



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E MANEJO DE RECURSOS NATURAIS
CURSO DE MESTRADO

**FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA E PRIMEIROS ESTUDOS SOBRE
DEPOSIÇÃO ÚMIDA EM RIO BRANCO, ACRE, BRASIL**

EDUARDO ERON VIEIRA GUEDES

**Rio Branco
2007**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E MANEJO DE RECURSOS NATURAIS
CURSO DE MESTRADO

**FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA E PRIMEIROS ESTUDOS SOBRE
DEPOSIÇÃO ÚMIDA EM RIO BRANCO, ACRE, BRASIL**

EDUARDO ERON VIEIRA GUEDES

Orientador: Prof. Dr. Alejandro Fonseca Duarte

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais.

Rio Branco – AC

2007

FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA E PRIMEIROS ESTUDOS SOBRE DEPOSIÇÃO ÚMIDA EM RIO BRANCO, ACRE, BRASIL

RESUMO: As atividades antropogênicas de ocupação e uso de grandes áreas na Amazônia são caracterizadas pela retirada da floresta nativa através das ações de derrubada e queima da vegetação, as queimadas elevam a concentração de partículas de fumaça na atmosfera, alterando sua composição, quanto à acidez e ao aumento de substâncias dissolvidas na água de chuvas, o qual está relacionado com os sistemas meteorológicos e as condições da atmosfera no momento da deposição. As coletas da deposição úmida, referidas neste trabalho, foram realizadas em um sítio experimental, em Rio Branco, localizado no leste do Acre. Para isso se utilizou um aparelho automático coletor de chuva, com abertura e fechamento controlados por um sensor de umidade, a chuva coletada foi distribuída em duas alíquotas independentes, uma delas contendo um bactericida conhecido "Thymol", para conservação. As amostras de água de chuva foram submetidas a análises físico-químicas de pH e de condutividade elétrica. No total 131 eventos individuais, correspondentes ao período entre agosto de 2003 e agosto de 2005, aproximadamente. Os valores de pH mais freqüentemente registrados se distribuíram ao redor de 4,8; e o valor da condutividade elétrica variou entre 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estes resultados podem ser característicos para a região leste e norte do estado do Acre, bem como para a Amazônia ocidental e outras regiões da Amazônia. O presente trabalho, além da mencionada caracterização, envolve também a estruturação das condições metodológicas e experimentais que darão seqüência a estudos de longa duração, no marco da Química da Atmosfera na Amazônia.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia ocidental, Química da atmosfera, deposição úmida.

FUNDAMENTALS OF METHODOLOGY AND FIRST STUDIES ON WET DEPOSITION IN RIO BRANCO, ACRE, BRAZIL

ABSTRACT: Anthropogenic activities related with occupation and uses of great areas in Amazonia are characterized by the withdrawal of the native forest by logging and burning of the vegetation. Forest fires are the source of smoke particle concentration in the atmosphere, modifying its composition and originating acid rain, so as the increase of dissolved substances in the rain water. This phenomenon is concerned with meteorological systems and the conditions of the atmosphere at the moment of deposition. Wet deposition study developed in this work, had been carried out in an experimental small site, in Rio Branco, located in the east of Acre. An automatic precipitation sampler was employed, with controlled opening and closing of rain collector driven by a wet sensor. Collected rain was distributed in two independent aliquots, one of them containing a bactericidal substance known as "Thymol", for conservation. Physical-chemical analyses of pH and electric conductivity were carried out in each rain water sample. In sum 131 samples were analyzed, belonging to the period from august 2003 to august 2005. More frequently pH values were distributed around 4,8; and in the case of electric conductivity It were in the interval from 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$. These results can characterize the East and North Region of the Acre State, such as the South Western Amazonia. Present work is devoted to the mentioned characterization and at the same time is concerned with the assessing of the methodological and experimental conditions to ensure the continuation of long time studies in the branch of Atmospheric Chemistry in Amazonia.

KEY-WORDS: Western Amazonia, Atmospheric Chemistry, Wet deposition.

© GUEDES, E. E. V. 2007.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC.

G924f	<p>GUEDES, Eduardo Eron Vieira. <i>Fundamentação metodológica e primeiros estudos sobre deposição úmida em Rio Branco, Acre, Brasil</i>. 2007. 52f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Acre, Rio Branco-Acre, 2007.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Alejandro Antonio Fonseca Duarte</p> <p>1. Amazônia Ocidental, 2. Química da atmosfera, 3. Deposição úmida, I. Título</p>
-------	--

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E MANEJO DE RECURSOS NATURAIS

CURSO DE MESTRADO

**Título: FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA E PRIMEIROS ESTUDOS
SOBRE DEPOSIÇÃO ÚMIDA EM RIO BRANCO, ACRE, BRASIL**

Autor: Eduardo Eron Vieira Guedes

Orientador: Prof. Dr. Alejandro Fonseca Duarte

Data do Seminário Público:

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

Prof. Dr. Alejandro Antonio Fonseca Duarte
Universidade Federal do Acre

Prof. Dr. Judson Ferreira Valentim
Embrapa-Acre

Prof. Dr. Francisco Eulálio Alves dos Santos
Universidade Federal do Acre

Prof. Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt
Embrapa-Acre

**Rio Branco-AC
2007**

Dedicatória

Dedico este estudo a meus pais, à minha esposa, aos meus amados filhos e aos meus irmãos, os quais estiveram presentes durante esta etapa de minha vida, dando-me apoio, força, coragem e amor.

Agradecimentos

Ao único Deus todo poderoso e a Jesus Cristo seu filho nosso salvador pelo dom da vida e pelas bênçãos recebidas;

À minha amada esposa Sulamitta pelo amor, carinho e paciência dispensados a mim especialmente durante esse período;

Aos meus queridos e amados filhos Eduarda Elen e João Henrique que chegaram na minha vida no transcorrer desse mestrado tornando-se meu maior estímulo para concretizar meus objetivos;

Aos meus pais João Guedes e Rosimar Guedes pela dedicação a minha formação desde a infância;

Aos meus irmãos Evandro Elton, Ernando Elson e Elaiza Elean sempre presentes em minha vida;

Aos meus queridos avós Augusto, Nadir, Francisco (in Memoriam) e Raimunda;

Aos meus pais de coração, Amílca Vieira Lima (in Memoriam) e Bárbara Heliodora por terem me acolhido carinhosamente;

Ao Sr. Aristeu meu avô de coração e aos meus amados e sapecas sobrinhos Ana Carolina, Lucas Heron e Matheus Cauã por suas inestimáveis companhias;

Ao Prof. Dr. Alejandro Antonio Fonseca Duarte pela orientação nesse estudo, e por seus ensinamentos valiosos, que vão muito além do universo acadêmico.

Aos Membros da banca pela disposição e generosidade de contribuir com esse trabalho;

À Universidade Federal Acre e a o Programa de Pós-Graduação em Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais;

À todos os Professores do Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais, que apoiaram e incentivaram o meu trabalho;

Aos colegas do curso de Mestrado pelo convívio e aprendizado conjunto;

Aos amigos do grupo de pesquisa AcreBioClima, que contribuíram de forma decisiva para a realização desse estudo;

À todos os funcionários da UFAC aqui representados pela Msc. Vilma Bessa na colaboração fundamental diante das dificuldades enfrentadas;

Ao Projeto LBA e a CAPES pelo apoio e investimento financeiro na realização desse trabalho;

À sociedade brasileira que financiou a minha formação, acreditando nos filhos dessa pátria;

E a todos os amigos e colegas da UFAC e da vida ofereço esse trabalho.

“A humanidade é parte de um vasto universo evolutivo. A Terra, nosso lar, está viva com uma comunidade de vida única. O bem-estar dos povos e da biosfera depende da preservação do ar limpo, das águas puras, dos solos férteis, uma rica variedade de plantas, animais e ecossistemas. O meio ambiente global com seus recursos finitos é uma preocupação comum primordial para toda a humanidade. A proteção da vitalidade, diversidade e beleza da Terra é um dever sagrado.”

(A carta da terra, abril de 1999)

O ideal custa uma vida, mas vale a eternidade.

(Gandhi)

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRAC	
AGRADECIMENTOS	
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 GERAL	20
2.2 ESPECÍFICOS.....	20
3. HIPÓTESES	21
4. REVISÃO DE LITERATURA	21
5. CONTEXTO, MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1 ÁREA DE ESTUDO	27
5.2 O LABORÁTORIO DE DEPOSIÇÃO ÚMIDA	29
5.3 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM E MANUTENÇÃO	32
5.3.1 AMOSTRAGEM	32
5.3.2 MANUTENÇÃO	34
5.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	35
5.4.1 MEIOS DE MEDIÇÃO	35
5.4.2 MANUTENÇÃO DOS MEIOS DE MEDIÇÃO	36
5.4.3 REGISTROS DAS MEDIÇÕES DE PH, DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E DAS CONDIÇÕES DA ATMOSFERA	37
5.5 TESTES DAS HIPÓTESES	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS DE DEPOSIÇÃO ÚMIDA	41
6.2 DISCUSSÃO	55
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Reações atmosféricas de acidificação (JESUS, 1996).....	23
Figura 2.	Imagem de satélite da localização da área de estudo (MODIS Rapid Response system, 2003 www.http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov	27
Figura 3.	Laboratório para estudos de deposição úmida, instalado na UFAC.....	31
Figura 4.	Disposição do amostrador de chuva sobre sua plataforma e suporte de fixação. Na área, também, há um pluviômetro digital para medições da intensidade e da altura das chuvas.....	31
Figura 5.	Queimadas florestais e distribuição da poluição atmosférica na Amazônia, exemplo de setembro de 2005.....	42
Figura 6.	Trajatórias inversas dos ventos a diferentes alturas na atmosfera, calculadas por modelagem : trajetórias a diferentes alturas para a visualização do transporte de aerossóis com relação a uma coordenada, em particular Rio Branco.....	43
Figura 7.	Poluição do ar na atmosfera local de Rio Branco, no período entre janeiro de 2004 e outubro de 2005. A presença de material particulado fino faz aumentar o coeficiente de espalhamento óptico entre 15 e 25 vezes, durante a seca, durante as queimadas, em relação com o resto do ano.....	53
Figura 8.	Altos valores de Profundidade Óptica de Aerossóis (AOT), entre os dias 16 e 22 de setembro de 2005.....	53
Figura 9.	As amostras de água de chuva apresentam uma maior acidez, quanto maior a sua condutividade elétrica (maior quantidade de sólidos totais dissolvidos).....	54
Figura 10.	Distribuição de frequência de valores de pH em eventos de chuva, em Rio Branco.....	55
Figura 11.	Dióxido de carbono na atmosfera. Medições da NOAA, no Laboratório Manua Loa, Hawai. O ciclo anual de variação do CO ₂ mostrado corresponde ao Hemisfério Norte.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Área de floresta e área desmatada na região de influencia do Arco do desmatamento na Amazônia Ocidental entre os anos de 1998 a 2005.....	28
Tabela 2.	Concentração de material particulado na atmosfera e variáveis meteorológicas em Rio Branco durante janeiro e fevereiro de 2004.....	45
Tabela 3.	Concentração de material particulado na atmosfera e variáveis meteorológicas em Rio Branco durante janeiro e fevereiro de 2005.	47
Tabela 4.	Concentração de material particulado na atmosfera e variáveis meteorológicas em Rio Branco, durante os meses de agosto e setembro de 2004.....	49
Tabela 5.	Concentração de material particulado na atmosfera e variáveis meteorológicas em Rio Branco, durante os meses de agosto e setembro de 2005.....	51
Tabela 6.	Parâmetros do histograma da Figura 10.....	55

1 INTRODUÇÃO

Os núcleos de condensação de nuvens (NCN) são partículas microscópicas, que possibilitam a condensação do vapor de água. Na Amazônia as concentrações de partículas na atmosfera são provenientes dos ciclos biogeoquímicos naturais e das emissões antropogênicas.

São altas as concentrações dessas partículas, embora as de origem antropogênica superem em cem vezes as que se originam da fisiologia da vegetação. A concentração de NCN, da estação chuvosa para a estação seca, varia entre 200 e 20.000 partículas por centímetro cúbico (SILVA et al., 2002; FREITAS et al., 2005).

