

## **NÍVEIS DE ACIDIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DE CHUVA EM MANAUS-AM.**

**Débora Carla Guimarães MOURA (1); Kamila Rangel PRIMO (2); Sheylla Maria Luz TEIXEIRA (3); Cláudia Magalhães do VALLE (4)**

- (1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas - CEFET-AM, Av. Sete de Setembro, 1975, Centro, CEP 69020-120, Manaus/AM, (92) 3621-6723, e-mail: [deboracarla87@gmail.com](mailto:deboracarla87@gmail.com)  
(2) CEFET-AM, e-mail: [mila048@hotmail.com](mailto:mila048@hotmail.com)  
(3) CEFET-AM, e-mail: [sheyllaluz@cefetam.edu.br](mailto:sheyllaluz@cefetam.edu.br)  
(4) CEFET-AM, e-mail: [cmvalle@cefetam.edu.br](mailto:cmvalle@cefetam.edu.br)

### **RESUMO**

No período de novembro de 2007 a junho de 2008 realizou-se o monitoramento do pH e da condutividade da água de chuva em três locais na região de Manaus/AM: Cidade nova (zona norte), Centro e Distrito Industrial (zona sul). O objetivo principal foi verificar a característica da precipitação nestes locais, que estão predominantemente sob influência das industriais locais. Um sistema manual para coleta de água de chuva foi utilizado e as medidas de pH e condutividade foram obtidas continuamente. O amostrador de precipitação total consistiu de um funil de polietileno, com 21,5 cm de diâmetro, recoberto com tela de nylon para impedir a contaminação das amostras por agentes externos, tais como folhas e insetos, acoplado a um frasco coletor de 5 L do mesmo material, revestido com papel alumínio para minimizar reações mediadas por microrganismos e mudanças fotoquímicas e outros tipos de intemperismos possíveis de ocorrer durante o período de estocagem da chuva no coletor, ambos suportados por estrutura metálica de 1,0 m, ficando a aproximadamente 1,5 m do solo. Os resultados de condutividade foram mais elevados nas amostras de precipitação total da região centro e sul. É possível que os maiores valores encontrados se devam ao período chuvoso, coincidente com o período do monitoramento, favorecendo uma redução de poluentes na atmosfera. Os valores de pH cresceram de acordo com o crescimento da condutividade, sugerindo a presença de compostos básicos na atmosfera, provavelmente de aerossóis, devido o acúmulo de material particulado no sistema de coleta. Os resultados mostraram valores de pH entre 3,5-4,5; 4,6-5,6 e 5,7-6,7 para 16,66%, 58,33% e 25% das amostras, respectivamente. O valor médio de pH durante o período estudado foi de 5,2, apontando que existe predominância de precipitação levemente ácida na região.

**Palavras-chave:** Atmosfera, Indústria, Chuva Ácida.

## 1. INTRODUÇÃO

É de suma importância o conhecimento da qualidade do ar de uma região, assim como os impactos decorrentes de sua deterioração, de forma a evitar danos ao meio ambiente e permitir o gerenciamento das fontes poluidoras. No estado do Amazonas o Instituto Nacional de Meteorologia/INMET monitora continuamente a qualidade do ar por meio de uma Estação Meteorológica do 1º Distrito de Meteorologia de Manaus (1ª DISME AM/AC/RR), situada na BR 319 no Distrito Industrial. Porém não há no estado, tampouco no Brasil, uma rede de monitoramento de águas de chuva, que vise sua caracterização quanto ao pH e à composição química. Dados sobre a qualidade das águas de chuvas são em geral obtidos a partir de pesquisas de curta duração e de grupos de universidade (CAMPOS, et al., 1997; LARA et al., 2001; LEAL et al., 2004; MELO, 2001; MIGLIAVACCA et al., 2005; MIRLEAN, et al., 2000).

O crescimento da industrialização, bem como da população urbana levaram a uma demanda maior de energia provocando, assim, maior emissão de poluentes atmosféricos ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , compostos orgânicos voláteis (VOCs) e aerossóis). A queima de combustíveis fósseis para geração de energia está entre as principais fontes de emissão destes poluentes atmosféricos. Dentre os efeitos causados por estas emissões podemos citar o efeito estufa e a precipitação ácida (MACHADO, 2005; MIGLIAVACCA et al., 2005).

