



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**



ELIZABETH DA ROCHA COUTO

**TRANSFORMAÇÕES DE SO₂ E NO₂ NA ATMOSFERA DA
ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PÓLO INDUSTRIAL DE
CAMAÇARI**

**SALVADOR-BAHIA
ABRIL/2011**

ELIZABETH DA ROCHA COUTO

TRANSFORMAÇÕES DE SO₂ E NO₂ NA ATMOSFERA DA
ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PÓLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Química.

Orientadora: Prof^a. Dra. Vânia Palmeira Campos

SALVADOR-BAHIA
ABRIL/2011

Sistema de Bibliotecas – IQ/UFBA

Couto, Elizabeth da Rocha.

Transformações de SO₂ e NO₂ na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari / Elizabeth da Rocha Couto. - 2011.

272 f. : il.

Inclui anexo e apêndices.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vânia Palmeira Campos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Salvador, 2011.

1. Ar-Poluição-Camaçari (Ba). 2. Precipitação (Química)-Ácida. 3. Ácidos-Camaçari (BA). 4. Amônia-Camaçari (BA). I. Campos, Vânia Palmeira. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Química. III. Título.

CDD – 363.7392

CDU – 504.3.054:543.26

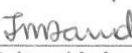
TERMO DE APROVAÇÃO

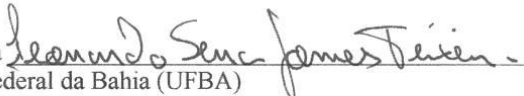
ELIZABETH DA ROCHA COUTO

TRANSFORMAÇÃO DE SO₂ E NO₂ NA ATMOSFERA DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO
PÓLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Química,
Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Ayrton Figueiredo Martins 
Doutorado em Ciências Naturais, Freie Universität Berlin, F.U.B., Alemanha.
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Jorge Mauricio David 
Doutorado em Química Orgânica, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Leonardo Sena Gomes Teixeira 
Doutorado em Química, Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Universidade Federal da Bahia

Profa. Dra. Marta Valéria Almeida Santana de Andrade 
Doutorado em Química, Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Universidade do Estado da Bahia

Profª. Dra. Vânia Palmeira Campos – Orientadora 
Doutorado em Química, Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Universidade Federal da Bahia

Salvador, 27 de abril de 2011.

A Maria do Amparo, minha pequena e predileta mãe de todas as horas nessa vida, pelo amor, carinho, dedicação, por toda luz e ajuda espiritual.

A Murillo, meu pai nessa vida e mestre de todas as artes, pelo amor, alegria e capacidade de transformar tudo em volta.

A Marco Aurélio, companheiro e amigo eterno, por todo significado de amor verdadeiro.

A meus irmãos e irmãs, minha família complexa e carinhosa, por toda compreensão, apoio e amor.

Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode recomeçar agora e fazer um novo fim.

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

Demosthenes Carvalho, Diretor de Produtos da Cetrel S.A, por ter acreditado no valor científico dessa pesquisa, apoiado e incentivado em todos os momentos.

Eduardo Fontoura, Gerente de Laboratório e Monitoramento da Cetrel S.A, pelo apoio e reconhecimento desse estudo.

Sérgio Tomich, Gerente de Resíduos da Cetrel S.A, pelo apoio e incentivo.

Washington, Técnico de Monitoramento da Cetrel S.A, pelo comprometimento, responsabilidade, competência e dedicação.

Rogério e Bruno, Engenheiros da Cetrel S.A, pela apoio e colaboração constantes.

Nilza e Ivna, Técnicas do Laboratório da Cetrel S.A, pela colaboração e apoio.

Equipe de instrumentação da Cetrel S.A (Luiz Artur, Alcides e Agostinho) pelo comprometimento e competência.

A todos colegas da Cetrel S.A, jamais esquecidos, que contribuíram para esse estudo.

Vânia Campos por toda orientação, apoio e incentivo constantes.

Aline e Jaqueline pela dedicação, comprometimento, esforço e competência na realização de atividades de laboratório desse estudo.

Tadeu e Jorge pelo carinho, apoio e ajuda contínua.

Marco Aurélio pelo amor, paciência, amizade, todo esforço e ajuda dispensados na conclusão desse estudo.

Meus pais, Maria do Amparo e Murillo, por terem acreditado no valor da minha existência nessa vida e na minha necessidade constante de crescimento profissional e evolução espiritual.

Meus irmãos, irmãs, cunhadas, cunhados e sobrinhos pelo amor, carinho, amizade e apoio constantes.

A tudo que representa a frequência energética do Universo Divino por sempre ter proporcionado momentos de eterna luz em todos os meus caminhos nessa vida.

RESUMO

O desenvolvimento desse estudo parte da motivação de aplicar esforços técnicos e científicos visando avaliar as transformações do SO_2 e NO_2 na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari. Este estudo teve como principal objetivo caracterizar a atmosfera da área estudada através da deposição úmida e em relação ao SO_2 , NO_2 e suas transformações na fase gasosa e particulada $<2 \mu\text{m}$. As campanhas de amostragem foram feitas em três estações da Rede de Monitoramento do Ar da Cetrel S.A: Gravatá, em Camaçari; Escola, em Dias D'Ávila e Lamarão, em Lamarão do Passé. As concentrações de espécies inorgânicas foram determinadas na precipitação da região e as contribuições para a formação da precipitação ácida foram identificadas. Foram medidos pH, condutividade e os principais constituintes inorgânicos da chuva (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- e Cl^-). Esta se caracteriza por pH entre 3,8 e 7,6 e elevado número de eventos ácidos ($\text{pH}<5,6$), com maior frequência de acidez na chuva amostrada na estação Lamarão. Cl^- , Na^+ e NH_4^+ são os íons predominantes na deposição apenas úmida das três áreas monitoradas no período 2006-2007. A incorporação do spray marinho na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari neutraliza parte da acidez das chuvas, freqüentemente em baixos percentuais, com significância até 25% de neutralização, associada à direção e velocidade dos ventos oriundos do oceano. Os níveis de amônio comparados aos de SO_4^{2-} *ns* (*non sea salt*) encontrados na chuva daquela área, no período de 2006 a 2008, são suficientes para neutralizar também por esse meio uma parcela significativa da acidez da chuva da região. Correlações significativas e comuns a todas as estações foram encontradas para os pares de íons: $\text{Na}^+ \times \text{Cl}^-$, $\text{Na}^+ \times \text{Mg}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+} \times \text{Cl}^-$, indicando uma origem comum para esses íons e associada às massas de ar oceânicas transportadas para a região, principalmente, quando a predominância dos ventos era de Leste e Sudeste. Entre os compostos inorgânicos em fase gasosa medidos na atmosfera da área estudada, predomina amônia, cujos níveis médios em 2008 são comparáveis a outras áreas com influência industrial (150 nmol m^{-3} na Estação Gravatá; 133 nmol m^{-3} na Estação Escola e 193 nmol m^{-3} na estação Lamarão). Entre os ácidos fortes determinados na atmosfera, HCl predomina em função de suas emissões locais como poluente primário com faixa de concentração nas três estações com valores superiores àqueles reportados para outras áreas industriais brasileiras. Isso também ocorre de forma semelhante para HNO_3 e em menor escala para H_2SO_4 . Em todos os casos, a atmosfera em Lamarão apresenta concentrações mais altas para os ácidos, inclusive para o H_2SO_4 , embora a estação Gravatá seja o local que apresenta concentrações mais altas do precursor (SO_2). Isso pode ser explicado pela presença de maior concentração de partículas de ferro naquela atmosfera, favorecendo a formação de H_2SO_4 por ação catalítica. Em relação à fase particulada $<2 \mu\text{m}$, amostrada no período de 2008, as massas de ar naquela região são moderadamente enriquecidas por sais de NH_4^+ (0,22 a 37 nmol m^{-3}), SO_4^{2-} (0,68 a 41 nmol m^{-3}) e NO_3^- (0,069 a 21 nmol m^{-3}).