Em grandes áreas da Amazônia as partículas de fumaça, devido às queimadas florestais, fazem com que as propriedades micro físicas de nuvens sejam profundamente alteradas (SILVA et al., 2002). Devido a isto, na estação chuvosa a precipitação tende a ser naturalmente de

gotas grandes; durante a seca, artificialmente poluída, as gotas tendem a ser mais finas, atuando como mecanismo supressor das chuvas.

As queimadas florestais degradam a qualidade do ar com o aumento na concentração de material particulado e de gases traço (FREITAS et al., 2005). A fumaça, produto da queima de biomassa florestal, durante a seca, apresenta um padrão sazonal que influi negativamente na qualidade de vida e nas atividades produtivas rurais e urbanas da Amazônia, por exemplo, em Rio Branco, capital do Estado do Acre. Na seca de 2005 as ocorrências foram extremas (DUARTE, 2006; DUARTE et al., 2006).

As emissões provenientes principalmente da queima da biomassa florestal e de resíduos domiciliares acrescidas às demais emissões procedentes de termoelétricas, olarias, veículos automotores dentre outras fontes, chegam a formar uma neblina de fumaça densa com valores de concentrações de $450 \mu\text{g m}^{-3}$ (ou mais) na baixa troposfera, o que excede em três vezes o valor estabelecido nas normas sobre qualidade do ar no Brasil¹. Essas altas concentrações de material particulado podem durar dias (DUARTE, 2006)

Nessa época ocorre um aumento nos atendimentos hospitalares por distúrbios respiratórios em crianças e idosos. Essa fumaça presente na atmosfera local está associada à queima de biomassa florestal e urbana no Acre, bem como ao transporte pelos ventos do leste e

¹ RESOLUÇÃO/CONAMA/N.º 003 de 28 de junho de 1990.

sudeste, da fumaça proveniente dos Estados de Rondônia, Amazonas e Mato Grosso, e da Bolívia, lugares para os quais também se transporta a fumaça do Acre, quando a direção e a velocidade dos ventos se invertem. A fumaça chega até interromper os procedimentos de rotina de pouso e decolagem no aeroporto de Rio Branco (DUARTE et al., 2006).

A concentração de aerossóis não somente se transporta horizontalmente, mas também desde a baixa troposfera para a alta troposfera mediante convecção e processos de circulação, associados às nuvens e às frentes frias provenientes da região Sul do Brasil (FREITAS et al., 2005). Quase na tropopausa são achados poluentes como monóxido de carbono e ozônio, que somente se explicam devido às queimadas da vegetação (ANDREAE, 2001).

A água de chuva é ligeiramente ácida, $\text{pH} = 5,6$ nas condições naturais da concentração de gás carbônico (CO_2) em equilíbrio (330 ppm) na composição atmosférica. Esse número se toma como valor de referência ou característico. Na atmosfera acontecem reações que envolvem substâncias poluentes, resíduos orgânicos da combustão da biomassa, que se oxidam, desequilibrando (aumentando) a concentração de dióxido de carbono, segundo a representação: $[\text{CH}_2\text{O}] + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Como resultado dessa reação também pode aparecer o monóxido de carbono (CO). O funcionamento da floresta também é fonte de outras substâncias como óxidos de nitrogênio

(NO_x), hidrocarbonetos e aerossóis biogênicos (ANDREAE, 1991). As mencionadas reações propiciam o aumento da acidez da água de chuva.

Na região de Mato Grosso, Pará, Rondônia e Acre a distribuição espacial de fumaça cobre uma extensa área, de 4 a 5 milhões de quilômetros quadrados, praticamente toda a Amazônia brasileira. Os efeitos da deposição seca e úmida das substâncias presentes na fumaça alteram a qualidade das águas de chuva, dos solos e da floresta. Tanto a totalidade das substâncias envolvidas, quanto os mecanismos de ocorrência das alterações e suas implicações ao longo do tempo ainda não foram totalmente esclarecidas, mas as observações científicas indicam a poluição atmosférica como importante fator de interferência no comportamento natural em diferentes ecossistemas. A poluição do ar pode influenciar de três formas sobre a floresta: reduzindo a vegetação, pela diminuição da fotossíntese líquida; eliminando espécies sensíveis e indivíduos mais vulneráveis, e favorecendo espécies tolerantes e resistentes à poluição e espécies oportunistas (UFV, 2006).

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana têm sido bastante estudados em diversos países, principalmente em centros urbanos industrializados. Em São Paulo os estudos realizados pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo e outras instituições encontraram associação entre os níveis de poluentes

atmosféricos e internações por doenças respiratórias de menores de 14 anos e mortes em idosos (Freitas et al., 2004).

Em estudo realizado sobre a deposição úmida e seca de poluentes no Parque Estadual da Serra do Mar, durante os anos de 1991 a 1995, foi possível constatar que as entradas de elementos químicos provocam a acidificação do solo, associado a isso ocorre a transferência de íons de alumínio para os ecossistemas aquáticos, transformando as águas de alcalinas em ácidas, acarretando problemas ecológicos (LOPES, 2001).

O presente trabalho sobre o monitoramento da poluição atmosférica mediante estudos de deposição úmida contribui aos avanços dessa temática na região mais ocidental do Arco do Desmatamento (DUARTE, 2005). Também, existem alguns pontos da Amazônia onde através de campanhas experimentais têm-se realizado medições e pesquisas sobre deposição úmida, como é o caso de um sítio em Rondônia e outro no Amazonas onde se coletaram e analisaram amostras de água de chuva entre os meses de fevereiro e maio de 1998 e 1999 (PAULIQUEVIS, 2002).

Mas, em geral, os estudos sobre deposição úmida não têm sido extensamente realizados no Brasil, e nem são suficientemente difundidos. A escassa literatura disponível, nas condições dos ecossistemas brasileiros, em particular da Floresta Amazônica reforça essa observação.

Podem-se mencionar alguns poucos trabalhos, como o realizado em Londrina por Solci et al. (2002), no qual, durante dois anos, foram coletadas e analisadas amostras de precipitação com o objetivo de determinar a presença de compostos solúveis e insolúveis na atmosfera. Também pode se citar o trabalho de Flues et al. (2003), que analisou a composição química da água de chuva, influenciada pela atividade emissora de poluentes de uma termelétrica a carvão na região de Figueira no Nordeste no Estado do Paraná. A avaliação parcial de susceptibilidade realizada no solo e na vegetação de cerrado da região indica que a ação prolongada de chuva ácida pode ser prejudicial para a fertilidade, qualidade do solo e para o desenvolvimento da vegetação.

Em outros lugares do Brasil, também foram realizadas experiências de estudos de deposição úmida em diferentes momentos e lugares como, por exemplo, no Maranhão, Rio Grande do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro, com o interesse de descobrir a presença de chuvas ácidas e metais pesados, no caso chumbo, principalmente como produto da atividade industrial. No Rio Grande do Sul, de novembro de 1997 a outubro de 1998, foi realizado um estudo por Mirlean et al. (2000) que revelou acidez com valores de pH em torno de 3,6, nas primeiras parcelas das chuvas, fato que foi atribuído à atividade do parque industrial local.

No Estado da Bahia, foram realizadas coletas de amostras de deposição seca e úmida durante seis meses, sendo que os resultados das análises apontam para diferenças nas concentrações de íons segundo os sistemas meteorológicos (CAMPOS et al., 1998) e influências marinhas.

É importante destacar que em países da Europa, América do Norte, União Européia, Ásia, Oceania e em alguns sítios de Florestas africanas, existem programas de monitoramento, que envolvem redes de amostragem, de um ou mais países, para a avaliação espaço-temporal da composição química da água de chuva e seus efeitos em diferentes ecossistemas, segundo descrevem Leal et al. (2004), Rao et al. (1992), Bridgman et al. (1988), Kieber et al. (2002), Chung et al. (1996), Freydier et al. (1998).

Por este motivo o início das pesquisas sobre deposição úmida no Acre, Amazônia Ocidental, com perspectivas de longo prazo, representa um avanço experimental do tema no Brasil, onde os impactos ambientais negativos produzidos pela poluição do ar têm incidência sobre o clima, a saúde da população, a agricultura e, em geral, sobre a economia de maneira não bem quantificada e entendida até o momento.

Assim, estes estudos visam avançar no entendimento do impacto ambiental negativo das chuvas ácidas no que tange à deterioração da qualidade das águas, dos solos e da vegetação.

Para tanto os objetivos traçados neste trabalho se adequaram à fase inicial da realização das pesquisas, em correspondência com a assimilação tecnológica e estruturação das bases experimentais e teóricas necessárias, bem como com a capacitação de pessoal para a continuação dos estudos sobre Química da Atmosfera.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Iniciar a base metodológica teórica e experimental em Química da Atmosfera mediante a implantação do primeiro sítio permanente de monitoramento, análise e difusão de conhecimentos sobre qualidade do ar através da deposição úmida no Acre.

2.2 Específicos

1. Caracterizar os eventos de deposição úmida em Rio Branco quanto à acidez e substâncias dissolvidas, observadas mediante medições de pH e condutividade elétrica.
2. Identificar o possível comportamento sazonal da distribuição dos valores de pH da água de chuva, associados ao período de intensas queimadas florestais no leste do Acre.
3. Contribuir para a fundamentação de políticas dirigidas à sustentabilidade ambiental, social e econômica da região,

através da preservação do meio ambiente, da saúde do homem, da flora e da fauna.

3 HIPÓTESES

As hipóteses deste trabalho se aplicam ao contexto espaço temporal da pesquisa realizada em Rio Branco, Acre, entre agosto de 2003 e agosto de 2005.

1. As concentrações de íons de hidrogênio correspondentes à moda da distribuição de freqüências e ao pH de referência são iguais.
2. A distribuição de freqüências de acidez nos eventos de chuva é simétrica.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Alves (2005) relata que, até os anos sessenta, a chuva ácida não era reconhecida como uma ameaça séria para as florestas. A primeira evidência foi encontrada nos Sudetos, uma cadeia de montanhas entre a Polônia e a Tchecoslováquia, região florestal importante na produção de madeira. Alguns pinheiros apresentavam ramos muito finos e outros estavam morrendo. Em meados dos anos setenta houve acentuado agravamento desses problemas. Constatou-se que morriam lotes inteiros de árvores, enquanto outros sequer chegavam a se desenvolver.

Cowling (1982) sintetiza num artigo os principais trabalhos sobre precipitação ácida e seus efeitos, que resultam de grande interesse para a ciência e a divulgação.

Dayan (2005), no contexto industrial da Europa Central, evidenciou o aumento da concentração de enxofre na atmosfera e seu caráter sazonal, em estudos sobre chuva ácida, nessa região.

Os sistemas meteorológicos de mesoescala e outros, próprios da circulação geral da atmosfera, fazem com que as chuvas possam acontecer em regiões distantes daquelas que deram origem aos compostos químicos e outras substâncias que, expelidas para a atmosfera e transportadas pelos ventos, reagem e geram os ácidos responsáveis pelo fenômeno das chuvas ácidas que lavam a vegetação, alteram a acidez do solo e ocasionam a dissolução de nutrientes. Assim, os solos, tornam-se mais pobres e improdutivos (LOPES, 2001)

No Brasil, são poucas as pesquisas direcionadas à chuva ácida, sendo muitas delas pontuais e descontínuas, geralmente relacionada a áreas sob a influência direta de regiões industrializadas ou próximas às influências marinhas. Dentre elas devem-se ressaltar as pesquisas de Brown et al. (1989), sobre a acidez das chuvas na floresta da Tijuca, no Rio de Janeiro; de Moreira-Nordemann et al. (1997), que iniciaram estudos sobre chuvas ácidas em Campo Grande, Mato Grosso do Sul; bem como de Campos et al. (1998), que estudaram a contribuição de sais marinhos compostos de sódio, magnésio, cloro, etc. e de substâncias produzidas pelas emissões industriais como sulfatos, nitratos, gás carbônico, amônio, etc. na Bahia, onde Ribeiro Filho (1975), deu

início aos estudos sobre composição iônica e acidez das águas de chuva devido ao transporte aéreo de sódio, magnésio, cálcio e potássio procedentes do mar.