Nas últimas décadas, as precipitações ácidas têm sido um problema ambiental sério nos Estados Unidos e na Europa. O aumento das emissões de  $\text{SO}_2$  proveniente da queima de combustíveis fósseis tem sido responsável pelo decréscimo do pH das precipitações, com valores entre 4 - 4,5. Nos países da América do Sul a questão da precipitação ácida tem sido estudada com menor ênfase existindo, ainda, poucos trabalhos relativos à qualidade da precipitação e seus impactos ambientais (CETESB, 2003).

Embora a precipitação atmosférica natural apresente caráter levemente ácido, devido à presença no ar de ocorrências naturais de enxofre, nitrogênio e  $\text{CO}_2$ , tem apresentado alterações na sua composição química, bem como uma redução significativa dos valores de pH, em alguns locais do mundo (MIGLIAVACCA et al., 2005).

A precipitação úmida contém diferentes espécies químicas iônicas e não iônicas. As espécies ionizadas desempenham papel importante nos processos de acidificação, além das espécies carbonáticas, destacam-se os cátions e os ânions inorgânicos  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ . Outras espécies iônicas também podem estar presentes nas precipitações úmidas, porém em concentrações menores, como os ânions inorgânicos (fluoreto e fosfatos) e orgânicos (formiato, acetato e oxalato) e alguns metais pesados (BAIRD, 2002; LEAL et al., 2004).

Em geral, para caracterização química da precipitação atmosférica são priorizadas as medidas de pH, condutividade,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$ . Pesquisas mais detalhada abrangem  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e, eventualmente, metais pesados e espécies orgânicas como ácidos carboxílicos (LEAL et al., 2004).

Neste contexto, a proposta deste trabalho é avaliar o grau de comprometimento da precipitação atmosférica total na cidade de Manaus/AM, devido ao lançamento de emissões de gases poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis utilizados para o uso industrial, residencial e queima de biomassa (desmatamento seguido de queimadas). Cabe ressaltar que são poucos os estudos relacionados à qualidade da precipitação atmosférica e seus impactos ambientais na cidade de Manaus. Logo, é indiscutível que esse estudo, contribuirá em muito para o aumento do acervo de conhecimentos sobre o desenvolvimento urbano de Manaus.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sabemos que o pH da água pura é 7,0, mas quando o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosfera se dissolve na água, ocorre a formação do ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), e portanto o pH da água em equilíbrio com o  $\text{CO}_2$  atmosférico é de 5,6. Apesar da chuva em equilíbrio com o  $\text{CO}_2$  já ser ácida, só dizemos que a chuva tem um excesso de acidez quando seu pH for menor que 5,6 (MIGLIAVACCA et al., 2005).

O aumento da acidez na chuva ocorre principalmente quando há um aumento na concentração de óxidos de enxofre e nitrogênio na atmosfera. Estes óxidos e o óxido de carbono são chamados de óxidos ácidos, porque em contato com a água (neste caso água de chuva) formam seus respectivos ácidos.

### 2.1. A Atmosfera

A atmosfera pode ser dividida em camadas, que estão relacionadas com propriedades químicas e físicas, mas que influem diretamente na tendência de mudança de temperatura da atmosfera de acordo com a altura. A

primeira camada que se estende do nível do mar até cerca de 16 quilômetros de altitude é conhecida como troposfera. Nela, a temperatura diminui com o aumento da altitude, resultado do calor emanado da superfície do solo que se dissipa na atmosfera. Logo acima da troposfera existe uma camada de temperatura relativamente constante, denominada tropopausa. A partir desta, inicia-se estratosfera, camada na qual a temperatura se eleva com o aumento da altitude. O fenômeno é causado pelas moléculas de ozônio que absorve radiação ultravioleta (BAIRD, 2002).

Apenas a troposfera mantém contato direto com a crosta terrestre e com seus seres vivos. Ela é o elemento básico para a sobrevivência dos organismos aeróbicos, os quais utilizam oxigênio livre ( $O_2$ ) em sua respiração. A maioria dos estudos sobre poluição do ar se refere à região da troposfera, pois é nela que ocorre intensa movimentação transformação dos componentes gasosos e das partículas emitidas pelos oceanos e constituintes, ou seja, pelos outros dois importantes compartimentos hidrosfera e litosfera (MACEDO, 2002).

Ao contrário do que parece ser senso comum, a atmosfera não é composta apenas por gases. Existe material sólido nela disperso, como poeira em suspensão, pólen, microorganismos, etc. Há, ainda, uma porção líquida dispersa, composta de partículas resultantes da condensação do vapor d'água, na forma de nuvens, neblinas e chuvas. Contudo, em termos de massa relativa, sem dúvida a principal parcela é gasosa. A porção gasosa do ar é composta de aproximadamente 78% de nitrogênio ( $N_2$ ) e 21% de oxigênio ( $O_2$ ). O 1% restante é formado por uma infinidade de gases minoritários, tais como  $CO_2$ , metano ( $CH_4$ ), hidrogênio ( $H_2$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), ozônio ( $O_3$ ) e os gases nobres (MANAHAN, 2004).