Palavras-chave: deposição úmida, precipitação ácida, ácidos, amônia.

ABSTRACT

The development of this study comes from the motivation of applying scientific and technical efforts to evaluate the transformations of SO_2 and NO_2 in the area located in the surroundings of the Industrial Camaçari Complex. The main goal of this work is to characterize the atmosphere in the studied area through wet deposition and regarding to SO_2 , NO_2 and their transformations in the gas and particulate ($<2 \mu\text{m}$) phase. The sampling campaigns were done at three stations of the Cetrel's Air Monitoring Network: Gravatá in Camaçari, Escola in Dias D'Avila and Lamarão in Lamarão do Passé. The concentrations of inorganic species have been determined in the precipitation and the contributions for the formation of acid precipitation were identified. Measurements of pH, conductivity and the main inorganic compounds (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- and Cl^-) were done. The rainfall is characterized by having pH between 3.8 and 7.6 and high number of acidic events (pH <5.6) with higher frequency of acidity in the rainfall sampled in the Lamarão station. Cl^- , Na^+ e NH_4^+ are the predominant ions in the only wet deposition of the three areas monitored for the period 2006-2007. The incorporation of ocean spray in the atmosphere of the area located in the surroundings of the Industrial Camaçari Complex neutralizes one part of the acidity of rainfall, frequently in low percentages, with significance up to 25% of neutralization associated with the speed and direction of winds coming from the ocean. The levels of ammonium compared to those of SO_4^{2-} (non sea salt) found in the rainfall in that area, in the period 2006-2008, are also sufficient to neutralize also by this way a significant portion of the acidity of the rainfall in the region. Significant correlations common to all stations were found for the pairs: $\text{Na}^+ \times \text{Cl}^-$, $\text{Na}^+ \times \text{Mg}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+} \times \text{Cl}^-$, indicating a common origin for these ions and associated with the oceanic air masses transported to the region, especially when the predominant winds were from East and Southeast. Ammonia is the most predominant compound among the inorganic compounds measured in the gas phase in the atmosphere of the studied area with average levels in 2008 that are comparable to other areas with industrial influence (150 nmol m^{-3} in the Gravatá station, 133 nmol m^{-3} in the Escola station and 193 nmol m^{-3} in the Lamarão station). Among the strong acids measured in the atmosphere, HCl predominates due to local emissions as primary pollutant with its concentration range in the three stations with values higher than those reported for other industrial areas in Brazil. This also occurs in a similar manner to HNO_3 and in a less extent for the H_2SO_4 . In all cases the atmosphere in Lamarão has the higher concentrations for the acids, including H_2SO_4 , although Gravatá station is the site that has the higher concentrations of the precursor (SO_2). This can be explained by the presence of higher concentrations of iron particles in that atmosphere, favoring the formation of H_2SO_4 by catalytic action. Related to the particulate phase $<2 \mu\text{m}$ with was sampled during 2008, the air masses in that region are moderately enriched by salts of NH_4^+ (0,21 a 37 nmol m^{-3}), SO_4^{2-} (0,68 a 41 nmol m^{-3}) and NO_3^- (0,069 a 21 nmol m^{-3}).

Keywords: wet deposition, acid precipitation, acids, ammonia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Relações entre radicais livres, oxidantes e ácidos na baixa atmosfera	28
Figura 02: Sumário de emissão, oxidação e deposição de S (IV) e S (VI)	34
Figura 03: Esquema da deposição úmida e seca	41
Figura 04: Ciclo catalítico do ferro para produção de ácidos orgânicos, a partir de aldeídos, em gotas de chuva na atmosfera	45
Figura 05: Estrutura conceitual dos processos de deposição úmida	48
Figura 06: Mapa Global da acidez da precipitação determinado pelo Programa de Monitoramento da Poluição Atmosférica Background da WMO	56
Figura 07: pH médio da precipitação entre 1980 e 1984 no Canadá	73
Figura 08: pH médio da precipitação entre 1996 e 2000 no Canadá	74
Figura 09: pH médio da precipitação medido nos Estados Unidos em 1994	76
Figura 10: pH médio da precipitação medido nos Estados Unidos em 2000	76
Figura 11: Deposição de sulfato na precipitação nos Estados Unidos em 1994	77
Figura 12: Deposição de sulfato na precipitação nos Estados Unidos em 2000	77
Figura 13: Tempos de resposta de ecossistemas a partir de mudanças nas emissões	102
Figura 14: Tolerância de organismos à variação de pH em meios aquáticos	103
Figura 15: Topografia da Área de Influência do Pólo e seu entorno	113
Figura 16: Climatologia dos ventos próximos à superfície (média de 30 anos) em: a) janeiro; b) abril; c) julho; d) outubro	114
Figura 17: Descrição da área amostral e das estações de monitoramento utilizadas no estudo	116
Figura 18: Coletor de chuva (deposição apenas úmida) na estação Lamarão	118
Figura 19: Esquema do sistema de termodifusão utilizado para amostragem de ácidos fortes e sais	120
Figura 20: Sistema de termodifusão utilizado em uma das estações de monitoramento	121
Figura 21: Esquema de amostragem de amônia (tubo de difusão denuder) utilizado em uma das estações de monitoramento	123
Figura 22: Curva analítica típica usada nas análises de Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-}	126

Figura 23:	Curva analítica típica utilizada na análise de amônio	129
Figura 24:	Curva analítica típica usada na análise de sódio em média intensidade	130
Figura 25:	Curva analítica típica utilizada na análise de cálcio por ICP-OES	133
Figura 26:	Distribuição dos íons em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na deposição apenas úmida na estação Gravatá entre 2006 e 2008: a)2006-2007; b)2007-2008 e c)2008	147
Figura 27:	Distribuição dos íons em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na deposição apenas úmida na estação Lamarão entre 2006 e 2008: a)2006-2007; b)2007-2008 e c)2008	148
Figura 28:	Distribuição dos íons em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na deposição apenas úmida na estação Escola entre 2006 e 2008: a)2006-2007; b)2007-2008 e c)2008	149
Figura 29:	Frequência de valores de pH na deposição apenas úmida nas estações de monitoramento na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari nos períodos: (a)2006-2007; (b)2007-2008 e (c)2008	156
Figura 30:	Quantificação da neutralização da acidez dos eventos chuvosos na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari pelo spray marinho (2006-2008): a)todas as estações; b)estação Gravatá; c)estação Lamarão e d)estação Escola	167
Figura 31:	Frequência de percentagens de neutralização da acidez da chuva pelo spray marinho nas estações monitoradas: a)2006-2007; b)2007-2008 e c)2008	168
Figura 32:	Níveis de SO_2 e de produtos de sua transformação (H_2SO_4 e outros sulfatos $<2\mu\text{m}$) determinados simultaneamente na atmosfera: a)Gravatá e b)Lamarão	177
Figura 33:	Níveis de NH_3 , NO_2 e de seus produtos de transformação (HNO_3 , NH_4NO_3 e outros nitratos $<2\mu\text{m}$) determinados simultaneamente na atmosfera: a)Gravatá e b)Lamarão	178
Figura 34:	Níveis de NH_3 , HCl e seus sais (NH_4Cl e outros cloretos $<2\mu\text{m}$) determinados simultaneamente na atmosfera: a)Gravatá e b)Lamarão	179
Figura 35:	Distribuição (nmol m^{-3}) de SO_2 e de produtos de sua transformação (H_2SO_4 e outros sulfatos $<2\mu\text{m}$) determinados na atmosfera das estações: a)Gravatá; b)Lamarão e c)Escola	181
Figura 36:	Distribuição (nmol m^{-3}) de NH_3 , NO_2 e de seus produtos de transformação (HNO_3 , NH_4NO_3 e outros nitratos $<2\mu\text{m}$) determinados na atmosfera das estações: a)Gravatá; b)Lamarão e c)Escola	182
Figura 37:	Distribuição (nmol m^{-3}) de NH_3 , HCl e seus sais (NH_4Cl e outros cloretos $<2\mu\text{m}$) determinados na atmosfera das estações: a)Gravatá; b)Lamarão e c)Escola	183
Figura 38:	Distribuição dos íons em média aritmética (nmol m^{-3}) no material particulado $<2\mu\text{m}$ nas estações em 2008: a)Gravatá; b)Lamarão e c)Escola	188