Flues et al. (2003) realizaram coletas de amostras de chuva no nordeste do Paraná, em uma região de grandes jazidas de carvão mineral, demonstrando que a emissão de enxofre era a principal causadora das chuvas ácidas na região.

As principais modificações na composição da atmosfera que produzem chuva ácida podem ser: excesso de gás carbônico, presença de óxidos de nitrogênio e de compostos de enxofre, como no mostrado no esquema da **Figura 1**.

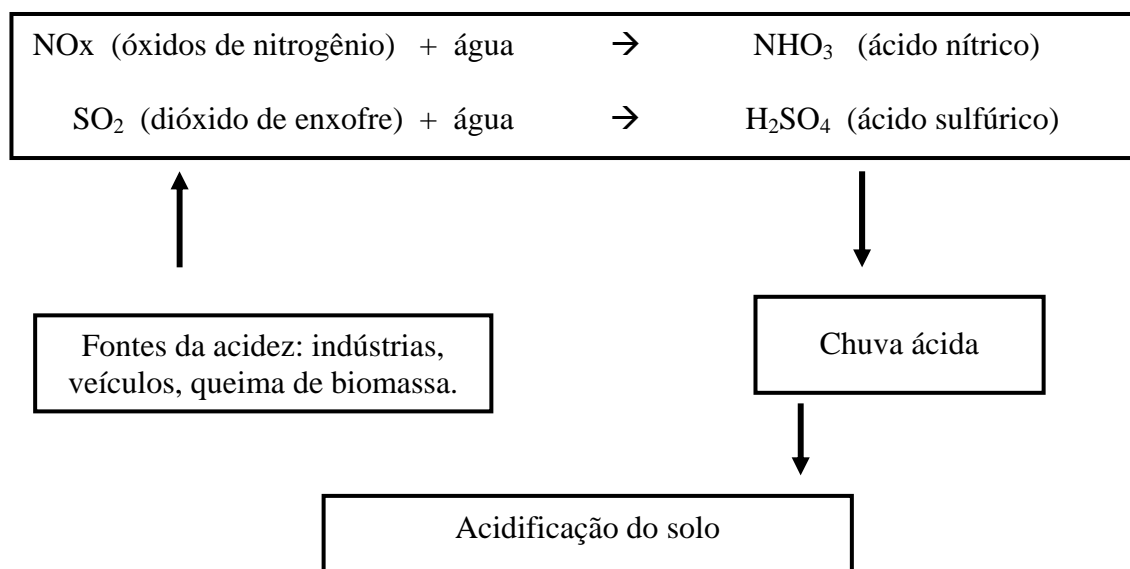


Figura 1. Reações atmosféricas de acidificação (JESUS, 1996).

Migliavacca et al. (2005) relatam que desde a década de 90 os habitantes do município de Melo, no Uruguai, apresentaram queixas ao

governo brasileiro sobre a ocorrência de chuvas ácidas na região de fronteira. A acidez foi atribuída aos gases emitidos pelas chaminés da Usina Termoelétrica de Candiota, localizada no município gaúcho de Bagé, a 60 quilômetros da cidade de Melo.

Os problemas com a poluição atmosférica na região sudeste do Brasil, passaram a ser mais estudados a partir do desastre ambiental, ocorrido em Cubatão, São Paulo, onde a presença dos íons Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e NH_4^+ na deposição total atmosférica (úmida + seca), indicavam que anos depois daqueles eventos de poluição, a região poderia ainda ser considerada uma das regiões mais poluídas do Brasil (DANELON & MOREIRA-NORDEMANN, 1991).

Devido ao histórico de poluição na região de Cubatão, se realizam estudos periódicos para avaliar os impactos negativos persistentes, causados por episódios agudos de poluição, no vale do Rio Mogi. A pesquisa realizada por Moraes et al. avaliou os danos causados em duas espécies nativas a *Tibouchina pulchra* Cogn. (o manacá-da-serra) e *T. pulchra* planta arbórea pioneira, ambas submetidas a condições de poluição atmosférica. Entre as conseqüências mais observadas destacaram-se a redução na eficiência do uso de nutrientes e o acúmulo foliar de flúor com redução na concentração de ácido ascórbico, o que indicava que a degradação das condições ambientais da atmosfera apresentava um comportamento fitotóxico para essas espécies. (MORAES, et al. 2000).

Numa experiência na Bahia, realizada durante seis meses, foram coletadas amostras de deposição seca e úmida, e somente úmida, numa mesma área buscando evidenciar as diferentes concentrações de íons em diversos componentes inorgânicos e orgânicos da chuva para uma região costeira tropical. Em todos esses casos as concentrações de íons encontrados estavam relacionadas com os sistemas meteorológicos: quantidade de precipitação, temperatura, umidade relativa e transporte aéreo do spray marinho rico em Cl^- e Na^+ (CAMPOS et al., 1998).

Forti et al. (2000), Castro & Tarifa (1999) e CETESB (2002) têm feito as mesmas considerações para regiões industrializadas e litorâneas do Brasil, particularmente, no Estado de São Paulo, onde o estudo da composição química da dissolução aquosa é utilizado para avaliar os impactos da poluição do ar sobre sistemas aquáticos.

Na Amazônia, praticamente todos os estudos realizados sobre deposição úmida, anteriores ao presente trabalho, ocorreram em campanhas de expedições científicas de limitada duração e abrangência. Contudo, muitas dessas pesquisas trouxeram grandes avanços, como é o caso de projeto LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera - Atmosfera na Amazônia), que tem alcançado resultados e descobertas importantes em relação com processos atmosféricos e biogeoquímicos (ARTAXO et al. 2005).

Dentre as descobertas realizadas nas pesquisas sobre química da atmosférica na Amazônia estão: a diferenciação no aporte de aerossóis entre a estação seca e chuvosa; alguns mecanismos mediante os quais os aerossóis, provenientes da queima de biomassa florestal alteram o comportamento físico-químico da atmosfera; a composição geral de gases e particulado biogênico e antrópico, que se transportam na região; a presença e propriedades gerais dos aerossóis, orgânicos e inorgânicos, que atuam como núcleos de condensação de nuvens, chegando-se a introduzir o conceito de oceano verde em relação ao funcionamento da floresta amazônica durante a época das chuvas; e a influência dos compostos de nitrogênio nas queimadas florestais para a geração das chuvas ácidas na Amazônia (SILVA et al. 2002; ARTAXO et al. 2005).

Essas pesquisas continuam com a participação de redes de instituições e de pesquisadores, no marco das quais se insere o presente trabalho. Todas elas são importantes na elucidação do funcionamento da floresta, que sofre alterações a um ritmo que pode estar comprometendo a sustentabilidade, pela interferência do homem na manifestação natural de ciclos biogeoquímicos antes mesmo de serem detalhados (ARTAXO et al., 2002, 2003, 2005; VASCONCELLOS, 1998).

5 CONTEXTO, MATERIAL E MÉTODOS

5.1 A área de estudo

O Estado do Acre está localizado no extremo oeste do Brasil, estando as regiões do Alto e Baixo Acre inseridas na porção mais ocidental do Arco do Desmatamento na Amazônia. Essa região faz fronteiras internacionais com o Peru e a Bolívia, e nacionais com os estados do Amazonas e de Rondônia (Acre, 2000). O presente estudo tem seu ponto de amostragem localizado em Rio Branco, região do Baixo Acre (Figura 2).

A cobertura florestal é caracterizada como Floresta Ombrófila Aberta, dominada por bambus, com manchas de Floresta Ombrófila Densa com palmeiras as principais unidades de solos descritas no leste do estado são os Argissolos, Alissolos, Luvisolos com uma mancha de Latossolos (ACRE, 2000; MELO, 2003).



Figura 2. Imagem de satélite da localização da área de estudo (MODIS Rapid Response system, 2003
http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/AERONET_Rio_Branco/2005222)

Tabela 1 Área de floresta e área desmatada na região de influencia do Arco do desmatamento na Amazônia Ocidental entre os anos de 1998 a 2005.

Local	Área de floresta (km ²)	Área desmatada (km ²)
Acre	152.581.388	139.624
Vale do Acre	38.969.778	13.095
Boca do Acre - AM	23.013	1.747
Rondônia	237.576.167	64.757
Mato Grosso	903.357.908	23.312

Fonte: IBGE, 2006; INPE/PRODES, (2006); VALENTIM & GOMES, (2006); AMAZON (2006)

Na região de inserção do estudo na parte leste do Estado do Acre, o clima é classificado como Am (Köpen) do tipo equatorial quente e úmido, caracterizado por altas temperaturas, por elevados índices de precipitação pluviométrica com alta umidade relativa do ar (ZAKIA, 2000; ACRE, 2007).

A sazonalidade das variáveis climatológicas ocorre basicamente em duas estações. A estação chuvosa se estende de outubro a abril; a estação seca se estende de junho a agosto; sendo que maio é o mês de transição entre a estação chuvosa e a seca; setembro é o mês de transição entre a seca e a estação chuvosa. Quanto aos ventos, eles são fracos com velocidades que não passam de 3 m s⁻¹; embora aconteçam rajadas que podem atingir entre 20 e 30 m s⁻¹, em temporais de curta duração. Durante a seca preponderam ventos do sul, sudeste

e do leste, enquanto na época chuvosa preponderam os ventos do norte e noroeste. (DUARTE, 2006).

As observações climatológicas realizadas em Rio Branco são representativas para a região leste do Acre. Nela concentram-se a maior parte das atividades econômicas do Estado (ACRE, 2000); os maiores índices de desmatamento ocorrem ao longo da sua malha rodoviária, o avanço da agricultura e principalmente da pecuária, alteram o uso e a cobertura do solo, retira-se a floresta para implantação de pastagens (VIEIRA, et al. 2006) e mais recentemente da cana-de-açúcar.

A parte leste do Acre, no curso da rodovia BR 317, e a parte norte, no curso da BR 364, constituem áreas de continuação ativa do Arco do Desmatamento, que vai do oeste do Maranhão até o Acre. A área é uma fonte de conflitos, degradação ambiental e fumaça, ao tempo que poderia ser uma região voltada para o desenvolvimento sustentável.

5.2 O laboratório de deposição úmida

As coletas da água de chuva se realizaram num sítio representativo do leste do Acre. O local escolhido para a construção do laboratório de deposição úmida foi a Universidade Federal do Acre (UFAC), campus de Rio Branco, aproximadamente nas coordenadas: latitude S 9° 57', longitude W 67° 52' e altitude 185 m. O sítio de coleta

requer uma infra-estrutura básica, energia elétrica, segurança e acessibilidade.

O laboratório de amostragem ocupa uma área de 64 m², devidamente cercada por uma grade protetora de arame galvanizado de 1,2 m de altura. No centro desta área, uma plataforma plana de concreto de 9 m² e 0,2 m de altura, serve de base para a fixação do suporte de aço galvanizado de 0,5 m de altura onde o amostrador está instalado. A altura total do aparelho sob o suporte até sua tampa superior alcança aproximadamente 1,7 m. A área cumpre com a disposição de que, nas suas proximidades, em um raio de 30 m, não existem árvores grandes ou outras estruturas que possam ser fontes de contaminação para a coleta das deposições, como folhas, gravetos, etc.

Nas Figuras 3 e 4 está representado o aspecto do laboratório ao ar livre, com (1) um aparelho amostrador automático do tipo “wet only”, utilizado nos estudos de deposição úmida. Também aparece na foto (2) um pluviômetro digital e mais ao fundo (3) uma plataforma de coleta de dados para a determinação de variáveis meteorológicas relacionadas com a deposição, tais como altura das chuvas, direção e velocidade dos ventos.



Figura 3. Laboratório para estudos de deposição úmida, instalado na UFAC.



Figura 4. Disposição do amostrador de chuva sobre sua plataforma e suporte de fixação. Na área, também, há um pluviômetro digital para medições da intensidade e da altura das chuvas.