## 2.2. Transformações químicas na atmosfera

A atmosfera pode ser considerada um grande reator químico. Esse reator químico contém, além de  $O_2$ , que é um composto altamente reativo, diversos compostos em pequena concentração os quais podem atuar como reagentes e; ou catalisadores e a luz solar, como fonte de energia. Ao chegar à atmosfera, tais compostos começam imediatamente a sofrer transformações químicas. Como em toda reação, a velocidade dessas transformações podem ser muito rápida (minutos ou horas) ou muito lenta (anos). A velocidade da reação depende de vários fatores como concentração dos reagentes, temperatura, catalisador e reatividade da molécula (ROCHA et al., 2004).

Muitos dos compostos geralmente emitidos para atmosfera já foram convenientemente estudados e tiveram sua capacidade de reagir estabelecida, tal capacidade é conhecida como tempo de residência (Tabela 1), definido como o tempo médio de permanência do composto na atmosfera.

**Tabela 1. Tempo de residência e composição média de alguns gases na atmosfera.**

Compostos	Tempo de residência (a: anos; d: dias; h: horas)	Composição em ppb (parte por bilhão em volume)
dióxido de carbono, $CO_2$	4a	360.000
monóxido de carbono, CO	0,1a	100
metano, $CH_4$	8a	1.600
formaldeído, HCOH	1d	1-0,1
ácido fórmico $HCO_2H$	5d	2-0,1
óxido de dinitrogênio, $N_2O$	85a	310
óxido nítrico, NO	1d	0,1
dióxido de nitrogênio, $NO_2$	1d	0,3
amônia, $NH_3$	5d	1
dióxido de enxofre, $SO_2$	1-4d	0,01-0,1
sulfeto de hidrogênio, $H_2S$	24h	0,05
sulfeto de carbono, $CS_2$	40d	0,02
dimetil sulfeto, $CH_3-S-CH_3$	0,5d	0,005
peróxido de hidrogênio, $H_2O_2$	1d	0,1-10
cloreto de metila, $CH_3Cl$	1,8a	0,7
cloreto de hidrogênio, HCl	4d	0,001

A informação sobre o tempo de residência é muito importante para reconhecer o raio de reação de um composto tomando com base o local em que ocorreu a emissão. O  $NO_2$ , por exemplo, que tem um dia de tempo de residência, quando emitido pode atuar somente na região em que o vento conseguir leve-lo nessas 24 horas, o que significa quilômetros de distancia. Todavia o  $CO_2$  conta com o tempo de residência de quatro

anos. Portanto, nesse caso ele pode, em função desse longo tempo, espalhar-se por toda a atmosfera do planeta quando emitido em qualquer ponto da superfície terrestre. É importante salientar que o tempo de residência é um valor médio de referência que pode mudar, dependendo das condições ambientais (ROCHA et al., 2004).

Os processos envolvendo transformações químicas na atmosfera são importantes porque tendem a manter a composição dela em estado estacionário. Os diversos compostos que nela entram são transformados quimicamente em espécies mais solúveis em água, e isso posteriormente favorece seu retorno à crosta terrestre por processos como a chuva, algo similar a um processo de limpeza com detergente e água (MANAHAN, 2004).

### **2.3. Tipos de Amostras**

Amostras de precipitação podem ser coletadas usando-se coletores de precipitação total ou de precipitação apenas úmida. Sabe-se que para garantir a representatividade de um evento chuvoso são igualmente necessários cuidados quanto à coleta da precipitação, estocagem da amostra e análise dos seus constituintes. Existem na literatura inúmeros trabalhos publicados sobre estudos de caracterização da precipitação úmida em diversas partes do mundo. No entanto, a escolha da metodologia amostral, é influenciada pelos objetivos do estudo, assim como por aspectos econômicos e logísticos do pesquisador (CAMPOS, et al., 1997).

#### *2.3.1. Precipitação total*

A amostragem de precipitação total (coletor aberto permanentemente durante eventos chuvosos e períodos secos) refere-se à coleta dos componentes atmosféricos da deposição úmida (chuva) e seca (gases dispersos e partículas em suspensão). Este método é usado quando o interesse do estudo focaliza a estimativa do aporte total atmosférico. Porém estes coletores são suscetíveis à evaporação de água e de componentes voláteis da amostra, particularmente sob condições de temperaturas elevadas aos longos períodos de exposição.