LISTA DE TABELAS

Tabela 01:	Medidas (nmol m^{-3}) de ácidos fortes, seus precursores e amônia na atmosfera de vários locais no Brasil	22
Tabela 02:	Medidas (nmol m^{-3}) de ácidos fortes, seus precursores e amônia na atmosfera de outros locais no mundo	23
Tabela 03:	Valores de pH (média ponderada por volume) para água de chuva no Recôncavo Baiano (1986-1987)	61
Tabela 04:	Concentrações iônicas ($\mu\text{mol L}^{-1}$) e pH das espécies na precipitação úmida do Rio de Janeiro	62
Tabela 05:	Concentrações iônicas ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de águas de chuva analisadas em Paulínia (2 estações) e Campinas	64
Tabela 06:	Concentrações iônicas ($\mu\text{mol L}^{-1}$) e pH na precipitação úmida da Amazônia	67
Tabela 07:	Concentração em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva (deposição apenas úmida) em vários locais no Brasil	69
Tabela 08:	Concentração ($\mu\text{mol L}^{-1}$) das espécies e pH da precipitação em Nanjing (China) durante 1992-2003	83
Tabela 09:	Valores de pH (média ponderada por volume) em cidades no Tibet nos períodos de 1987 a 1988 e 1997 a 1999	85
Tabela 10:	Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de espécies e valores de pH em Lhasa e outras áreas remotas	87
Tabela 11:	Concentração em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva (deposição apenas úmida) em vários locais na Ásia	93
Tabela 12:	Concentração em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva (deposição apenas úmida) em áreas remotas no mundo	93
Tabela 13:	Concentração em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva (deposição apenas úmida) em outras partes do mundo (não inclui áreas remotas)	94
Tabela 14:	Técnicas analíticas utilizadas e respectivos limites de detecção	124
Tabela 15:	Preparação de padrões da curva analítica e amostras de chuva para análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica	126
Tabela 16:	Preparação de padrões da curva analítica e amostras de chuva para análise de amônio por espectrofotometria molecular visível	130
Tabela 17:	Preparação de padrões da curva analítica e amostras para análise de sódio por fotometria de chama	131
Tabela 18:	Preparação de padrões da curva analítica para análise de cálcio, magnésio e potássio por ICP-OES	132

Tabela 19:	Preparação de padrões da curva analítica e amostras extraídas dos tubos denuders para análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica	135
Tabela 20:	Preparação de padrões da curva analítica e amostras de filtros para análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica	136
Tabela 21:	Preparação de padrões da curva analítica e amostras extraídas dos filtros do sistema de termodifusão para análise de amônio por espectrofotometria molecular visível	137
Tabela 22:	Preparação de padrões da curva analítica e amostras para análise de potássio por fotometria de chama	138
Tabela 23:	Preparação de padrões da curva analítica e amostras extraídas dos tubos denuders para análise de amônio por espectrofotometria molecular visível	139
Tabela 24:	Dados consolidados do monitoramento de chuva (deposição apenas úmida) em $\mu\text{mol L}^{-1}$ na estação Gravatá (2006-2008)	143
Tabela 25:	Dados consolidados do monitoramento de chuva (deposição apenas úmida) em $\mu\text{mol L}^{-1}$ na estação Lamarão (2006-2008)	143
Tabela 26:	Dados consolidados do monitoramento de chuva (deposição apenas úmida) em $\mu\text{mol L}^{-1}$ na estação Escola (2006-2008)	144
Tabela 27:	Razão Cl^-/Na^+ na chuva (deposição apenas úmida) das estações localizadas na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari (2006-2008)	150
Tabela 28:	Concentrações de SO_4^{2-} e $\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}$ na chuva (deposição apenas úmida) das estações localizadas na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari (2006-2008)	153
Tabela 29:	Coeficientes de correlação de Pearson para íons na deposição apenas úmida na área de influência do Pólo para 2006-2007	158
Tabela 30:	Coeficientes de correlação de Pearson para íons na deposição apenas úmida na área de influência do Pólo para 2007-2008	159
Tabela 31:	Coeficientes de correlação de Pearson para íons na deposição apenas úmida na área de influência do Pólo para 2008	160
Tabela 32:	Concentrações de NH_4^+ e $\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}$ na chuva (deposição apenas úmida) da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari (2006-2008).	169
Tabela 33:	Concentrações (nmol m^{-3}) de ácidos fortes, amônia, sais e precursores na atmosfera da estação Gravatá em Camaçari (março-setembro, 2008)	172
Tabela 34:	Concentrações (nmol m^{-3}) de ácidos fortes, amônia, sais e precursores na atmosfera da estação Lamarão em Lamarão do Passé (janeiro-setembro, 2008)	173
Tabela 35:	Concentrações (nmol m^{-3}) de ácidos fortes, amônia, sais e precursores na atmosfera da estação Escola em Dias D'Ávila (janeiro-julho, 2008)	174
Tabela 36:	Concentrações (nmol m^{-3}) mínimas e máximas de ácidos na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari (janeiro a setembro de 2008)	176

Tabela 37:	Inventário de emissões atmosféricas do Pólo Industrial de Camaçari (2006-2008)	180
Tabela 38:	Concentrações (nmol m^{-3}) de espécies no material particulado $<2 \mu\text{m}$ na estação Gravatá em Camaçari em 2008	185
Tabela 39:	Concentrações (nmol m^{-3}) de espécies no material particulado $<2 \mu\text{m}$ na estação Lamarão em Lamarão do Passé em 2008	186
Tabela 40:	Concentrações (nmol m^{-3}) de espécies no material particulado $<2 \mu\text{m}$ na estação Escola em Dias D'Ávila em 2008	187
Tabela 41:	Medidas (nmol m^{-3}) de material particulado $<2\mu\text{m}$ em outros locais e períodos no Brasil comparado com dados deste estudo	190