5.3 Procedimentos de amostragem e manutenção

5.3.1 Amostragem

As amostragens de água de chuva efetuaram-se com o coletor da marca G.K. Walter Eigenbrodt, modelo NSA 181 / KD (Königsmoor, Alemanha). Este aparelho coletor de chuva (amostrador) possui autonomia de funcionamento automático, através de um sensor de umidade que controla o mecanismo de abertura e fechamento do funil para a entrada da deposição somente úmida, quer dizer só durante a chuva.

A área de captação ou funil corresponde a 500 cm², com abertura superior de 25 cm de diâmetro. O funil é composto de polietileno e está adaptado a um distribuidor de teflon que fraciona a água da chuva de maneira igualitária e independente em duas garrafas de 1 litro cada (EIGENBRODT, G.K.W. 2002).

As garrafas coletoras se utilizam uma única vez na amostragem de um evento particular de chuva, para evitar efeitos de contaminação. Cada garrafa plástica de 1 litro é submetida à limpeza prévia com água deionizada na sua preparação para a experiência (AYERS et al., 1998).

O fracionamento da água de chuva foi especialmente idealizado para o experimento, com o propósito de ter duas amostras de um mesmo evento de chuva, a serem conservadas de maneira diferente,

segundo as exigências específicas das análises complementares a que poderão ser submetidas.

Até o momento da retirada das amostras, elas permaneceram alojadas no interior do amostrador na sua câmara fria, protegidas da radiação e intemperismos (LEAL et al., 2004; DUARTE et al., 2005).

Em uma das garrafas coletoras de 1 litro foi adicionado previamente um bactericida (Thymol) para reduzir a proliferação de microrganismos na água coletada.

A retirada das garrafas desse ambiente refrigerado ocorre toda vez, que acontece um evento de chuva, para evitar assim qualquer mistura com o evento seguinte garantindo se o caráter individualizado de cada evento.

As garrafas foram identificadas com o número seqüencial da amostra coletada, a data e o horário da coleta.

A individualização de cada evento é necessária, pois cada coleta possui suas próprias características quanto ao sistema meteorológico que motivou a precipitação, a data, a quantidade de água precipitada e o estado de poluição regional da atmosfera. Por isso a cada evento de chuva as garrafas coletoras foram substituídas por outras novas para evitar efeitos de memória, evitando que resíduos de substâncias pertencentes à amostragem anterior permaneçam contaminando a próxima amostra.

Após a coleta realizaram-se as primeiras medições de pH e condutividade elétrica das amostras, praticamente *in-situ*. Medições destas magnitudes foram repetidas, em algumas amostras, na Unidade de Tecnologia de Alimentos (UTAL) da UFAC.

5.3.2 Manutenção

Os cuidados rigorosos tomados na limpeza e na manutenção do amostrador e suas partes se justificam diante da confiabilidade das amostras, que correspondem aos eventos estudados, para minimizar a possibilidade de erros amostrais. O principal procedimento realizado foi a limpeza das partes de contato da água de chuva com o amostrador, no seu trânsito até as garrafas coletoras.

Logo após cada coleta procedeu-se à lavagem do funil e do distribuidor da água; utilizou-se para isso cerca de 3 litros de água destilada e 2 litros de água deionizada respectivamente. As paredes e o bico do funil foram enxugados com lenço de papel descartável.

As águas destiladas e deionizadas foram fornecidas pelo Laboratório de Limnologia da UFAC, que conta com um destilador de água tipo Pilsen, modelo Q341 da marca QUIMIS que produz água com pureza abaixo de 3 μS ; e um deionizador modelo Q380M que produz água quimicamente pura com condutividade inferior a 1 μS (QUIMIS, 2006).

Na execução do procedimento se evitou o contato direto das mãos do operador com as áreas de passagem da amostra de água de chuva, a fim de evitar a sua contaminação.

A limpeza se efetuou uma vez por semana em caso de não ocorrência de chuva, ou após cada evento de chuva, como foi anteriormente mencionado.

Também é parte da manutenção a limpeza externa do aparelho, exposta à intempérie, e do sensor de umidade do amostrador, sendo lavados quinzenalmente ou a qualquer momento, quando houver necessidade excepcional, com água potável e sabão neutro, enquanto que o mecanismo de abertura da tampa do funil foi lubrificado mensalmente para garantir maior eficiência, proteção e durabilidade do aparelho.

5.4 Análises físico-químicas

5.4.1 Meios de medição

As medições de pH da água de chuva foram realizadas mediante um pH-metro portátil da marca Gehaka modelo PG 1400 (com erro absoluto de 0,01 unidades de pH) com leitura simultânea de pH, mV e temperatura; acompanhado de 2 eletrodos, um deles de vidro, 1 sensor de temperatura em aço inox, e 1 kit de 2 soluções tampão de pH 7,00 e 4,00 respectivamente, utilizado para a calibração do instrumento.

As medições de condutividade elétrica da água de chuva foram realizadas por meio de um condutivímetro portátil da marca Gehaka

modelo CG 220 (com erro absoluto inferior a 0,6 μS , na escala de interesse), com leitura simultânea da condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD) e da temperatura. Na calibração do instrumento foram utilizados kits com solução de 23 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.4.2 Manutenção dos meios de medição

Os procedimentos de limpeza dos sensores do pH-metro e do condutímetro realizaram-se antes e depois das medições. Os sensores de temperatura e os eletrodos das medições de pH e condutividade elétrica foram enxaguados com água deionizada e seca com lenço de papel descartável macio, evitando-se quaisquer toques com as mãos nas partes dos sensores durante sua limpeza.

A limpeza teve por objetivo minimizar os possíveis efeitos de memória residual cumulativa entre a análise anterior e a posterior. O procedimento de limpeza dos sensores para a calibração foi similar ao descrito para medições nas amostras, igualmente foi utilizada água deionizada e lenço de papel descartável macio na secagem dos eletrodos. A limpeza dos sensores foi realizada também antes de colocá-los em cada solução de calibração e ao final da calibração antes de acondicioná-los nas devidas soluções de KCl e água deionizada para conservação. Estes procedimentos foram realizados seguindo o indicado no manual do fabricante (GEHAKA, 2002).

5.4.3 Registros das medições de pH, da condutividade elétrica e das condições da atmosfera

Uma ficha de campo padrão foi produzida para identificar o evento de deposição úmida individualmente, no momento da coleta; essa foi preenchida com o número da amostra, data e altura da chuva, data da coleta, volume de água coletada nas garrafas, observações sobre derrame da água, etc. Estes mesmos dados e os resultados das medições foram levados ao preenchimento de uma planilha geral com a caracterização das deposições. Nela constaram: número da amostra, data da chuva, volume precipitado, data da coleta, data da realização das análises físico-químicas e seus resultados nas medições de pH e de condutividade elétrica. Na planilha havia ainda espaço para observações de ocorrências durante a coleta. Essa planilha de papel constituiu-se como registro dos dados primários e por isso devem ser devidamente arquivadas para servirem de informações de referência. Essas informações são transcritas para o formato digital em planilhas do Excel, que passam a conformar o banco de dados do grupo de pesquisas, sobre deposição úmida e condições meteorológicas, representando assim a integração das séries temporais e de informações para a continuação dos estudos.

O banco de dados e informações inclui ainda resultados da utilização de imagens de satélites sobre concentração de poluentes na atmosfera e de modelos regionais de cálculo de trajetórias inversas de

massas de ar, que transportam a concentração de material particulado e outros poluentes.

As imagens de satélites e os modelos de cálculo de trajetórias de massas de ar proporcionam uma visão em escala regional do transporte de concentração de fumaça na atmosfera da Amazônia. Alguns desses recursos se encontram disponíveis em sítios da internet onde é possível ter acesso às informações; em particular o modelo de dispersão HYSPLIT (Real-time Environmental Applications and Display System) da NOAA; o projeto BAMGOMAS da NASA, o modelo de transporte de poluentes atmosféricos do INPE, etc.

As observações mencionadas acima foram analisadas em conjunto com as medições e observações locais da concentração de poluentes atmosféricos mediante o emprego de diferentes métodos como radiometria solar, aetalometria e nefelometria.

5.5 Teste das hipóteses²

A variabilidade nos resultados das medições de grandezas físicas na interação biosfera-atmosfera é intrínseca, própria da dinâmica dos sistemas atmosfera, biosfera e sua interação; mas também responde a influências extrínsecas produzidas (1) pelas atividades sócio-econômicas e (2) pela técnica de medição, concernentes à instrumentação, às metodologias e aos erros operacionais.

² As hipóteses aparecem no §3, página 12.

Os cuidados operacionais tidos em conta no manuseio instrumental e na realização das medições estiveram dirigidos a minimizar e manter constantes os erros operacionais no marco da descrição metodológica.

As influências antropogênicas sobre a biosfera-atmosfera, embora quantificáveis, se imbricam com as mudanças naturais durante o dia, das estações do ano e a longo prazo, de modo que os modelos matemáticos ajustados à previsão, só informam sobre tendências, valores de variáveis ou comportamentos em escalas regionais.

Neste contexto, as medições de pH (e outras) em amostras de diferentes eventos individuais de chuva, coletadas no mesmo sítio, resultaram em valores diferentes³. A maneira mais direta de observar essa variabilidade no que ela representa consiste em evidenciar sua distribuição de freqüências. Sendo a distribuição contínua, existiriam infinitos valores de pH contidos num intervalo, por exemplo, entre 4 e 7,2. Por conveniência e atenção ao caráter discreto da medição digital ou precisão do pH-metro, agruparam-se os valores por classes (n sub-intervalos iguais semiabertos de valores de pH, entre 4 e 7,2). Cada classe é simbolizada pela sua marca pH_i dada pela semisoma dos valores de pH correspondentes aos extremos da classe considerada.

³ Também medições, em um mesmo evento de chuva (provocado por um sistema ora de mesoescala, ora convectivo local), realizadas em diferentes sítios resultam em valores diferentes. Por exemplo, como se mostra em http://aafd.educar.pro.br/CT-Hidro_2005/IndexMenuHidro.htm, a altura da chuva em lugares relativamente próximos como campus da UFAC, Bairro Calafate, conjunto Rui Lino, etc., após um mesmo evento de chuva é diferente.

Assim, a variabilidade é representada por um histograma de freqüências: uma distribuição das quantidades f_i ($i = 1, 2, \dots, n$) de eventos de chuva pelas $1, 2, \dots, n$ classes; em outros termos $f_i = f_i(pH)$.

O uso de uma distribuição de freqüências relativas possibilitará a comparação imediata dos resultados deste trabalho com os de outros autores, independente da totalidade $N = \sum_i f_i$ de eventos de chuva analisados em cada trabalho.

A totalidade de eventos individuais de chuva no presente trabalho não é simplesmente um número, ela é uma quantidade $N = 131$ adscrita a um contexto: Amazônia, Amazônia ocidental, Acre, Rio Branco, campus da UFAC, coordenadas S 9° 57', W 67° 52', a implementação metodológica quase sem interrupção entre agosto de 2003 e agosto de 2005, um operador, etc.

Os resultados deste trabalho serão mais representativos e comparáveis em toda sua escala na medida da continuidade das pesquisas sobre chuva ácida e deposição úmida na Amazônia.

As propriedades de $f_i = f_i(pH)$, inclusive sua forma, estão determinados pelos momentos dessa distribuição. O ponto central no intervalo de valores de pH, definido como referência, $pH = (4 + 7,2) / 2 = 5,6$ é interessante compará-lo com m_1 , o momento de primeira ordem da distribuição. O significado deste momento é de ser o valor mais provável ou centro da distribuição em torno do qual se calcularão os momentos de segunda m_2 e de terceira ordens m_3 .