#### *2.3.2. Precipitação úmida*

A amostragem de precipitação apenas úmida (coletor aberto exclusivamente durante o período chuvoso) inclui em termos de precipitação seca somente a fração que é retirada da atmosfera durante o período de chuvas. Coletores de precipitação apenas úmida minimizam a coleta da precipitação seca e a evaporação através de uma tampa sobre um funil que abre e fecha automaticamente no início e no fim do evento chuvoso, por um mecanismo eletrônico comandado por um sensor de condutividade. A estabilidade das amostras assim coletadas aumenta também para determinadas espécies, pela exclusão de componentes terrestres trazidos pela poeira.

#### *2.3.3. Precipitação seca*

A combinação dos dois tipos de amostragem, em paralelo, permite uma estimativa da precipitação seca, assim como uma comparação entre as concentrações da composição iônica da precipitação atmosférica em função do tipo de amostragem. Devido aos aspectos econômicos e logísticos citados anteriormente, este trabalho visou caracterizar somente a precipitação atmosférica total em três pontos de amostragem no Município de Manaus, através dos parâmetros de pH e condutividade.

## **3. MATERIAIS E METODOS**

### **3.1. Área de estudo**

#### *3.1.1. Caracterização climática do Amazonas*

O clima é constituído de determinados elementos formadores e sofre influência de vários fatores. Os principais elementos formadores do clima são temperatura, chuvas, massas de ar, umidade e pressão atmosférica. Os fatores de influenciam no clima são altitude, latitude, massas líquidas ou rios, estações do ano, vegetação e ação antrópica (PEIXOTO; PEIXOTO, 1995).

Conforme a classificação de Köppen, os climas do Amazonas correspondem aos tipos Am<sup>1</sup> (Equatorial) e Af<sup>2</sup> (sub-Equatorial). A maior parte do Estado do Amazonas é marcado pelo clima do tipo Equatorial quente-úmido, mas na parte noroeste do Estado, onde há presença de serras e de vegetação abundante, o clima se torna superúmido, com chuvas constantes, formando o tipo sub-Equatorial. O clima Equatorial apresenta

---

<sup>1</sup> A= climas tropicais chuvosos; m= monçônico com uma estação seca.

<sup>2</sup> A= climas tropicais chuvosos; f= sempre úmido.

temperaturas médias elevadas, superior a 25 °C e na época mais seca atinge até 40 °C (PEIXOTO; PEIXOTO, 1995).

A coluna pluviométrica alcança cotas elevadas, atingindo um total médio anual de 2.500 mm, com cerca de 180 dias de chuvas. Logo, a região possui duas estações bem definidas: (seca e chuvosa), reguladas pela pluviosidade, segundo a maior ou menor frequência de chuvas e não pela temperatura. De maneira geral, a época mais chuvosa (inverno) ocorre normalmente a partir de dezembro e tem duração de cinco a seis meses, sendo março o mês mais chuvoso. Na estação seca (verão), de julho a novembro, predominam chuvas de caráter convectivo, geralmente de grande intensidade e curta duração (DINIZ, 1986).

### 3.1.2. Localização geográfica da área de estudo

Manaus está localizada a leste (latitude: 2° 57' – 3° 10' e longitude: 59° 53' – 60° 07'); do Estado do Amazonas (Figura 1), com área territorial de 14.337 km<sup>2</sup>. O Amazonas está localizado na região Norte, sua posição geográfica é limitada pelas latitudes: norte - 02° 08' 30" e sul - 09° 49' 00", longitudes: leste - 56° 04' 50" e oeste - 73° 48' 46"; é o Estado com maior área territorial do Brasil com 1.577.820,2 km<sup>2</sup> ([www.pmm.am.gov.br](http://www.pmm.am.gov.br)).

