimentos desempenham papel importante na dinâmica do nitrogênio, ao qual se inserem os processos de produção e transferência da amônia para a atmosfera. A partir da mineralização da matéria orgânica nos solos e sedimentos ocorre a formação do nitrogênio amoniacal, NH_x (NH_x = NH₄⁺ + NH₃). O pH determina a distribuição entre a forma que permanece no substrato (NH₄⁺) e aquela sujeita à volatilização para a atmosfera (NH₃). Por outro lado, sob condições aeróbias, o nitrogênio amoniacal pode ser consumido pela ação microbiológica no processo de nitrificação, sendo convertido a nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻). Portanto, o teor de matéria orgânica, o pH e a disponibilidade de oxigênio constituem fatores importantes no controle dos níveis de nitrogênio amoniacal nesses sistemas. Além disso, a textura, a mineralogia da fração argila, a capacidade de troca catiônica, a umidade e a temperatura são outros fatores que podem influenciar na fixação do amônio ou volatilização da amônia nos solos e sedimentos. Solos saturados por água e com elevado pH, como os da Baixada Maranhense, podem contribuir para o acréscimo dos níveis de amônia na atmosfera.

No que tange às influências antrópicas, ausência de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, lançamento de esgotos não tratados em corpos d'água, depósitos e queima de lixo urbano, emissões veiculares e queima de biomassa são algumas das potenciais fontes emissoras de amônia na área de estudo. Portanto, são vários os processos naturais e antrópicos que, simultaneamente, podem justificar os elevados níveis de amônio verificados nas águas das chuvas da Baixada Maranhense. Estimativas das emissões de amônia dessas outras potenciais fontes são de maior complexidade e fogem ao escopo do presente trabalho, embora devam ser investigadas no futuro.

CONCLUSÕES

As amostras de água de chuva coletadas nos municípios de Pinheiro e Viana, no período de janeiro a junho de 2006, apresentaram predominantemente valores de pH superiores àqueles encontrados em regiões remotas do planeta ou pouco influenciadas pelas atividades humanas (5,0-5,6). Tal fato pode ser explicado pelos altos teores de amônio encontrados

nas chuvas dessas localidades. Com base nos dados estatísticos recentes relativos às populações dos principais animais criados para produção de alimento e uso para locomoção e transporte de carga, estima-se que os dois municípios contribuam com uma emissão de amônia da ordem de 1.150 t NH₃ ano⁻¹ (950 t N ano⁻¹). Entretanto, esse montante parece ser insuficiente para explicar o aporte de amônio estimado. Outras fontes naturais e antrópicas podem também contribuir para as concentrações elevadas de amônio encontradas nas chuvas de Pinheiro e Viana, tais como solos, sedimentos, sistemas aquáticos, esgotos não tratados, lixos urbanos, emissões veiculares e queimadas. Além disso, deve-se ressaltar que a origem do amônio na água da chuva se dá através da dissolução da amônia e dissolução de partículas de sais como bissulfato, sulfato e nitrato de amônio. Essas partículas encontram-se predominantemente associadas à fração fina (i.e., partículas de tamanho inferior a 2,5 µm) e, portanto, podem ser transportadas por longas distâncias. Poluentes atmosféricos emitidos da Região Metropolitana de São Luís tendem a ser transportados em direção à Baixada Maranhense pelos ventos predominantes de nordeste-leste (NE-E).

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e à coordenação do Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas, pelo apoio financeiro e logístico concedido a este projeto, a Valdilson e Nivaldo, pela imprescindível colaboração na coleta e estocagem das amostras, e a H. C. Gomes, R. M. Cutrim e P. A. de Souza, pela ajuda nas análises das mesmas.

REFERÊNCIAS

1. Felix, E. P.; Cardoso, A. A.; *Quim. Nova* **2004**, *27*, 123.
2. Guimarães, G. P.; de Mello, W. Z.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 54.
3. Ugucione, C.; Felix, E. P.; Rocha, G. O.; Cardoso, A. A.; *Eclat. Quím.* **2002**, *27*, 1.
4. Finlayson-Pitts, B. J.; Pitts Jr., J. N.; *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*, Academic Press: New York, 2000.
5. Smith, R. L.; Smith, T. M.; *Ecología*, 4th ed., Pearson Educación: Madrid, 2001.
6. Trivelin, P. C. O.; Oliveira, M. W.; Vitti, A. C.; Gava, G. J. C.; Bendasoli, J. A.; *Pesq. agropec. bras.* **2002**, *37*, 193.
7. de Souza, P. A.; de Mello, W. Z.; Maldonado, J.; Evangelista, H.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 471.
8. Mariani, R. L.; de Mello, W. Z.; *Atmos. Environ.* **2007**, *41*, 2887.
9. Gaspar, S. M. F. S.; Nunes, G. S.; Pinheiro, C. U. B.; Amarante-Jr, O. P. A.; *Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente* **2005**, *15*, 43.
10. Costa-Neto, J. P.; Barbieri, R.; Ibáñez, M. S. R.; Cavalcante, P. R. S.; Piorski, N. M.; *Bol. Lab. Hidrobiol.* **2001**, *14*, 19.
11. Ibáñez, M. S. R.; Cavalcante, P. R. S.; Costa-Neto, J. P.; Barbieri, R.; Pontes, J. P.; Santana, S. C. C.; Serra, C. L. M.; Nakamoto, N.; Mitamura, O.; *Aquatic Ecosystem Health and Management* **2000**, *3*, 521.
12. <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessada em Junho 2008.
13. Pinheiro, C. U. B.; *Estudos etnobiológicos: Baixada Maranhense*, Universidade Federal do Maranhão, Brasil, 2000.
14. <http://www.nemrh.uema.br/meteoro/meteoro.htm>, acessada em Outubro 2007.
15. Costa, C. L.; Lima, R. G.; Rodrigues, E. I.; Lopes, I. A.; Santos, M. C. F.; *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, São Paulo, Brasil, 2005.
16. Pérez, M. A. P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Fluminense, Brasil, 2003.
17. de Mello, W. Z.; *Environ. Pollut.* **2001**, *114*, 235.
18. Leal, T. F. M.; Fontenele, A. P. G.; Pedrotti, J. J.; Fornaro, A.; *Quim. Nova* **2004**, *27*, 855.
19. Rohlf, F. J.; Sokal, R. R.; *Statistical Tables*, W. H. Freeman and Company: New York, 1981.
20. Silva-Dias, M. A. F.; Cohen, J. C. P.; Gandu, A. W.; *Acta Amazonica* **2005**, *35*, 215.
21. Yamaji, K.; Ohara, T.; Akimoto, H.; *Atmos. Environ.* **2004**, *38*, 7111.
22. Silva, B. B.; Alves, J. J. A.; Cavalcanti, E. P.; Dantas, R. T. R.; *Rev. bras. eng. agríc. ambiental* **2002**, *6*, 431.