A comparação aludida está na base do teste da primeira hipótese, tendo em vista a definição de pH. Para o teste da segunda hipótese se calcula o coeficiente de assimetria adimensional $g_1 = m_3 / (m_2)^{3/2}$.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Caracterização dos eventos de deposição úmida

Os eventos de deposição úmida no leste do Acre têm lugar nas seguintes condições sazonais:

- A convecção local, a qual produz chuvas em forma de pancadas e tempestades a partir de cumulonimbus de grande desenvolvimento vertical e horizontal; essas chuvas acontecem à tarde, com grandes gotas; são chuvas intensas e geralmente rápidas.
- Os sistemas de meso-escala e de escala regional na América do Sul, ocasionados pela convecção local e em regiões extensas, por frentes frias e o transporte de umidade que envolve a Amazônia, o continente e o Oceano Atlântico. São chuvas que se estendem durante muito tempo a qualquer hora do dia ou da noite, não são intensas, mas freqüentemente, entre dezembro e março, podem ser responsáveis por eventos extremos de chuva, que nas áreas urbanas, rurais ou de florestas do leste do Acre registram valores entre 80 e 200 mm, em menos de um dia.

- Na seca a composição da atmosfera amazônica é altamente poluída pela fumaça oriunda das queimadas de biomassa florestal. O quadro que se aprecia durante os meses de julho, agosto e setembro, principalmente, está dado pela distribuição de gases e aerossóis apresentado de maneira genérica nas imagens da Figura 5.

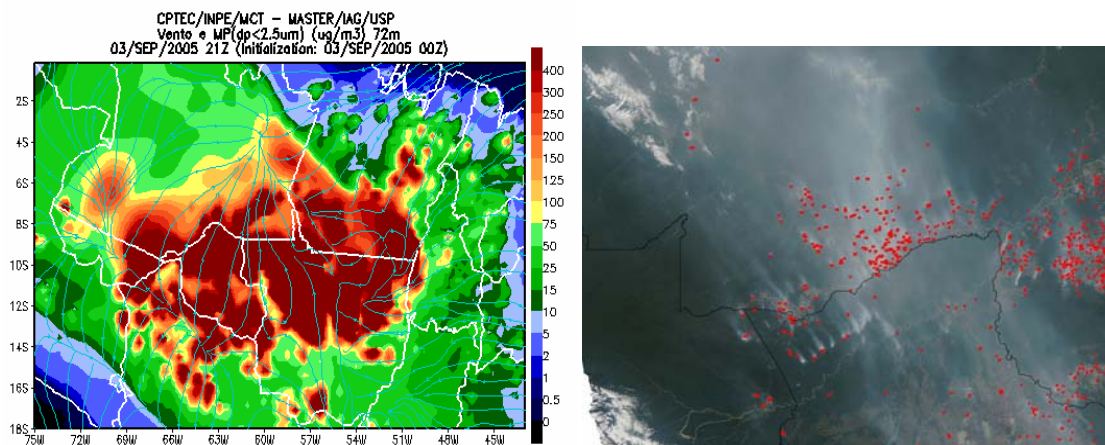


Figura 5. Queimadas florestais e distribuição da poluição atmosférica na Amazônia, exemplo de setembro de 2005.⁴

As emissões de substâncias procedentes da indústria, da agricultura, das queimadas de biomassa e outras, como CO₂, NH₄, NO_x, SO₂, compostos orgânicos, inorgânicos e metais determinam o transporte de nutrientes entre os ecossistemas amazônicos. O fundo da poluição da atmosfera, que influencia a acidez da água da chuva, independente da estação do ano, vem do aumento da concentração

⁴ Modelagem do transporte de concentração de aerossóis pelo INPE e captação de pontos de queimadas pelo satélite MODIS Terra.

global de CO₂. A remoção de gases e aerossóis da atmosfera pela deposição úmida é de grande complexidade. O estado físico-químico de cada gota de água desde sua condensação e trânsito pela atmosfera até o solo, bem como da coleção de gotas coletadas num recipiente no amostrador de chuvas traz uma história própria, que reflete a dinâmica interação entre a biosfera e a atmosfera. Nessa dinâmica o transporte de massa pelas correntes do ar tem implicações locais, regionais e globais. Na Figura 6, se mostram as trajetórias dessas massas de ar, que transportam gases e aerossóis na atmosfera para Rio Branco; as trajetórias correspondem aos dias 31 de julho de 2005 e 26 de setembro de 2004.

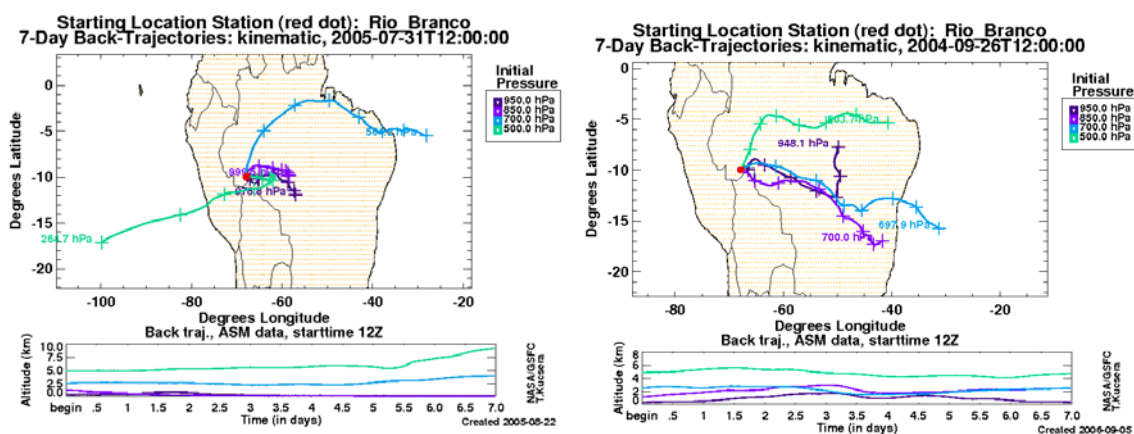


Figura 6. Trajetórias inversas dos ventos a diferentes alturas na atmosfera, calculadas por modelagem⁵; trajetórias a diferentes alturas para a visualização do transporte de aerossóis com relação a uma coordenada, em particular Rio Branco.

As massas de ar podem assumir diferentes direções, à coleta da deposição úmida em Rio Branco interessa, especificamente, o transporte de substâncias para essa localidade.

⁵ Projeto de modelagem da Aeronet, Nasa.

Dados sobre as concentrações de material particulado na atmosfera (fumaça) em períodos de seca e de chuvas e ainda algumas variáveis meteorológicas diretamente ligadas à dispersão e à retirada desses poluentes da atmosfera tais como chuvas, velocidade e direção dos ventos, são apresentados nas Tabelas de 2 a 8, referidas a janeiro, fevereiro, agosto e setembro de 2004 e 2005.

Tabela 2 Concentração de material particulado na atmosfera e variáveis meteorológicas em Rio Branco durante janeiro e fevereiro de 2004

Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})	Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
01/01/2004	1	0,0	N	0,7	01/02/2004	10	2,7	NE	0,0
02/01/2004	1	12,1	N	1,3	02/02/2004	5	0,6	N	2,7
03/01/2004	1	6,5	W	1,0	03/02/2004	2	0,0	NW	1,3
04/01/2004	1	0,2	S	0,3	04/02/2004	5	0,0	N	2,0
05/01/2004	0	2,8	N	3,0	05/02/2004	1	2,8	SE	2,7
06/01/2004	0	64,2	N	2,3	06/02/2004	1	61,7	SE	2,0
07/01/2004	0	0,1	NW	1,7	07/02/2004	1	0,7	W	2,0
08/01/2004	1	1,0	N	1,7	08/02/2004	1	16,0	SW	1,3
09/01/2004	1	1,6	N	2,0	09/02/2004	1	2,2	NW	1,3
10/01/2004	1	6,7	N	1,7	10/02/2004	1	14,9	N	1,3
11/01/2004	1	1,3	NW	2,0	11/02/2004	1	4,5	N	2,0
12/01/2004	1	21,9	NW	0,7	12/02/2004	1	0,5	NE	1,3
13/01/2004	1	0,4	NW	0,7	13/02/2004	1	0,0	N	2,0
14/01/2004	1	0,0	W	1,0	14/02/2004	1	0,0	N	1,0
15/01/2004	2	0,6	N	1,0	15/02/2004	2	9,4	N	1,3

Continuação da Tabela 2.

Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})	Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
16/01/2004	2	36,4	NW	0,0	16/02/2004	1	0,0	W	1,3
17/01/2004	1	1,5	NW	2,0	17/02/2004	1	28,4	N	1,3
18/01/2004	1	0,4	NW	1,3	18/02/2004	1	1,1	NW	1,0
19/01/2004	2	0,0	W	1,0	19/02/2004	1	56,5	W	1,0
20/01/2004	2	0,0	N	0,7	20/02/2004	1	33,7	N	1,3
21/01/2004	1	7,3	W	1,3	21/02/2004	1	13,6	SW	2,7
22/01/2004	1	11,9	NW	0,3	22/02/2004	1	3,0	S	2,7
23/01/2004	2	6,2	N	0,0	23/02/2004	1	0,0	SE	1,0
24/01/2004	2	0,0	N	1,0	24/02/2004	1	0,0	S	0,7
25/01/2004	2	12,6	NW	1,7	25/02/2004	2	0,0	NE	0,7
26/01/2004	2	4,9	N	0,7	26/02/2004	5	0,0	S	0,7
27/01/2004	2	2,2	N	1,3	27/02/2004	5	14,5	S	0,7
28/01/2004	2	0,0	N	1,7	28/02/2004	1	4,8	NW	0,7
29/01/2004	5	0,0	NW	1,7	29/02/2004	1	0,0	NW	1,3
30/01/2004	2	0,0	N	1,7					
31/01/2004	5	0,0	NE	1,7					

A Tabela 2 refere-se aos meses chuvosos de janeiro e fevereiro de 2004, época em que a velocidade do vento é fraca, menor que 3 m s^{-1} e sua direção preponderante é norte (N) ou noroeste (NW), vindo os ventos geralmente das áreas de floresta do Estado do Amazonas.

Como mostra a Tabela 3, as mesmas condições foram observadas nos meses de janeiro e fevereiro de 2005, como uma característica sazonal. Neste período a concentração de aerossóis no ar se mantém como regra inferior a $5 \mu\text{g m}^{-3}$.

Tabela 3 Concentração de material particulado na atmosfera e variáveis meteorológicas em Rio Branco durante janeiro e fevereiro de 2005.

Data	Material Particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})	Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
01/01/2005	2,0	0,9	NW	1,7	01/02/2005	1	1,0	S	3,3
02/01/2005	1,0	18,0	NW	3,3	02/02/2005	1	67,5	S	1,3
03/01/2005	1,0	4,8	NE	0,7	03/02/2005	1	0,0	SE	1,0
04/01/2005	1,0	11,9	N	1,0	04/02/2005	2	0,0	S	1,0
05/01/2005	1,0	11,3	NW	1,0	05/02/2005	2	0,0	N	1,0
06/01/2005	1,0	5,3	NE	1,3	06/02/2005	2	13,2	SE	2,0
07/01/2005	1,0	1,4	N	1,3	07/02/2005	2	26,3	W	0,7
08/01/2005	1,0	8,3	W	0,7	08/02/2005	1	17,4	N	1,0
09/01/2005	1,0	0,0	N	1,3	09/02/2005	1	63,0	S	0,7
10/01/2005	1,0	27,4	NE	1,7	10/02/2005	2	4,7	SE	1,3
11/01/2005	1,0	1,2	N	1,0	11/02/2005	2	0,0	SE	1,0
12/01/2005	1,0	1,1	N	1,7	12/02/2005	5	11,3	NW	1,7
13/01/2005	1,0	0,0	NW	1,0	13/02/2005	2	0,1	N	2,3
14/01/2005	1,0	0,0	W	1,0	14/02/2005	2	2,2	N	1,3
15/01/2005	1,0	0,0	N	2,3	15/02/2005	1	13,4	S	1,0

Continuação da Tabela 3.