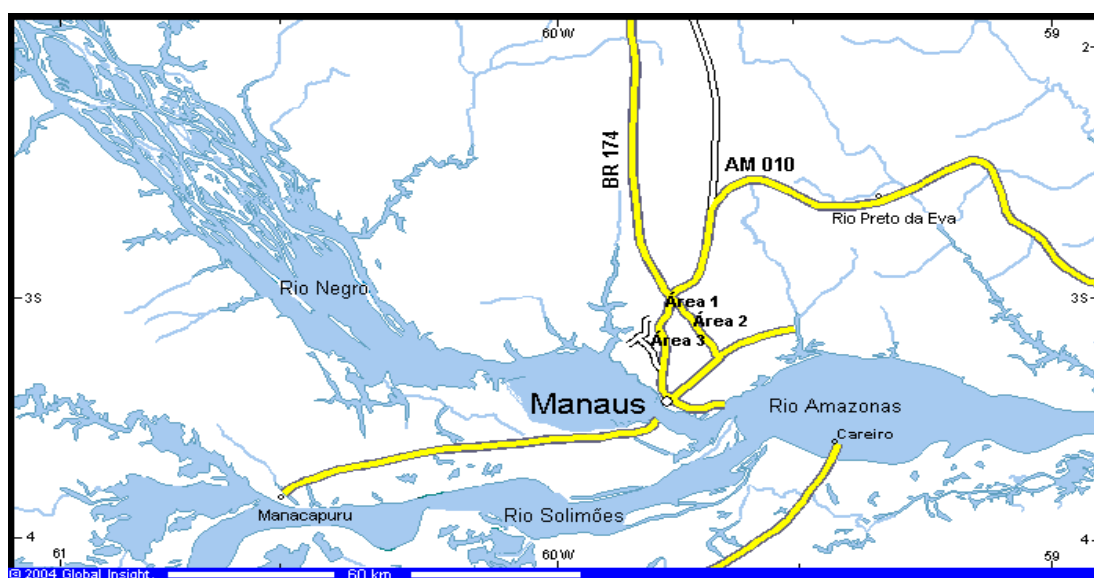


Figura 1. Mapa de localização das áreas de estudo 1, 2 e 3, na cidade de Manaus, (Fonte: [www.multimap.com](http://www.multimap.com)).

#### 3.1.2.1. Caracterização dos três locais de coleta

**Área 1** – Cidade Nova, localizada ao norte de Manaus. Foi selecionado um ponto de amostragem no Conjunto residencial Flamboian, na proximidade da Av. das Torres. É uma área com pouco fluxo de veículos, existem espécies de vegetação, primária e secundária no local. O coletor foi instalado na laje de uma residência (≈ 6 m de altura).

**Área 2** – Centro, localizado na zona central da cidade de Manaus. Neste ponto há um intenso fluxo de veículos leves e pesados (principalmente ônibus). O coletor foi instalado no terraço do prédio do CDI no Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas/CEFET-AM (≈15 m de altura) na Unidade Sede.

**Área 3** – Distrito Industrial de Manaus, localizado a sudeste da cidade, com vegetação em sua grande maioria secundária e muito pouca vegetação primária. Recebe descargas de esgotos domésticos, efluentes químicos e resíduos sólidos, sendo considerado uma área com grande potencial poluidor, especialmente de metais pesados como: Cu, Cr e Pb, e restos de material orgânico, como madeira e papéis. O coletor foi instalado no terraço da Unidade Descentralizada do CEFET-AM.

Alguns critérios foram seguidos para a escolha dos locais de amostragem conforme Normas ASTM (1996), dentre as quais se citam: distância das fontes poluidoras, condições logísticas (acesso, segurança, fornecimento de energia elétrica), direção predominante do vento e distância de obstáculos que possam interferir na amostragem.

A tabela 2 apresenta um resumo dos três pontos amostrados, nas três áreas de coleta, indicando sua localização geográfica, altitude, justificativa e o total geral das amostras coletadas, assim como a sigla que será usada para cada amostra ao longo deste trabalho.

**Tabela 2. Localização e justificativa dos locais de coleta.**

Local	Sigla	Zona	Coordenadas	Justificativa	Nº de amostras
Cidade Nova	N	Norte	03° 05' 61" S 59° 57' 56" W	Situado na direção predominante do vento da região.	12
Cefet	C	Centro	03° 08' 03" S 60° 00' 60" W	Área com intenso fluxo de veículos leves e pesados.	12
Uned	D	Sul	03° 07' 88" S 59° 57' 83" W	Dados meteorológicos de superfície.	12
Quantidade total de amostras coletadas					36

### 3.1.3. Procedimento de amostragem

Foram realizadas coletas de novembro/2007 a junho/2008, resultando em doze amostras, por área, num total de 36 amostras. Na primeira amostragem, fez-se o reconhecimento da área e a escolha dos locais para posicionamentos dos coletores, identificação das amostras, com descrições dos locais amostrados, e localização geográfica usando um GPS (Global Position System) marca Garmin, modelo Etrex Legend. Nas demais amostragens, foram repetidos os procedimentos da primeira.