LISTA DE SIGLAS

AIP	Área de Influência do Pólo Industrial de Camaçari
AIRMoN	Rede Integrada de Pesquisa e Monitoramento Atmosférico
CANSAP	Rede Canadense de Amostragem de Precipitação
CAPMoN	Monitoramento da Precipitação Ácida no Canadá
CASTNET	Rede de Tendências e Situação de Ar Limpo
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CETREL	Empresa de Proteção Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional para Meio Ambiente
EPA	Agência de Proteção Ambiental Americana
EC	Agência de Proteção Ambiental Canadense
GIS	Sistemas de Informação Geográfica
ICP-OES	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado
IMI	Instituto Internacional de Meteorologia
IQ	Instituto de Química
KCAC-P2	Prevenção da Poluição e Mantendo Limpas as Áreas Limpas
LAQUAM	Laboratório de Química Analítica Ambiental
MADP	Programa de Monitoramento da Deposição Atmosférica
MAGIC	Modelo de Acidificação de Água Subterrânea em Bacias
MDN	Rede de Deposição de Mercúrio
MP	Material Particulado

NADP	Programa Nacional de Deposição Atmosférica
NADP/NTN	Programa Nacional de Deposição Atmosférica/Rede Nacional de Tendências
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
NSWS	Pesquisa Nacional de Águas Superficiais
OECD	Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento
PM ₁₀	Material Particulado < 10 µm
RMA	Rede de Monitoramento do Ar
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
STEM	Modelo de Transporte e Deposição de Enxofre
TRS	Compostos Reduzidos de Enxofre
VOCs	Compostos Orgânicos Voláteis
WHO	Organização Mundial de Saúde
WMO	Organização Mundial de Meteorologia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Transformações e Química do NO ₂ e SO ₂	25
2.1.1 Principais mecanismos envolvidos nas transformações de SO ₂	30
2.1.2 Principais mecanismos envolvidos nas transformações de NO ₂	34
2.2 Contribuições de NO ₂ e SO ₂ para formação da deposição ácida	41
2.3 Outras espécies envolvidas na formação da deposição ácida	43
2.4 Formação e características da deposição úmida	46
2.4.1 Formação da deposição ácida	47
2.4.2 Características da deposição úmida no Brasil	58
2.4.3 Deposição úmida em outros países	70
2.5 Deposição ácida e impactos associados	95
2.5.1 Impactos no Brasil e outras partes do mundo	105
3. METODOLOGIA APLICADA AOS ESTUDOS	111
3.1 Descrição da área de estudo e estratégia amostral	111
3.2 Metodologia Amostral	117
3.2.1 Metodologia amostral para chuva (deposição apenas úmida)	117
3.2.2 Metodologia amostral para ácidos fortes, amônia e sais	119
3.3 Metodologia Analítica	124
3.3.1 Metodologia analítica para chuva (deposição apenas úmida)	125
3.3.2 Metodologia analítica para ácidos fortes, amônia e sais	134
3.4 Critérios de qualidade para análise de dados de chuva	140
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	142
4.1 Avaliação dos resultados de chuva (deposição apenas úmida)	142
4.2 Avaliação dos resultados de ácidos fortes, amônia e sais	171
5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	191
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195
APÊNDICES	215
ANEXOS	250
	xiii

1. INTRODUÇÃO

O Pólo Industrial de Camaçari, composto por cerca de 70 empresas (nos ramos de química básica, polímeros, petroquímica, papel e celulose, cervejaria, metalurgia, entre outros), é uma fonte contínua de emissão de poluentes para a atmosfera. Esses poluentes, além de sofrerem deposição, são transportados e se transformam continuamente (influenciados por fatores físicos, químicos, meteorológicos e topográficos) dando origem a outros compostos caracterizados como poluentes secundários. Esses últimos podem ser ainda mais perigosos à saúde humana do que aqueles que lhe deram origem. A exemplo do sulfato de amônio, que pode ser formado na atmosfera a partir da reação do ácido sulfúrico com a amônia.

As principais emissões das empresas do Pólo são compostas de SO_2 , NO_x (NO e NO_2), CO , hidrocarbonetos, compostos reduzidos de enxofre, amônia, ácidos inorgânicos, compostos orgânicos voláteis (VOCs), material particulado (MP), etc. As principais fontes de SO_2 são a queima de óleo combustível em caldeiras, emissões de incineradores de resíduos perigosos e metalurgia de cobre. As emissões de NO_x são provenientes de processos de combustão e produção de matérias-primas para fertilizantes.

Apesar de já existirem hoje ações de avaliação da qualidade do ar em áreas de influências de complexos industriais por parte das empresas, sistemáticas visando o controle das fontes poluidoras ainda continuam sendo incipientes devido à complexidade da atmosfera receptora daquelas emissões. Considera-se, então, esse um dos maiores problemas ambientais a ser melhor elucidado.

Para garantia da avaliação da qualidade do ar e da meteorologia na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari, a CETREL opera, desde 1994, uma rede de Monitoramento do ar (RMA) com dez estações distribuídas nos municípios de Camaçari, Dias D'Ávila e Lamarão do Passé. A RMA monitora continuamente a

concentração de poluentes gasosos [SO_2 , NO_x , O_3 , CO , compostos reduzidos de enxofre (TRS), hidrocarbonetos totais e amônia] e parâmetros meteorológicos (direção e velocidade do vento; umidade relativa; temperatura; precipitação; radiação solar e pressão). Além disso, existe o monitoramento periódico de PM_{10} (material particulado $<10 \mu\text{m}$), VOCs e metais.

Os dados de monitoramento revelaram uma tendência de aumento das concentrações médias mensais de SO_2 em algumas estações da RMA localizadas à jusante do Pólo. Quanto ao NO_2 ocorreu um aumento das concentrações médias anuais, onde as maiores concentrações foram registradas nas estações localizadas dentro da cidade de Camaçari. Adicionalmente, ocorreram também picos de concentração para o NO_2 e SO_2 em algumas estações da RMA.

Do exposto acima, verifica-se a necessidade de melhor interpretação e análise integrada de dados de monitoramento dos poluentes, principalmente quanto à reatividade do SO_2 e do NO_2 (e suas possíveis transformações) na atmosfera. Para isso, faz-se necessário, em maior nível de detalhes, a realização do monitoramento periódico, e paralelo àquele contínuo realizado pela RMA, do H_2SO_4 e do HNO_3 , pois os mesmos têm origem a partir da reação do SO_2 e do NO_2 .

Em outra escala, considerando-se uma avaliação mais detalhada, verifica-se a necessidade de estudar a incorporação das emissões de SO_2 e NO_2 na chuva da região, avaliando as concentrações de sulfatos e nitratos na deposição úmida.

O entendimento sobre a dispersão de SO_2 e NO_2 na atmosfera e o limite de alcance desses poluentes, necessita de um maior aprofundamento. Essa avaliação é de extrema relevância como resposta para as empresas e para a população local.

Dessa forma, a realização desse estudo parte da motivação em aplicar esforços técnicos-científicos, a partir de uma necessidade real de investigação, para caracterizar

um cenário que melhor elucide o comportamento e as transformações do SO_2 e do NO_2 na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari.

A aplicabilidade dessa pesquisa, a partir da interação Empresa-Universidade, foi de interesse da CETREL, especificamente, com o foco na busca de aplicação de melhorias para proteção ambiental dentro dos limites do seu escopo de atuação para as empresas do Pólo. Em contrapartida, a Universidade Federal da Bahia através do IQ/LAQUAM, com o papel investigativo e de desenvolvimento científico, contribuiu cientificamente com respostas para a comunidade como retorno social desta pesquisa.