Data	Material Particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})	Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
16/01/2005	2,0	0,8	NW	2,3	16/02/2005	1	25,6	N	1,3
17/01/2005	2,0	14,6	SE	1,0	17/02/2005	1	22,0	S	1,0
18/01/2005	1,0	0,0	SW	1,0	18/02/2005	1	0,0	NW	1,0
19/01/2005	1,0	0,0	NW	1,3	19/02/2005	1	22,1	SE	0,3
20/01/2005	1,0	0,0	N	1,7	20/02/2005	1	58,1	N	0,7
21/01/2005	1,0	12,9	N	0,7	21/2/2005	1	5,5	N	0,7
22/01/2005	1,0	0,0	N	2,0	22/2/2005	1	0,0	NW	1,3
23/01/2005	2,0	12,4	N	1,7	23/2/2005	1	2,5	N	0,7
24/01/2005	2,0	0,0	NW	1,3	24/02/2005	1	0,0	NE	1,7
25/01/2005	10,0	0,9	N	1,3	25/02/2005	1	31,3	S	1,0
26/01/2005	5,0	0,0	N	1,3	26/02/2005	1	7,1	NW	1,0
27/01/2005	2,0	3,4	S	1,0	27/02/2005	1	0,0	NW	1,0
28/01/2005	2,0	0,8	NW	1,3	28/02/2005	0,5	0,0	NW	0,7
29/01/2005	2,0	2,4	N	1,0					
30/01/2005	2,0	0,0	N	1,3					
31/01/2005	2,0	0,2	NW	1,0					

Tabela 3 refere-se aos meses chuvosos de janeiro e fevereiro de 2005, época em que a velocidade do vento é fraca, menor que (3 m s^{-1}) e sua direção preponderante é norte (N) ou noroeste (NW), vindo os ventos geralmente das áreas de floresta do Estado do Amazonas.

A situação se modifica para os meses da seca, Tabelas 4 e 5. Como mostra a Tabela 4, as condições são bastante alteradas nos meses de agosto e setembro de 2004, resultante da sazonalidade das queimadas. A concentração de aerossóis no ar aumenta e chega a ultrapassar o limite estipulado, inclusive ficando acima de $400 \mu\text{g m}^{-3}$. Como demonstrado na (Tabela 4)

Tabela 4 Concentração de material particulado na atmosfera e variáveis meteorológicas em Rio Branco, durante os meses de agosto e setembro de 2004

Data	Material Particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})	Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
01/08/2004	100	0,0	S	0,3	01/09/2004	25	0,0	NW	0,7
02/08/2004	25	0,0	W	1,7	02/09/2004	50	0,0	NW	1,3
03/08/2004	25	0,0	NW	0,7	03/09/2004	50	8,6	NW	0,0
04/08/2004	15	0,0	S	0,3	04/09/2004	50	0,0	S	0,3
05/08/2004	25	0,0	NE	1,0	05/09/2004	50	0,0	W	0,7
06/08/2004	25	21,1	W	0,3	06/09/2004	25	2,4	W	1,3
07/08/2004	15	0,8	S	3,0	07/09/2004	25	0,0	NW	1,7
08/08/2004	15	0,0	S	4,0	08/09/2004	15	11,0	NW	0,7
09/08/2004	50	0,0	S	1,7	09/09/2004	125	0,0	NW	1,0
10/08/2004	25	0,0	SE	0,7	10/09/2004	150	0,0	W	0,7
11/08/2004	25	0,0	SW	0,3	11/09/2004	200	0,0	NW	1,0
12/08/2004	50	0,0	SW	1,0	12/09/2004	125	0,0	S	2,3
13/08/2004	50	0,0	W	0,7	13/09/2004	50	0,0	SE	1,3
14/08/2004	50	0,0	SW	0,3	14/09/2004	10	0,0	NW	0,3
15/08/2004	50	0,0	W	0,7	15/09/2004	50	0,0	NW	0,3

Continuação da Tabela 4.

Data	Material Particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})	Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
16/08/2004	25	2,4	NW	0,3	16/09/2004	125	0,0	W	0,7
17/08/2004	50	7,4	NW	0,3	17/09/2004	100	0,0	NW	0,3
18/08/2004	25	0,0	SW	1,0	18/09/2004	400	0,0	NW	1,3
19/08/2004	50	0,0	W	0,3	19/09/2004	400	0,0	W	2,3
20/08/2004	25	0,0	NW	1,7	20/09/2004	10	2,2	W	2,7
21/08/2004	100	0,0	W	0,7	21/09/2004	75	3,2	NW	1,3
22/08/2004	75	0,0	SW	1,3	22/09/2004	300	0,0	NW	1,0
23/08/2004	75	0,0	W	1,0	23/09/2004	400	0,0	S	4,0
24/08/2004	75	0,0	SW	0,7	24/09/2004	75	0,0	NW	1,0
25/08/2004	125	0,0	SW	0,1	25/09/2004	100	0,0	NW	1,3
26/08/2004	75	0,0	W	1,0	26/09/2004	125	0,0	NW	1,0
27/08/2004	75	0,0	SW	0,3	27/09/2004	75	0,7	NW	1,3
28/08/2004	75	4,0	SE	0,3	28/09/2004	50	0,0	N	1,7
29/08/2004	100	0,8	S	1,7	29/09/2004	25	3,4	NW	1,0
30/08/2004	25	7,5	SW	1,0	30/09/2004	50	4,1	NW	2,3
31/08/2004	15	14,5	SW	0,7					

Tabela 5 Concentração de material particulado na atmosfera e variáveis meteorológicas em Rio Branco, durante os meses de agosto e setembro de 2005.

Data	Material Particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})	Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
01/08/2005	500	0,0	NW	0,3	01/09/2005	400	0,0	SE	0,5
02/08/2005	500	0,0	W	0,7	02/09/2005	400	1,5	SE	1,5
03/08/2005	500	0,0	NW	0,7	03/09/2005	400	0,0	S	1,0
04/08/2005	500	0,0	SW	0,7	04/09/2005	400	0,0	NW	0,7
05/08/2005	500	0,0	N	1,3	05/09/2005	400	0,0	NW	2,5
06/08/2005	500	0,0	S	1,3	06/09/2005	400	0,0	SW	0,3
07/08/2005	500	0,0	S	1,3	07/09/2005	400	0,4	S	1,0
08/08/2005	500	0,0	S	3,0	08/09/2005	75	0,0	SW	1,0
09/08/2005	200	0,0	S	2,7	09/09/2005	150	0,0	W	0,2
10/08/2005	300	0,0	S	1,3	10/09/2005	200	0,0	N	3,0
11/08/2005	500	0,0	S	1,0	11/09/2005	50	0,0	NW	2,3
12/08/2005	500	0,0	S	0,3	12/09/2005	25	0,0	NW	2,8
13/08/2005	500	0,0	SW	0,7	13/09/2005	50	1,6	SE	1,9
14/08/2005	500	0,0	NW	0,7	14/09/2005	100	0,0	S	0,7
15/08/2005	500	0,0	W	0,0	15/09/2005	150	0,0	SW	1,1

Os ventos continuam sendo fracos, mas a sua direção é variável sul (S), sudoeste (SW) e noroeste (NW), favorecendo em todos os casos a dispersão da fumaça na Amazônia.

Continuação da Tabela 5.

Data	Material Particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})	Data	Material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Chuvas (mm)	Direção do vento	Velocidade do vento (m s^{-1})
16/08/2005	400	0,0	SE	1,0	16/09/2005	400	0,0	S	0,6
17/08/2005	400	0,0	NW	0,3	17/09/2005	400	0,0	SE	1,1
18/08/2005	400	0,0	NE	0,7	18/09/2005	400	0,0	SE	0,3
19/08/2005	400	0,0	SW	0,7	19/09/2005	400	0,0	S	1,0
20/08/2005	100	0,0	NW	0,3	20/09/2005	150	0,0	S	2,0
21/08/2005	200	0,0	W	0,7	21/09/2005	400	0,0	N	0,5
22/08/2005	400	0,0	NW	1,0	22/09/2005	400	0,0	NW	0,2
23/08/2005	500	0,0	N	1,0	23/09/2005	400	0,0	NW	0,8
24/08/2005	500	0,0	SW	1,0	24/09/2005	400	0,0	NW	1,0
25/08/2005	125	0,0	S	2,0	25/09/2005	75	0,4	N	2,1
26/08/2005	50	0,0	SW	0,7	26/09/2005	50	4,8	SE	0,8
27/08/2005	75	0,0	W	1,0	27/09/2005	25	14,5	S	3,1
28/08/2005	250	0,0	NW	1,0	28/09/2005	25	0,0	SE	0,9
29/08/2005	400	0,0	NW	1,7	29/09/2005	400	0,0	NW	0,3
30/08/2005	400	0,0	N	2,3	30/09/2005	400	0,0	NW	1,0
31/08/2005	400	0,0	NW	2,0					

Durante a seca as concentrações de material particulado ultrapassam os valores de 400 - 500 $\mu\text{g m}^{-3}$ na atmosfera local próxima à superfície. As concentrações podem aumentar em mais de duas ordens de grandeza (Duarte, 2006), como exemplificado nas (Figuras 7 e 8).

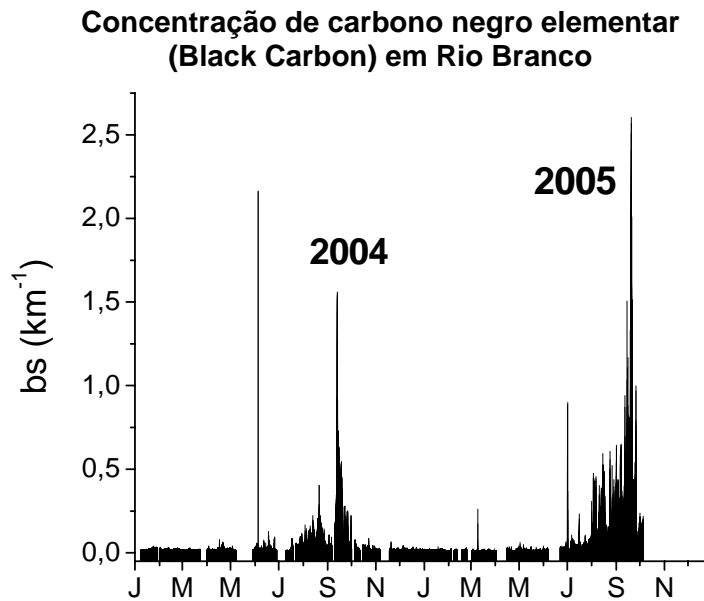


Figura 7. Poluição do ar na atmosfera local de Rio Branco, no período entre janeiro de 2004 e outubro de 2005. A presença de material particulado fino faz aumentar o coeficiente de espalhamento óptico entre 15 e 25 vezes, durante a seca, durante as queimadas, em relação com o resto do ano.

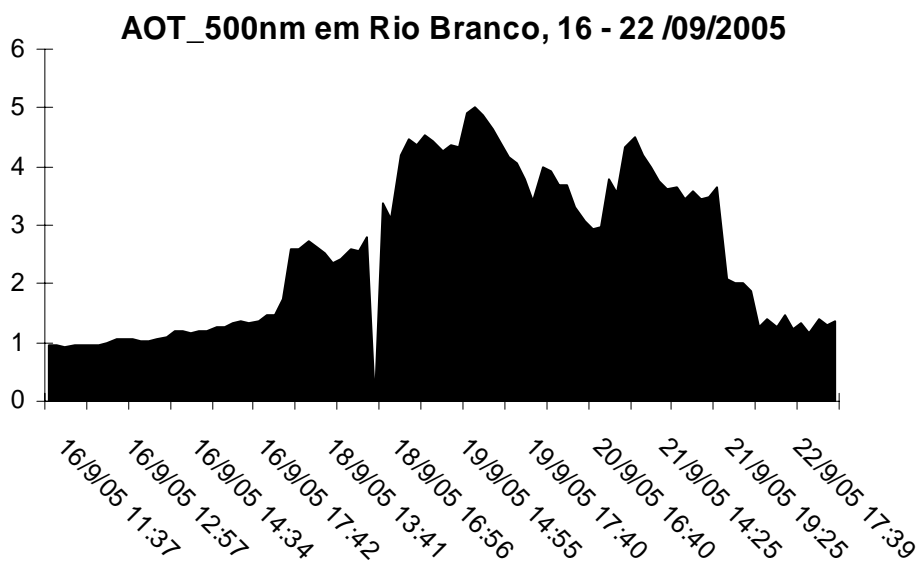


Figura 8. Altos valores de Profundidade Óptica de Aerossóis (AOT), entre os dias 16 e 22 de setembro de 2005.