O amostrador de precipitação total consistiu de um funil de polietileno, com 21,5 cm de diâmetro, recoberto com tela de nylon para impedir a contaminação das amostras por agentes externos, tais como folhas e insetos, acoplado a um frasco coletor de 5 L do mesmo material, revestido com papel alumínio para minimizar reações mediadas por microrganismos e mudanças fotoquímicas e outros tipos de intemperismos possíveis de ocorrer durante o período de estocagem da chuva no coletor, ambos suportados por estrutura metálica de 1,0 m, ficando a aproximadamente 1,5 m do solo.

Assegurou-se a integridade das amostras lavando-se o conjunto (funil e coletor), mensalmente, com solução de  $\text{HNO}_3$  1% v/v, seguida de exaustivo enxágüe com água tipo 1 (Mili-Q). Após cinco enxágües, foram utilizadas medidas de condutividade. O material foi considerado “limpo” quando as medidas de condutividade não atingiram valores  $> 2 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Desta forma adotou-se como prática, o mínimo de cinco enxágües com água (Mili-Q) após a limpeza com ácido nítrico. Os frascos coletores (250 e 500 mL) também do mesmo material receberam limpeza similar e foram mantidos com água (Mili-Q) até o momento do uso. Adicionalmente, cuidou-se para que os frascos recebessem mais dois enxágües com a própria amostra.

A frequência de amostragem ao longo do trabalho foi por evento chuvoso (com a retirada do frasco coletor no máximo 24 h após o evento), com as amostras sendo separadas em alíquotas, de acordo com as técnicas analíticas aplicadas para as diferentes determinações.

## 3.2. Procedimentos Analíticos

### 3.2.1. Soluções e reagentes

Todas as soluções foram preparadas com água (Mili-Q). As soluções padrões foram armazenadas sob refrigeração a 4° C. A vidraria, os recipientes assim como os frascos de polietileno (500 mL) para armazenagem de soluções e amostras, respectivamente, também receberão o mesmo tratamento de limpeza descrito acima no item 3.1.3.

### 3.2.2. Medidas de pH

As medidas de pH das amostras de chuva foram feitas com um potenciômetro Tecnal modelo E 516 (precisão 0,02 unidades de pH), usando um eletrodo de vidro combinado calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. As medidas eram feitas sem agitação aguardando-se até leitura estável ( $\approx 1$  minuto).

### 3.2.3. Medidas de condutividade

Essas medidas foram feitas com um condutivímetro PoliControl modelo COM 6 provido com célula de constante igual a  $1,0 \text{ cm}^{-1}$  para as medições de condutividade termostatizadas a  $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . A calibração do condutivímetro foi realizada com solução padrão de  $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de KCl, com condutividade de  $147 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ .

#### 4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O índice de precipitação registrado segundo o INMET/Manaus durante o período de amostragem foi de 2.061,3 mm que é 1,4 vezes maior do registrado no ano anterior. Esta diferença é atribuída, provavelmente ao fenômeno do El Nino que influenciou o clima da região durante o período de realização desse trabalho.

A tabela 3 apresenta as médias e os valores mínimos e máximos de pH e condutividade das amostras, os resultados representam a média das doze amostras de cada local.

**Tabela 3. Valores da média, mínimos e máximos de pH e condutividade das amostras.**

Local	Variáveis	Média	Desvio Padrão	Min.	Max.
Norte N=12	pH	5,1	0,7	4,1	6,7
	Condutividade	44,2	13,9	27,6	67,8
Centro N=12	pH	5,2	0,7	4,2	6,5
	Condutividade	27,1	11,9	9,4	44,4
Sul N=12	pH	5,4	0,9	3,9	6,6
	Condutividade	41,7	15,0	22,4	72,9
Região N=36	pH	5,2	0,7	3,9	6,7
	Condutividade	37,7	15,3	9,4	72,8

O valor médio de pH da região durante o período estudado foi de 5,2 (Tabela 3) estando na faixa de valores reportados por vários autores para áreas urbanas no Brasil (Rio Grande do Sul, São Paulo, Bahia), porém um pouco acima dos valores encontrados em amostras de precipitação úmida coletadas por Williams et al. (1997) no lago Calado, aproximadamente a 80 km de Manaus, no Rio Solimões, de 1989 a 1990. O valor de pH médio obtido foi igual a 4,8 e os ácidos orgânicos foram a causa principal da acidez. Concentrações mais altas são esperadas para as amostras de precipitação total, uma vez que durante os períodos secos (sem precipitação), ocorre a deposição seca de gases e material particulado no coletor de precipitação total.