Este estudo teve como objetivo geral conhecer o comportamento do SO_2 e do NO_2 no que diz respeito às transformações desses poluentes na atmosfera da área de influência do Polo Industrial de Camaçari. Como objetivos específicos destacam-se:

- Avaliar e conhecer o comportamento do SO_2 e do NO_2 na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari, avaliando as suas transformações a partir da busca de correlações com os resultados obtidos em fase gasosa e particulada (H_2SO_4 , HNO_3 resultados obtidos em fase gasosa e particulada (H_2SO_4 , HNO_3 e seus sais);
- Determinar e avaliar as características da chuva, no que diz respeito aos seus principais componentes inorgânicos (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e buscar correlações entre esses íons, suas fontes e outras variáveis envolvidas no estudo;
- Conhecer o processo de transformação dos óxidos de enxofre e nitrogênio para H_2SO_4 e HNO_3 , respectivamente, na atmosfera;
- Utilizar os resultados obtidos neste estudo para atuar junto às empresas do Pólo com o objetivo de avaliar a implementação de ações para reduzir emissões de SO_2 e NO_2 (como, também, de outros poluentes) nas suas fontes geradoras como estratégia de prevenção à poluição.

2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A poluição atmosférica provoca os mais variados impactos à qualidade de vida, ao meio ambiente nas suas diversas formas e à saúde da população, com reflexo direto em todo o ecossistema.

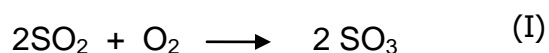
A emissão das espécies para a atmosfera está sujeita à dispersão, transporte, reações químicas e transformações físicas de mudança de fase entre gasosa e particulada (por exemplo). O termo emissão é relativo a uma dada fonte; ou seja, ao ponto ou área onde a descarga da emissão ocorre e expressa a taxa total (normalmente em massas por unidade de tempo), segundo a qual um poluente sólido, líquido ou gasoso é emitido na atmosfera. A forma como um determinado componente, ao ser emitido por fontes naturais ou antropogênicas, se comporta na atmosfera está relacionada, diretamente, aos fatores físicos, químicos, meteorológicos e topográficos.

As emissões podem ser naturais ou antropogênicas, dependendo do tipo de fonte, e ainda primárias ou secundárias. As espécies emitidas diretamente para a atmosfera (NO, SO₂, etc.) são consideradas emissões primárias. As emissões secundárias são aquelas formadas quando as emissões primárias se transformam, participando de reações térmicas ou fotoquímicas (ozônio, ácido sulfúrico, ácido nítrico, etc.) e produzindo espécies com propriedades diferentes daquelas que lhe deram origem.

Segundo Finlayson-Pitts e Pitts (2000), entre as emissões antropogênicas gasosas, uma das principais é a de SO₂, resultante da queima de combustíveis contendo enxofre. É possível estimar a taxa de emissão de SO₂ conhecendo-se o consumo de combustível e o percentual de enxofre nele contido (considerando-se que 90% do enxofre, ou mais, é emitido sob a forma de SO₂).

Nas atividades industriais são emitidas quantidades consideráveis de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, representando uma grande contribuição para a formação de ácidos inorgânicos.

Segundo Calvert (1982), do ponto de vista termodinâmico SO_2 tem uma forte tendência a reagir com o oxigênio do ar através da equação descrita abaixo:



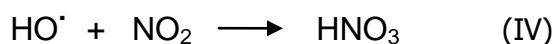
No entanto, a velocidade da reação é tão lenta sem ter sido catalizada, em fase gasosa, que pode ser completamente negligenciada como uma fonte de SO_3 . Quando SO_3 é formado, o mesmo reage rapidamente com o vapor d'água para formar ácido sulfúrico:



Quanto às emissões de óxidos de nitrogênio, segundo Seinfeld e Pandis (1998), a maior parte do NO_x formado por combustão corresponde ao NO . Entretanto, NO_2 é formado a partir do NO , emitido por gases de exaustão, através da equação descrita abaixo:



Adicionalmente, o NO_2 reage com os radicais OH^\cdot , formando o ácido nítrico, segundo a equação abaixo:



Os compostos de enxofre e nitrogênio, e suas transformações na atmosfera, colaboram diretamente na geração da precipitação úmida, onde SO_2 e NO_2 possuem um papel

significativo para a formação da chuva ácida em uma determinada localidade. Esse tipo de precipitação provoca danos à vegetação, ao solo, aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (dependendo da magnitude do impacto e do tempo de ocorrência do mesmo) e aos seres vivos.

As áreas industriais são locais que contribuem com uma grande parcela das emissões de poluentes para a atmosfera. A exemplo de empresas petroquímicas, de química básica e intermediários, de polímeros, de química fina, de celulose, de metalurgia, de cervejaria (entre outras). Em geral, os principais componentes emitidos são: SO₂, NO_x, CO, VOCs e MP.

As tabelas 1 e 2, dispostas a seguir, apresentam valores de concentração de alguns desses componentes gasosos em vários locais no Brasil e no mundo.

Tabela 01: Medidas (nmol m⁻³) de ácidos fortes, seus precursores e amônia na atmosfera de vários locais no Brasil

Locais (período) ^{referência}	Concentrações das espécies - média aritmética (nmol m ⁻³)					
Áreas Industriais	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄	SO ₂	NO ₂	NH ₃
Bahia-Camaçari-CIBEB (1993-1994) ^a	9,80	0,840	3,19	44,2	sd	248
Paraná-Araucária (1997) ^a	0,432	4,51	25,0	40,0	sd	1368
São Paulo-Cubatão-Complexo Industrial (1992) ^a	0,960	4,11	10,0	sd	sd	893
Bahia-Camaçari-Pólo Industrial (1993) ^b	18,7	4,93	1,11	sd	sd	171
Bahia-Camaçari-Pólo Industrial (1994) ^b	77,2	5,57	1,90	sd	sd	126
São Paulo-Cubatão-Centro (2007-2009) ^c	sd	sd	sd	203	514	sd
São Paulo-Cubatão-Vila do Mogi (2007-2009) ^c	sd	sd	sd	188	659	sd
São Paulo-Cubatão-Vila Parisi (2007-2009) ^c	sd	sd	sd	302	826	sd
Áreas Urbanas						
Bahia-São Sebastião do Passé (1993-1994) ^a	10,5	2,22	0,708	35,0	sd	386
São Paulo-Congonhas (2007-2009) ^c	sd	sd	sd	177	1630	sd
São Paulo-Guarulhos (2007-2009) ^c	sd	sd	sd	93,8	sd	sd
Áreas Rurais						
São Paulo-Paulínea-Centro (2007-2009) ^c	sd	sd	sd	88,5	500	sd
Bahia-Cahoeira São Félix-Pedra do Cavalo (1993) ^a	18,5	0,784	1,77	44,0	sd	12,2
Áreas Remotas						
Bahia-Camaçari-ITACIMIRIM (1994) ^a	27,0	2,61	1,51	38,0	sd	55,6

sd = sem dados dessa espécie na referência citada

^a Campos (1995)

^b Couto (1996)

^c Cetesb (2010)

Tabela 02: Medidas (nmol m^{-3}) de ácidos fortes, seus precursores e amônia na atmosfera de outros locais no mundo