6.2 Discussão

Às maiores concentrações de substâncias dissolvidas na deposição úmida corresponde uma maior acidez, segundo mostra na Figura 9, a seqüência daqueles pontos pouco dispersos resultado das medições de condutividade elétrica. Alguns pontos indicam que a relação não é tão simples e que os tipos de substâncias dissolvidas na água de chuva podem favorecer sua acidez ou neutralizá-la.

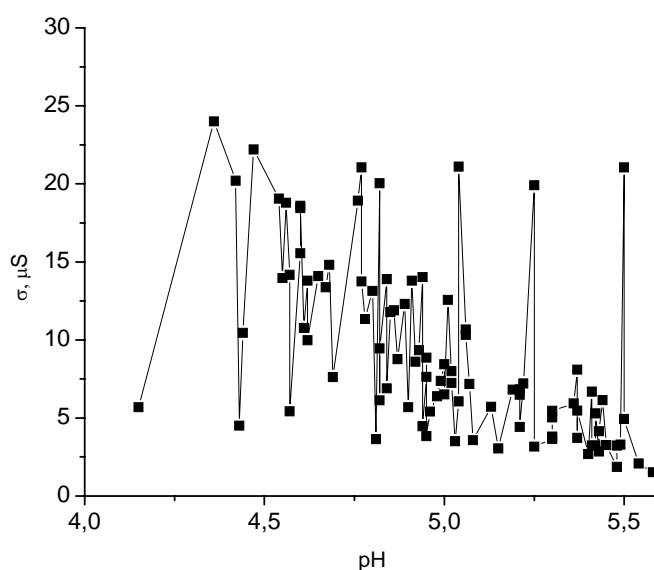


Figura 9. As amostras de água de chuva apresentam uma maior acidez, quanto maior a sua condutividade elétrica (maior quantidade de sólidos totais dissolvidos).

A distribuição de valores de pH no conjunto das $n = 131$ amostras analisadas tem valor médio de 5,29. Mas a maioria dos eventos de chuva tem valor de pH inferior a 5,6. Isso corresponde a aproximadamente 80 % dos casos, como se vê na distribuição de freqüência acumulada da Figura 10, estando a maior freqüência em torno de 4,8. Esse comportamento caracteriza repetidos eventos de chuva ácida.

...

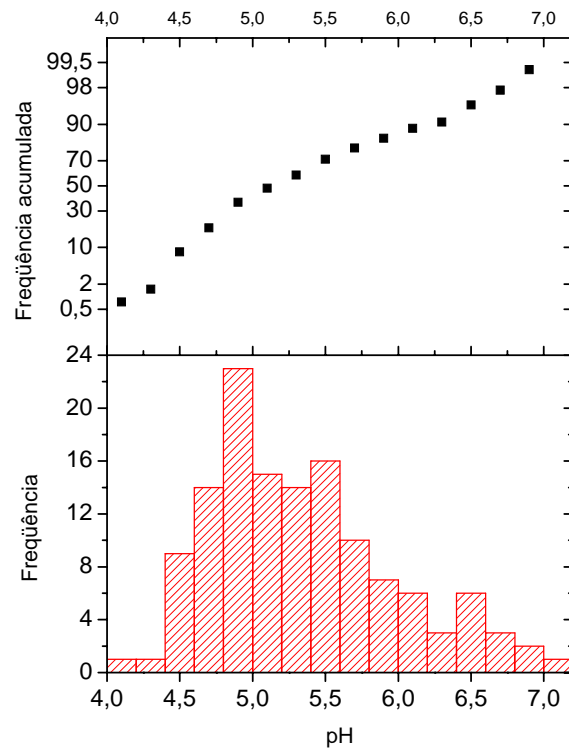


Figura 10. Distribuição de freqüência de valores de pH em eventos de chuva, em Rio Branco.

Os parâmetros do histograma de pH da Figura 10 estão dados na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6. Parâmetros do histograma da Figura 10.

Media	5,29
Desvio P	0,60
Moda	4,82
Assimetria	0,96
Intervalo	2,56
Mínimo	4,42
Máximo	6,98

Como se mostra na Tabela 6 e na Figura 10 a curva de distribuição do pH por eventos de chuva em Rio Branco é assimétrica positiva: $g_1 = 0,96 > 0$. Daí que a moda = 4,82 seja inferior à média = 5,29.

Para a média de referência de pH foi assumido o valor 5,6, correspondente às condições da concentração de gás carbônico (CO₂) na atmosfera, no início da década dos anos setenta (~ 330 ppm). A concentração de dióxido de carbono na atmosfera aumentou de 280 ppm, antes da Revolução Industrial, ano de 1750, para 378 ppm em 2004 e 383 ppm em janeiro de 2007, Figura 11 ⁶

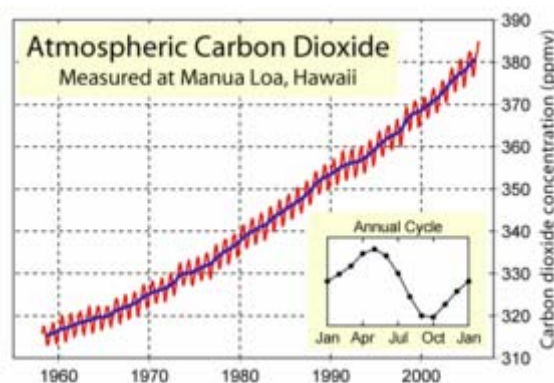


Figura 11. Dióxido de carbono na atmosfera. Medições da NOAA, no Laboratório Manua Loa, Hawaí. O ciclo anual de variação do CO₂ mostrado corresponde ao hemisfério norte.

A devastação da Amazônia e a preparação de suas terras para cultivos e pastos têm reduzido a passagem para o solo do dióxido de carbono produzido na decomposição da matéria orgânica, permitindo sua introdução direta na atmosfera.

A concentração de dióxido de carbono na atmosfera não é constante, depende da altura sobre a superfície, flutua entre o dia e a noite, a época do ano, a sazonalidade das queimadas de biomassa florestal. A respiração do solo durante a noite aumenta a concentração de CO₂ próximo à superfície, ao tempo em que cessa a fotossíntese. Com as emissões das queimadas aumentam também as concentrações de óxidos de nitrogênio.

Ademais do aumento das emissões de CO₂, contribuem para a formação de chuva ácida as emissões de SO₂, a presença de ozônio troposférico e os óxidos de nitrogênio em particular do NO₂, entre outras emissões. Por outro lado, as emissões de amônio (NH₄), aerossóis de cálcio e sódio neutralizam a acidez da água da chuva

⁶ <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Assim, a distribuição de pH por eventos de chuva, observado na Figura 10, representa, em soma, o comportamento da composição e transformações na atmosfera, principalmente regional, que condicionam as manifestações de eventos de chuva ácida com valor mínimo de pH = 4,42 e prevalência dessas manifestações com valores de pH em torno de 4,82.

O valor médio de pH observado de 5,29 é diferente do valor de referência 5,6, para um nível de significação de 0,05, como se demonstra a continuação. Na demonstração se emprega um simples teste para a diferença de duas médias independentes, assumindo-as pertencentes a distribuições gaussianas.

Para tanto, a expressão do estatístico Z normalizado é:

$$Z = \frac{\overline{pH} - \overline{pH}_{ref}}{\left[\frac{s^2}{n} + \frac{s_{ref}^2}{n_{ref}} \right]^{1/2}} \quad (1)$$

Onde: $n = 131$; $\overline{pH} = 5,29$; $s^2 = (0,60)^2 = 0,36$; $\overline{pH}_{ref} = 5,6$ praticamente constante, quer dizer, sua variância s_{ref}^2 é mínima para qualquer número de observações n_{ref} , em particular grande, com isso

$$\frac{s_{ref}^2}{n_{ref}} \ll \frac{s^2}{n}.$$

Assim resulta o valor absoluto de $Z = 5,9 > 2$, conseqüentemente, como o numerador da expressão (1) é mais de duas vezes maior que seu denominador e a quantidade de observações n é moderada ou grande ($n = 131$), então as médias testadas não são iguais e se rejeita a

primeira hipótese de que as concentrações de íons de hidrogênio, correspondentes à moda da distribuição de frequências e ao pH de referência são iguais. Visto que a moda da distribuição é menor que sua média, a distribuição é assimétrica positiva (Tabela 6), resulta então que a segunda hipótese também é rejeitada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades econômicas ambientalmente insustentáveis e o inevitável avanço das fronteiras agropecuárias na Amazônia, particularmente na região leste e norte do Estado do Acre, propiciam, através do uso do fogo para limpeza e abertura de espaços para pastos e roçados e incêndios florestais, a dramática elevação dos níveis de concentração de poluentes na atmosfera de Rio Branco e do leste do Acre no período da seca, onde a ausência de chuvas e a fraca circulação dos ventos comprometem o ambiente, pela via da deposição úmida, e a saúde da população, causando graves alterações para o meio ambiente e seus ecossistemas.

A sazonalidade da poluição atmosférica, em Rio Branco, pode ser evidenciada através das manifestações de chuva ácida com valores mais frequentes de pH em torno de 4,82, mínimo de 4,42 e médio de 5,29. Embora a discriminação das substâncias que determinam a distribuição de valores de pH por eventos de chuva no Acre não tenha sido o objetivo deste trabalho, se supõe que a presença de dióxido de carbono e de óxidos de nitrogênio, produzidos pelas queimadas

florestais, sejam responsáveis, em parte, por essa situação, não obstante outras substâncias provenientes das atividades de fertilização do solo, do transporte, da indústria e do mar, no marco do transporte de gases e aerossóis na Amazônia, possam estar neutralizando a acidez da água de chuva ou favorecendo-a. Em todo caso se observou o aumento do caráter ácido da água de chuva com o aumento de sua condutividade elétrica, quer dizer, o aumento de substâncias em dissolução.

Devido a que as emissões de fumaça por queimadas florestais no Acre excedem sazonalmente as normas de poluição do ar, atingindo níveis emergenciais superiores a $500 \mu\text{g m}^{-3}$ e considerando as manifestações evidentes de chuva ácida na região, seria recomendável, uma vez mais, chamar a atenção sobre o problema da sustentabilidade ambiental das atividades agropecuárias e de outras.

As manifestações encontradas de chuva ácida não são particulares para o Estado do Acre, em outras regiões da Amazônia e do Brasil. Em áreas ainda pouco industrializadas na Amazônia, pode-se encontrar valores de pH da água de chuva de até 4,6 esses valores são influenciados pelas elevadas concentrações de ácido fórmico e acético (ANDREA, et al., 1988; ANDREA, et al., 1990). Os estudos realizados durante a campanha SMOCC – 2002, em Rondônia, pode observar pH das chuvas no período seco 4,5 o acréscimo do caráter ácido das precipitações em Rondônia, estão conectadas

principalmente ao aumento nas concentrações de ácidos orgânicos, produzindo graves conseqüências para os ecossistemas, já que o mecanismo de ciclagem de C e nutrientes em solos tropicais da Amazônia. As emissões de queimadas interferem na composição e deposição de N, óxidos de nitrogênio, como amônia, (LARA et al., 2006). Diferentemente da situação de Rondônia, mesmo em áreas pouco alteradas como em Balbina no Amazonas os valores de pH da precipitação úmida fica próximo de 5,0 (WILLIAMS et al., 1997).

No Brasil nos grandes centros industriais onde estão instaladas as grandes siderurgias e petroquímicas, são apontadas como locais e monitoramento constantes devido à atividade ser altamente poluidora para o ambiente, nesses locais como na cidade Cubatão em São Paulo e Niterói no Estado Rio de Janeiro, os valores do pH da deposição úmida já detectada foram de até 3,7 por (MOREIRA-NORDEMANN, et al., 1988), esse valor se repetiu em Niterói mesmo esta última sendo uma cidade mais próxima ao Oceano. (DE MELLO 2001). No Rio Grande do Sul a atividade do parque industrial instalado contribui para acidez da deposição úmida com valores de pH em torno de 3,6 (MIRLEAN, et al., 2000). Em ambos os casos foram os compostos de enxofre que contribuíram com a intensificação da acidez registrada na deposição úmida.