Os resultados de todas as amostras apontaram os valores entre 9,4 – 24; 25 – 55 e 56 – 72,9 para 14%, 72% e 14% respectivamente (Figura 2b). Com relação aos valores de pH entre 3,5-4,5; 4,6-5,6 e 5,7-6,7 os resultados foram 16,66%, 58,33% e 25%, respectivamente (Figura 2a). Desta forma verifica-se que a região apresenta condições geradoras de chuva ácida e muito provavelmente de origem local.

Comparando os valores de pH dos três locais de coleta observou-se de modo geral uma boa correlação entre as medidas, sendo melhor a correlação entre as medidas das áreas norte e sul (Figura 2a). O mesmo não se observa nas medidas de condutividade (Figura 2b). Os valores de pH cresceram de acordo com o crescimento da condutividade, sugerindo a presença de compostos básicos na atmosfera. É possível ainda que os maiores valores encontrados se devam ao período chuvoso, coincidente com o período do monitoramento, favorecendo uma redução de poluentes na atmosfera. Pois um maior volume de chuva implica em menor concentração de um determinado elemento.

Os resultados de pH e condutividade foram mais elevados nas amostras do Centro e Distrito Industrial, devido muito provavelmente pelo acúmulo de material particulado no sistema de coleta, resultante de um maior fluxo de veículos leves e pesados nestas duas áreas e também pela influência da deposição seca nas amostras de precipitação total, associada ainda às condições meteorológicas predominantes na região (ventos de norte e nordeste) no período de coleta.

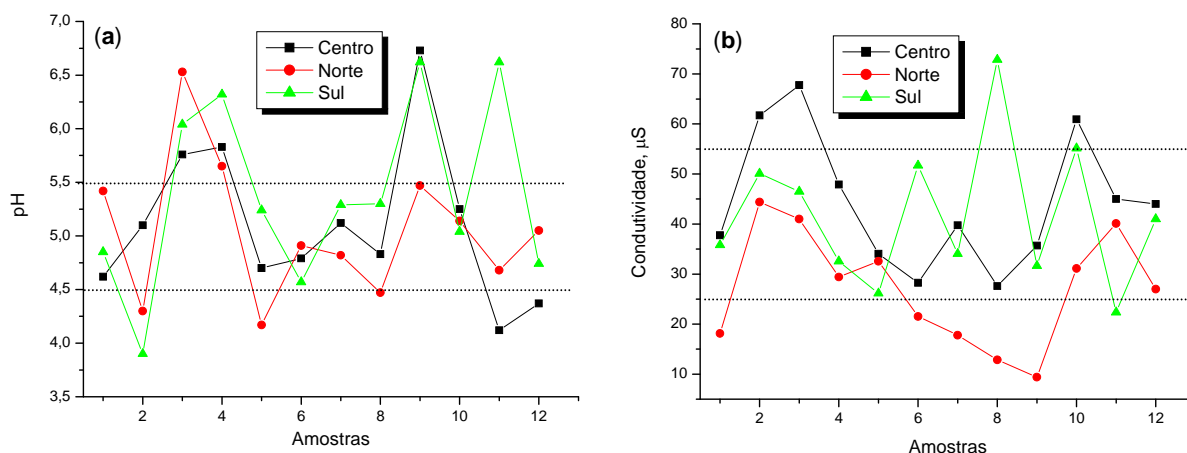


Figura 2. Correlação ente os valores de pH (a) e condutividade (b) dos três locais de coleta.

Na figura 3 observa-se uma forte correlação entre as medidas de pH e de condutividade, nas amostras do Centro, entretanto o mesmo não se observa nos outros locais e coleta.

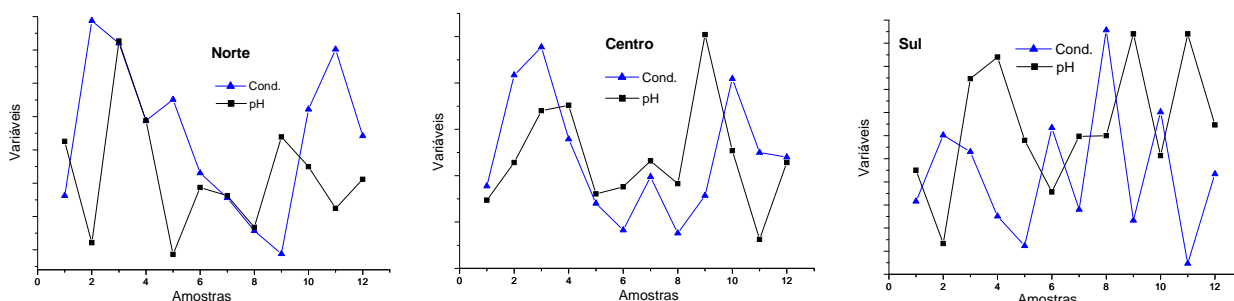


Figura 3. Correlação entre pH e condutividade dos três locais e coleta.