Locais (período) ^{referência}	Concentrações das espécies - média aritmética (nmol m^{-3})					
	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄	SO ₂	NO ₂	NH ₃
Áreas Urbanas						
Estados Unidos-Pittsburgh-South Fayette (1993) ^a	sd	sd	sd	450	sd	22,9
Estados Unidos-Pittsburgh-Libertyboro (1993) ^a	sd	sd	sd	532	sd	86,3
Estados Unidos-Pittsburgh-Flag Plaza (1993) ^a	sd	sd	sd	491	1308	87,8
Estados Unidos-Pittsburgh-Lawrenceville (1993) ^a	sd	sd	sd	sd	981	50,5
China-Região Leste-Jiangsu Province (2007-2008) ^d	sd	sd	sd	sd	898	318
Canadá-Hamilton (1994) ^f	sd	140	sd	140	sd	142
Córea-Região Norte-Seoul Province (1998-2000) ^h	sd	sd	sd	245	sd	sd
Japão-Nara City (1994-1995) ⁱ	45,5	25,6	sd	68	sd	143
Áreas Rurais						
Estados Unidos-Carolina do Norte-Clinton (2000) ^c	12,1	13,0	sd	62,3	sd	313
Estados Unidos-Carolina do Norte-Kinston (2000) ^c	6,44	4,76	sd	34,8	sd	145
Estados Unidos-Carolina do Norte-Morehead City (2000) ^c	9,04	3,49	sd	26,6	sd	34,4
Estados Unidos-Carolina do Norte-Região Leste (1997) ^g	20,4	2,44	sd	46,7	sd	616
China-Região Leste-Jiangsu Province (2007-2008) ^d	sd	sd	sd	sd	926	241
China-Região Sudoeste-Kaili (2008) ^e	sd	sd	sd	2530	278	753
China-Região Sudeste-Meixian (2008) ^e	sd	sd	sd	225	356	278
Canadá-Região Central-Hegbert (1992-1994) ^f	sd	512	sd	513	sd	506
Córea-Região Sul-Gyeongnam Province (1998-2000) ^h	sd	sd	sd	136	sd	sd
Córea-Região Sul-Gyeongnam Province (1998-2000) ^h	sd	sd	sd	136	sd	sd
Áreas Remotas						
Estados Unidos-Carolina do Norte-Mt.Mitchel Park (1988) ^b	sd	18,1	sd	sd	sd	36,5
Estados Unidos-Carolina do Norte-Mt.Mitchel Park (1989) ^b	sd	22,2	sd	sd	sd	86,5
China-Região do Tibet-Waliquan GAW Station (2008) ^e	sd	sd	sd	28,7	24,5	168

sd = sem dados dessa espécie na referência citada

^a McCurdy, *et al.* (1999)

^b Aneja, *et al.* (1998)

^c Walker, *et al.* (2004)

^d Yang, *et al.* (2010)

^e Meng, *et al.* (2010)

^f Brook, *et al.* (1997)

^g McCulloch, *et al.* (1998)

^h Nguyen; Kim (2006)

ⁱ Matsumoto; Okita (1998)

As áreas urbanas também contribuem com emissões de poluentes para a atmosfera oriundos, na sua maioria, de veículos. O estado de São Paulo é considerado um exemplo ilustrativo nesse caso onde, nos grandes centros, a poluição atmosférica (principalmente atrelada às emissões de NO_x, CO e MP) pode provocar danos ao meio ambiente (solo, vegetação, recursos hídricos, entre outros) e à saúde humana. Segundo CETESB (2005), a partir de 1970, foram detectados altos níveis de CO na

área central do município de São Paulo, onde as emissões oriundas de veículos automotores foram caracterizadas como uma contribuição significativa.

Faz-se necessário a avaliação contínua da qualidade do ar na área de influência das zonas industriais e, também, nas zonas urbanas. O monitoramento contínuo dos poluentes convencionais (SO_2 , NO_x , CO , O_3 e MP, para os quais os limites são estabelecidos pela resolução CONAMA 003/90), amônia, TRS, hidrocarbonetos, parâmetros meteorológicos (entre outros). Como a legislação ambiental brasileira não considera limites para poluentes secundários (BRASIL, 1990), oriundos, por exemplo, dos óxidos de enxofre e nitrogênio, a grande maioria das avaliações realizadas através de monitoramentos periódicos e/ou contínuos não engloba essas medidas. Considera-se, dessa forma, essencial entender a caracterização da qualidade do ar no que se refere ao conhecimento do comportamento de algumas espécies que são lançadas para a atmosfera. E, principalmente, daqueles poluentes que possuem papel relevante na geração de ácidos inorgânicos e que, conseqüentemente, contribuem para a formação da deposição ácida.

As pesquisas em química atmosférica têm demonstrado claramente que o entendimento das questões ambientais está relacionado diretamente aos problemas locais e globais de um determinado país (e suas fronteiras). Significa dizer que existem áreas sendo impactadas, também, por contribuições de outros países através da rota de transporte de poluentes por longas distâncias. Estudos têm comprovado que alguns locais na Ásia já vêm sofrendo há décadas esse tipo problema, em que parte das emissões tem origem nos Estados Unidos. Alguns pesquisadores já desenvolvem esforços científicos entre universidades e centros de pesquisa (por exemplo, entre pesquisadores dos Estados Unidos, China e Japão) para tentar esclarecer comportamentos de alguns poluentes, transformações e impactos associados. (Carmichael *et al.*, 2003; Guttikunda *et al.*, 2003; Fujita *et al.*, 2000; Granat *et al.*, 1996; Hov, 1994; Chang *et al.*, 1990).

2.1 TRANSFORMAÇÕES E QUÍMICA DO NO₂ E SO₂

Os poluentes após serem lançados por fontes antropogênicas ou naturais sofrem transformações físico-químicas, em um determinado período de tempo, a uma certa altura e distância da fonte emissora e sob certas condições meteorológicas.

Vários fatores irão determinar a dispersão das emissões de poluentes na atmosfera, entre eles, as condições meteorológicas (estabilidade atmosférica; a velocidade e direção dos ventos e a altura da coluna da camada de mistura). Independentemente desses fatores e suas ações, faz-se necessário entender os variados processos que ocorrem, de forma isolada e/ou conjunta, na atmosfera, a partir das reações químicas e das mudanças de fase das espécies.

Das transformações que ocorrem com as espécies na atmosfera existem processos, nos quais determinadas reações químicas são a chave para o entendimento de outras interações que se desenvolvem em áreas poluídas e em regiões consideradas remotas. Muitos desses processos revelam o comportamento de componentes que participam de interações significativas da química atmosférica e os níveis de poluição e impactos associados às escalas local, regional e global.

O conhecimento de como ocorrem determinadas transformações e a fotoquímica de componentes lançados na atmosfera por fontes antropogênicas e/ou naturais, auxiliam na clareza dos mecanismos envolvidos nas diversas fases e formas dessas espécies na atmosfera.

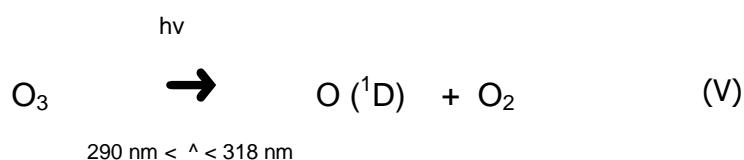
Os óxidos SO₂ e NO_x estão presentes na atmosfera e dão origem, através de reações com outros componentes, ácidos e sais inorgânicos (entre outros). O dióxido de enxofre pode ser liberado para a atmosfera através de fontes antropogênicas e naturais. As principais fontes antropogênicas de SO₂ são a queima de óleo combustível em caldeiras, as emissões de incineradores de resíduos perigosos e a metalurgia de cobre. A erupção de vulcões, como fonte natural de dióxido de enxofre, libera gases orgânicos

contendo enxofre e principalmente SO_2 e H_2S . As emissões de NO_x são provenientes de processos de combustão e produção de matérias-primas para fertilizantes. As emissões veiculares são também fonte de NO_2 (Meng, *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2008; Quan e Zhang, 2008; Martins e Andrade, 2002; Finlayson-Pitts e Pitts, 2000; Streets *et al.*, 2000).