As pesquisas de monitoramento da deposição úmida a algum tempo vem sendo realizadas no Brasil, a questão principal é que o registro desse comportamento ácido da água de chuva, é observado

muitas das vezes durante campanhas de medições de curto prazo e também em condições de poluição do ar ocasionadas por emissões industriais, o transporte ou alguma outra situação específica, diferentemente do presente estudo de longo prazo. Por tanto, foram assimilados os fundamentos metodológicos da deposição úmida e estabelecida a base experimental para a continuação das pesquisas em Química da Atmosfera no Acre. Os resultados do presente trabalho são um marco inicial na caracterização das deposições atmosféricas no sudoeste da Amazônia e suscita o assunto, que deve ser continuado para o melhor entendimento das circunstâncias locais e regionais que influenciam as manifestações de chuva ácida e os impactos produzidos sobre os ecossistemas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico: recursos naturais e meio ambiente – documento final.** Rio Branco-AC: SECTMA, 2000. V. 1
- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico.** Rio Branco-AC: SECTMA, 2007. (no prelo)
- ALVES, C.. Atmospheric aerosols: historical perspective, sources, chemical formation processes and organic composition. **Quím. Nova.**, São Paulo, v. 28, n. 5, p. 859-870, 2005.
- ANDREAE, M. O., Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate, in *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications*, editado por J. S. Levine, p. 3-21, MIT Press, Cambridge, Mass., 1991.
- ANDREAE, M. O., et al., Transport of biomass burning smoke to the upper troposphere by deep convection in the equatorial region. **Geophys. Res. Lett.**, vol. 28 , n. 6 , p. 951 , 2001.
- ARTAXO, P., et al., Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v. 107, n. 20 p. 8081 - 8095. 2002.
- ARTAXO, P., et al. Dry and wet deposition in Amazonia; from natural biogenic aerosols to biomass burning impacts. in **International Global Atmospheric Chemistry** - IGACTivities Newsletter p. 12-16, 2003.
- ARTAXO, P., et al . Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 35, n. 2, 2005
- ARTAXO, P. et al. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, 168 - 22, 2006
- AYERS, G. P. et al. Thymol as a biocide in japanese rainwater. **Journal of Atmospheric Chemistry**, v. 30, p. 301-310, 1998.
- BRIDGMAN, H. A. et al. The Hunter Region (Australia) Acid Rain Project. **Bulletin of the American Meteorological Society** (Bull. Am. Meteorol. Soc.) ISSN 0003-0007, v. 69, n. 3, p. 266-271, 1988.

- BROWN, I.F. et al. Measurement of atmospheric deposition at tree canopy level in a subtropical premontane wet forest, Rio de Janeiro. **Biotropica**, v. 21, n.1, p.15–19, 1989.
- CAMPOS, V. P.; COSTA, A. C. A.; TAVARES, T. M. Comparison of two types of rain sampling: total deposition and wet only deposition. **Quím. Nova**. São Paulo, v. 21, n. 4, 1998.
- CASTRO, M.G.S.; TARIFA, R.J. A acidez da chuva na cidade de São Paulo. **Rev. Geoweb PUC-SP**. São Paulo, n.1, 1999.
- CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2001**. São Paulo, 2002.
- CHUNG, Y. S.; Tae-K, K.; Ki-H. K. Temporal Variation and cause of acidic precipitation from a monitoring network in Korea. **Atmospheric Environment**, v. 30, n.13, p. 2429-2435, 1996.
- COWLING, E. B. Acid Precipitation In Historical-Perspective. **Environmental Science & Technology**, v. 16, n.2, p.110-123, 1982. 44
- DANELON, O. M.; MOREIRA-NORDEMANN, L.M. - Ocorrência natural e antropogênica de Cl⁻, Na⁺, NO₃⁻, NH₄⁺ e SO₄²⁻ na bacia do Rio Quilombo Cubatão – São Paulo. **Rev. Bras. de Geo.**, v. 21, p. 96-106, 1991.
- DAYAN, U.; LAMB, D. Global and synoptic-scale weather patterns controlling wet atmospheric deposition over central Europe. **Atmospheric Environment**, v. 39 n. 3, p. 521-533, 2005.
- DE MELLO, A. W. F. de. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Universidade Federal de São Paulo. Piracicaba, 2003.
- DE MELLO, W. Z. Precipitation chemistry in the coast of the metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil, **Environmental Pollution**, 2001, (In Press)
- DUARTE, A. F.; GUEDES, E. E. V.; CUNHA, R. M. da.; O Monitoramento atmosférico em Rio Branco-Acre, uma contribuição do LBA. In: Conferência Científica do LBA - Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, 3., 2004, Brasília. **Anais...** Brasília LBA - Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, 2004, 24.6-p.

- DUARTE, A. F.; GUEDES, E. E. V.; CUNHA, A. M. da.; Valores do pH e da condutividade elétrica da água de chuva, em Rio Branco, Acre, Brasil. **Acta Amaz.** 2005, (no prelo).
- DUARTE, A. F. A fumaça, componente antropogênico do bioclima do Acre. In: IV Congresso Brasileiro de Biometeorologia. Ribeirão Preto. SP., 2006.
- DUARTE, A. F.; RABELO, J.; SANTOS, G. M. Impactos de la polución del aire sobre la salud humana en Rio Branco, Acre, Brasil. *Revista Cubana de Salud Pública.* 2006.
- EIGENBRODT, G.K.W. Precipitation collector NSA 181 / KD. **Instruction Manual.** Konigsmoor, 2002.
- FLUES, M.; HAMA, P.; FORNARO, A. Avaliação do nível da vulnerabilidade do solo devido à presença de termelétrica a carvão (Figueira, PR-Brasil). **Quím. Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, 2003.
- FORTI, M. C. et al. Hydrogeochemistry of a small catchment in northeastern Amazon (Serra do navio, Amapá State, Brazil). **Water, Air, Soil Poll.**, n. 118, p. 263–279, 2000.
- FREITAS, C. et al. Hospital admissions and mortality: association with air pollution in São Paulo, Brazil, 1993 to 1997. **Rev. Saúde Pública.**, São Paulo, v. 38, n. 6, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br>. Acesso em: 22 Set. 2006. doi: 10.1590/S0034-89102004000600001.
- FREITAS, S. R. et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estud. av.**, v. 19, n. 53 p.167-185, 2005
- FREYDIER, R.; DUPRE, B.; LACAUX, J.P. Precipitation chemistry in Intertropical Africa. **Atmospheric Environment**, v.32, n.4, p.749-765, 1998.
- GEHAKA LTDA. pHmetro digital portátil micro-processado PG1400 e Condutivímetro digital portátil micro-processado CG220. **Manual de Instruções.** São Paulo, 2002.
- GUEDES, E. E. V.; DUARTE, A. F. **Seguimento da Poluição Atmosférica Através da Deposição Úmida.** Relatório final de trabalho do bolsista RHA/E /LBA / CNPq (Setembro 2003 - Junho 2005). Orientador: Prof. Dr. Alejandro Fonseca Duarte. DCN, UFAC. Rio Branco, 2005.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL (INPE). Pojeto PRODES http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2005.htm

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contas Regionais do Brasil 2006**.
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasregionais/2003/contasregionais2003.pdf>> Acesso em 18 de mar. de 2006.
- JESUS, E. F. R. Importância do estudo das chuvas ácidas no contexto da abordagem Climatológica. **Sitientibus**, Feira de Santana, n.14, p.143-153, 1996. Disponível em: www.uefs.br/sitientibus/ Acesso em: out. de 2005.
- KIEBER, R.J. et al. Dissolved organic carbon and organic acids in coastal New Zealand rainwater. **Atmospheric Environment**, v.36, p. 3557-3563, 2002.
- LARA, L. L. et al. Land use and expanding industrialization are changing nitrogen deposition in Brazil. **Biogeochemistry** (in press). 2006. LAURANCE, W. F. et al. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. **Nature**, Letters to Editor, n.428, p.171 – 175. 11 Mar 2004.
- LEAL, T. F. M. et al. Composition of rainwater in the central region of São Paulo city. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 27, n. 6, 2004.
- LOPES, M. I. M.O. **Fluxo de água, balanço químico e alterações no solo da Floresta Atlântica atingida pela poluição aérea de Cubatão, SP, Brasil**. 2001. 188p. Doutorado em (Ecologia) Universidade de São Paulo, USP, São Paulo. Brasil. 2001.
- MIGLIAVACCA, D. M. et al. Chemical composition of atmospheric precipitation in Southern Brazil: preliminary study. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 28, n. 3, 2005.
- MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P.. Sources and levels of rain acidity in the region of the Rio Grande city, RS, Brazil. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 23, n. 5, 2000.
- MORAES, R, M, DE; DELITTI, W. B. C.; MORAES, J. A. P. V. DE. Responses of saplings of *Tibouchina pulchra* Cogn. to air pollution in Cubatão, SP: net photosynthesis, growth and leaf chemistry. **Rev. bras. Bot.**, São Paulo, v. 23, n. 4, 2000. Pré-publicação
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; GIRARD, P.; POPPI, N. R. Chemical composition of atmospheric precipitation in Campo Grande city -MS. **Rev. Bras. Geof.**, São Paulo, v. 15, n. 1, 1997.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; FORTI, M. C.; LASCIO, V. L. D. et al. Acidification in southeastern, Brazil. In. Rodhe, H., HERRERA, R.

- Acidification in tropical countries chichester: John Wiley and Sons, 1988.v 257-296.
- PAULIKEVIS, T. et al. Comparison of Rainwater composition at two sites in Amazonia for dry and wet seasons sites in Amazonia for dry and wet seasons. **II Conferencia LBA**, Manaus, 2002.
- RAO P.S.P.et al. Measurement of wet and dry deposition at urban location in India. **Atmospheric Environment**, v. 26B, n. 1, p. 73-78,1992.
- RIBEIRO FILHO, A. **Comportamento do sódio, magnésio, cálcio e potássio nas precipitações atmosféricas na Bacia do Paraguaçu - Bahia**.1975. 82 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- SILVA, D. et al. 2002. Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon Region, **Journal of Geophysical Research**, 107(D20): 8.072-8.092, doi:10.1029/2001JD000335. 46
- SILVA, R. G. da.; LIMA, J. E. de. Avaliação econômica da poluição do ar na Amazônia Ocidental: um estudo de caso do Estado do Acre. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Apr./June 2006, vol.44, no.2, p.157-178. ISSN 0103-2003.
- SOLCI, M. C. et al. Aplicação da fluorescência de raios-X na determinação de componentes insolúveis nas águas de precipitação em região continental subtropical. **Rev. Bras. Pesq. Develop.**, CNEN., v. 4, n. 3, p. 1195-1198, 2002.
- Universidade Federal de Viçosa (UFV). POLUIÇÃO AMBIENTAL ATINGE E REQUER CUIDADOS. **Revista da Madeira**, Rio Grande do Sul, n. 94, fev. 2006.
- VALENTIM, J.F.; GOMES, F.C. da R. **Relatório da uso atual da terra no Estado do Acre**. Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre – Fase II. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Sustentável/Secretaria de Meio Ambiente do Acre. 2006. 75p. Rio Branco-AC. Dados não publicados.
- VASCONCELLOS, P. de C. et al. Chemical composition of aerosol collected in the amazon forest. **Quím. Nova.**, São Paulo, v. 21, n. 4, 1998
- VIEIRA, I.C. G.; FERREIRA, L. V.; HOMMA, A. K. O. **Programa de C&T para recuperação de áreas alteradas no arco do desmatamento da**

Amazônia. Belém-Pará. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, SBPC, 2006.

WILLIAMS, M. R.; FISHER, T. R.; MELACK, J. M. Chemical composition and deposition of rain in the central Amazon, Brazil. **Atmospheric Environment**,31:207-217.1997.