Como já citado anteriormente o valor médio de pH da região durante o período estudado foi de 5,2, apontando que existe predominância de precipitação levemente ácida.

## 5. CONCLUSÃO

A análise dos resultados das precipitações permitiu identificar eventos de chuvas ácidas no Município de Manaus/AM. Os valores de pH registrados para as chuvas de modo geral ficaram entre 4,6 e 5,6 (58%), sendo os valores mais baixos verificados na área norte. A média dos valores de pH registrados para os três locais de coleta foram de 5,1 – 5,2 – 5,4 para as zonas norte, centro e sul, respectivamente. O valor médio do pH para os três locais foi de 5,2, considerado como o *background* do pH para as chuvas da região. A relação entre os parâmetros de pH e condutividade e os dados meteorológicos permitiu indicar que as chuvas ácidas em Manaus são provocadas pelas emissões atmosféricas de seu parque industrial.

## REFERÊNCIAS

- ASTM; **Standard Guide for Preparation of Materials Used for the Collection and Preservation of Atmospheric Wet Deposition:** D 5012-01, West Conshocken, PA, 1996.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.
- CAMPOS, V.P.; COSTA, A.C.; TAVARES, T.M. **Comparação de dois tipos de amostragem de chuva: deposição total e deposição apenas úmida em área costeira tropical**. Quím. Nova v. 21, n. 4, p.418-423, 1998.
- CETESB – **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2002**, Secretária do Meio Ambiente, Série Relatórios – ISSN 0103-4103, São Paulo, 2003, <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acessado: em maio 2008.



- DINIZ, T. D. de A. S. **Característica climática da Amazônia oriental**. Pesquisa sobre utilização e conservação do solo da Amazônia oriental, Relatório Final do Convênio EMBRAPA/CPATU/GTZ, Belém documentos. 1986. 40p.
- LARA, L.B.L.S. ARTAXO, P. MARTINELLI, L.A; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; KRUSHER, A.; AYRES, G.P.; FERRAZ, E.S.B; BALLESTER, M.V.; **Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brasil**. Atmospheric Environment, v. 35, p.4937-4945, 2001.
- LEAL, T.F.M.; FONTENELE, A.P.G.; PEDROTTI, J.J. FORNARO, A. **Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo**. Quim. Nova, v. 27, n. 6, p.855-861, 2004.
- MACEDO, J.A.B. **Introdução à Química Ambiental**. Juiz de Fora, 2002. 487p.
- MACHADO, P.O. **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global**. Quim. Nova, v. 28, n. 2, p.239-334, 2005.
- MANAHAN, S.E. **Environmental Chemistry**. 8. ed. London: CRC Press, 2004. 782p.
- MELO, W.Z. **Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil**. Environmental Pollution, v. 114, p.235-242, 2001.
- MIGLIAVACCA, D.M.; TEXEIRA, E.C.; MACHADO, A.C.M.; PIRES, M.R. **Composição química da precipitação atmosférica no Sul do Brasil – Um Estudo Preliminar**. Quim. Nova, v. 28, n. 3, p.371-379, 2005.
- MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P. **Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande/RS**. Quím. Nova, v. 23, n.5, p.590-593, 2000.
- PEIXOTO, A.M.S.; PEIXOTO, R.S. **Naturalmente Amazonas: Noções de Geografia**. Belo Horizonte: Ed. Lê. 1995. 96p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE MANAUS, 2004. Disponível em, <<http://www.pmm.am.gov.br>>  
Acessado: em dezembro 2007.
- ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. **Introdução à Química Ambiental**, Porto Alegre: Bookman, 2004. 154p.
- WILLIAMS, M.R.; FISHER, T.R.; MELACK, J.M. **Chemical Composition and deposition of rain in the central Amazon, Brazil**. Atmospheric Environment, v.31, n. 2, p.207-217. 1997.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEAM pelo financiamento do projeto. Agradecem também ao contínuo apoio do CEFET-AM.