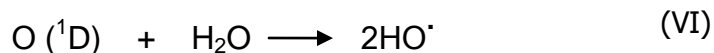
Dependendo da altura das chaminés por onde os poluentes são lançados, dos fatores meteorológicos e das reações fotoquímicas ocorridas, esses poluentes podem contribuir de forma direta na formação de poluentes secundários. Esses últimos podem ser, ainda, mais perigosos à saúde humana do que aqueles que lhe deram origem. A exemplo do sulfato de amônio, que pode ser formado a partir da reação do ácido sulfúrico com a amônia (Finlayson-Pitts e Pitts, 2000; Campos, 1995).

Substâncias traço (constituintes em concentração $< 10^{-2}$ %), tanto de origem natural quanto antropogênica, ocorrem na atmosfera como gases, outras como partículas (partículas sólidas e, principalmente, partículas heterogêneas dispersas no ar). Muitas se transformam, mudando de fase e/ou de forma química. Por exemplo, vapor d'água pode ser resfriado a ponto de se transformar em gotículas ou cristais de gelo, componentes de nuvens e SO_2 gasoso que pode passar para gotícula de H_2SO_4 (Campos, 1995).

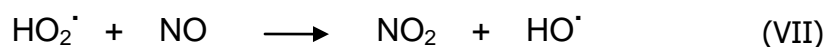
Muitos processos de oxidação que ocorrem na troposfera envolvem dinâmicas com o radical hidroxila. Esse radical é formado fotoquimicamente na absorção da luz pelo ozônio, em uma determinada região do espectro, entre menores comprimentos de onda da radiação solar a alcançarem a superfície a terra (290 nm) e com energia limite (318 nm) para fótons capazes de decomporem o ozônio em átomos de oxigênio excitado $\text{O} (^1\text{D})$. Segundo Calvert (1994), a reação, descrita a seguir, ilustra o que foi explicado:



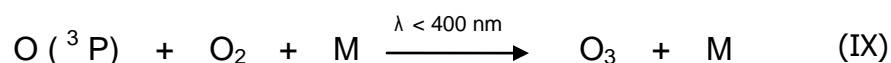
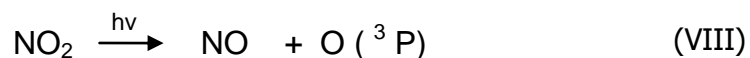
O oxigênio excitado reage com o vapor de água para formar radicais hidroxila, de acordo com a reação descrita abaixo:



Ainda segundo Calvert (1994), os radicais hidroxila não reagem com os gases oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono e vapor de água. Esses radicais oxidam gases traço como monóxido de carbono e metano, produzindo radicais peroxil e peróxido e ocorrendo a formação extensiva de ozônio na troposfera pela oxidação de monóxido de nitrogênio a dióxido de nitrogênio. As reações estão descritas a seguir:



E o ozônio pode ser formado abaixo da estratosfera pela fotólise do NO_2 , segundo a reação abaixo:



Observa-se que a fotólise do NO_2 ocorrerá de forma eficiente quase que em toda a troposfera, onde existe luz do dia. E a produção do HO^\bullet através da fotólise do ozônio dependerá das mudanças que ocorrem em componentes solares da radiação UV (Calvert, 1994).

O diagrama proposto por Calvert (1994), descrito pela figura 01, é um diagrama simplificado para ilustrar que a produção de oxidantes leva à formação de ácidos fortes na presença de gases como SO_2 e NO_2 . O diagrama descrito na figura 01 explicita, apenas, o papel dos ácidos inorgânicos (sulfúrico e nítrico) como componentes envolvidos na formação da chuva ácida.

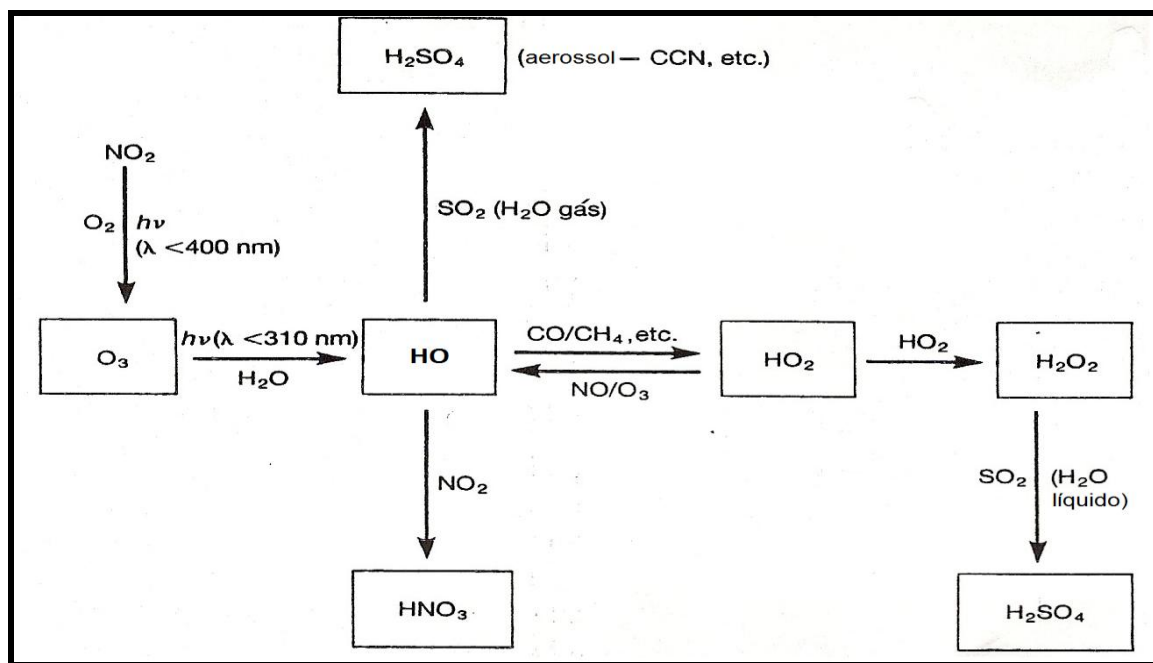


Figura 01: Relações entre radicais livres, oxidantes e ácidos na baixa atmosfera.

Fonte: Adaptado de Calvert (1994).

No entanto, estudos realizados por Reene e Galloway (1988, *apud* Calvert, 1994, p.329) indicaram a presença de ácidos orgânicos em área remota. Nessas áreas existem grandes quantidades de hidrocarbonetos, que são emitidos naturalmente, e (também) baixas concentrações de SO_2 e NO_2 na atmosfera local. Algumas espécies orgânicas podem contribuir para a formação de eventos chuvosos com características ácidas.

Observa-se, ainda, que alguns estudos realizados no Brasil e outros locais no mundo sinalizam a contribuição de espécies orgânicas (ácido fórmico, acético, entre outros)

para a acidez das águas de chuva (Fornaro e Gutz, 2003; Kieber *et al.*, 2002; Kawamura *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 1997).

Segundo Seinfeld e Pandis (1998), a forma gasosa/particulada/aquosa de ácidos nítrico e sulfúrico são as principais contribuições encontradas em áreas poluídas. Outras pequenas contribuições nessas áreas são oriundas da presença de ácido clorídrico e ácidos orgânicos (principalmente, acético e fórmico).

A oxidação de SO_2 envolve mudança de fase de gás para aerossol. Esse último pode ser constituído por gotas finas ou partículas de ácido sulfúrico, dependendo da temperatura do local. Segundo Calvert (1994), essas partículas ou gotas são núcleos de condensação muito eficientes e possuem um papel muito importante na formação das nuvens em diferentes partes da atmosfera. Charlson *et al.* (1987 *apud* Calvert, 1994, p.329) observaram que na troposfera esses são os mais abundantes núcleos de condensação, especialmente em áreas oceânicas.

Reações químicas que convertem SO_2 em sulfato e NO_x em nitrato são o centro dos processos atmosféricos que determinam as relações entre precursores e a deposição ácida de sulfatos e nitrato. Ambos os processos gasoso e aquoso-gasoso podem ter importância nessa etapa.

Reações primariamente responsáveis pela conversão de SO_2 e NO_x para H_2SO_4 e HNO_3 na fase gasosa envolvem radicais HO^\bullet . Logo, taxas de conversão de SO_2 e NO_2 na fase gasosa dependem da concentração dos radicais HO^\bullet . Taxas de conversão de SO_2 pela reação $\text{SO}_2\text{-OH}$ são aproximadamente 10 vezes mais lentas do que as taxas de conversão do NO_x para nitrato. Por causa da taxa relativamente alta da reação $\text{NO}_2\text{-OH}$ comparada com a reação $\text{SO}_2\text{-OH}$, pode-se considerar como uma hipótese que a produção de HNO_3 ocorrerá mais rapidamente do que a de H_2SO_4 nas proximidades das fontes (Seinfeld e Pandis, 1998).

Alguns mecanismos de produção dos ácidos sulfúrico e nítrico, a partir do SO₂ e NO₂, serão descritos e comentados nos parágrafos seguintes.

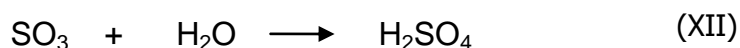
2.1.1 Principais mecanismos envolvidos nas transformações do SO₂

Algumas espécies sofrem transformações, através de rotas diferenciadas, nas quais ocorrem mudanças de fase nos processos envolvidos.

Nos parágrafos, dispostos a seguir, serão apresentados dois mecanismos envolvendo transformações de SO₂ em fases diferentes: a) mecanismos na fase gasosa e b) mecanismos multifase ou heterogêneo.

a) Mecanismos na fase gasosa

O mecanismo mais eficiente na fase gasosa é a oxidação do SO₂ por radicais OH[•]. Calvert e Stockwell (1983, *apud* Calvert, 1994, p.330) determinaram o mecanismo dessa reação, como descrito abaixo:



O radical HO₂ produzido pode oxidar NO e NO₂ fazendo com que ozônio possa ser formado (através de outras reações), além do H₂SO₄ como principal espécie resultante desse mecanismo. Além disso, existirá a formação de radicais hidroxila (a partir da reação do HO₂[•] e do NO, descrita anteriormente), que irão oxidar o SO₂ como uma reação em cadeia.

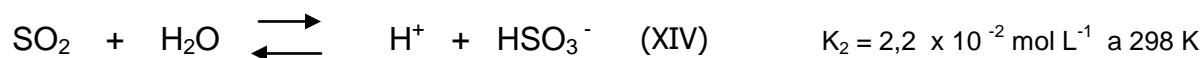
Existem outras rotas na fase gasosa, que podem descrever a formação de ácido sulfúrico a partir do SO_2 . No entanto, Calvert (1994) considera os mecanismos descritos acima como os de maior significância na química atmosférica que leva à formação de ácido sulfúrico via SO_2 .

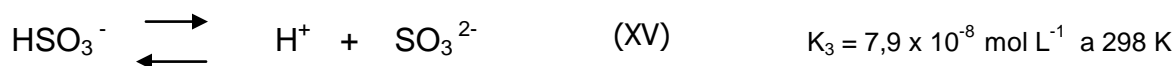
A conversão de SO_2 na fase gasosa para H_2SO_4 sob forma de aerossol é presumivelmente e primariamente dependente da concentração de HO^\cdot , que depende indiretamente dos níveis de NO_x e orgânicos, como também da intensidade da luz solar.

A taxa de conversão é linear em relação ao SO_2 , mas é influenciada de uma forma complexa, e quase sempre não linear, pela concentração de NO_x e orgânicos através do efeito nos níveis de OH^\cdot . Sulfato adicional é formado na absorção de SO_2 pelas gotas, seguido de oxidação na fase aquosa. A quantidade de SO_2 absorvida depende da concentração de SO_2 e do pH da solução (Seinfeld e Pandis, 1998).

b) Mecanismos multifase ou heterogêneo

Algumas reações ocorrem entre espécies contidas em gotas de água e na superfície de partículas (que, na maioria, contém água); onde existe o envolvimento de gases altamente solúveis, e que hidrolisam em água para produzir diferentes espécies químicas. Nesse sentido, temos o exemplo da formação de ácido sulfúrico através do SO_2 a partir das reações descritas abaixo:

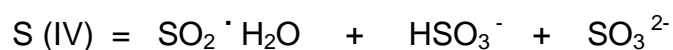




O dióxido de enxofre na fase gasosa participa de três reações, onde na primeira o gás se dissolve na água para formar o equilíbrio $\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Na segunda, ocorre a formação do íon bisulfito (HSO_3^-); e na terceira é formado o íon sulfito (SO_3^{2-}). Os valores de K_1 , K_2 e K_3 representam as constantes da lei de Henry para SO_2 em cada reação.

Observa-se que o pH do meio tem uma grande influência na solubilidade do SO_2 nas várias formas. Finlayson-Pitts e Pitts (2000) salientam que a forma predominante dissolvida em solução depende da acidez do meio onde SO_2 se dissolve. Na faixa de pH típica das gotas atmosféricas (2-6), a maior parte do SO_2 dissolvido está na forma de íon bissulfito (HSO_3^-). Calvert (1994) explica que concentrações substanciais de SO_3^{2-} estão presentes apenas em valores de pH igual a 6 ou acima desse valor.

Por causa das diferentes formas do SO_2 dissolvido, o estado de oxidação (+ 4) é usualmente usado para expressar todas as formas de SO_2 em conjunto:



Segundo Finlayson-Pitts e Pitts (2000), a forma oxidada de enxofre (isto é, ácido sulfúrico e sulfato) está no estado de oxidação +6 e é comumente referenciada como S (VI).

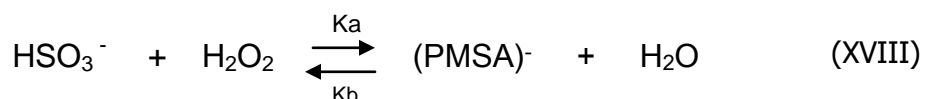
A formação de sulfato depende da reação dos íons bissulfito e sulfito com ozônio, através dos mecanismos descritos abaixo:





Segundo Calvert (1994), a ocorrência dessas reações é dependente do valor de pH do meio líquido. Essas reações irão ocorrer em valores de pH acima de 5,5.

Considerando que o valor de pH médio de nuvens e águas de chuva é menor do que 5,0 em regiões submetidas à poluição atmosférica e em áreas remotas oceânicas (longe de altas concentrações e poeira, que podem ter o efeito de neutralizar o pH), o mecanismo de oxidação predominante na fase aquosa é através da reação com peróxido de hidrogênio. Calvert (1994) apresenta as reações abaixo:



O ânion ácido peroxi monossulfuroso (PMSA)⁻ está em equilíbrio com os reagentes (Ka e Kb) e somente formará o ácido sulfúrico a partir da segunda reação (Kc) com H⁺.

A Figura 02, descrita a seguir, ilustra os processos envolvidos na oxidação do SO₂ para SO₄²⁻.

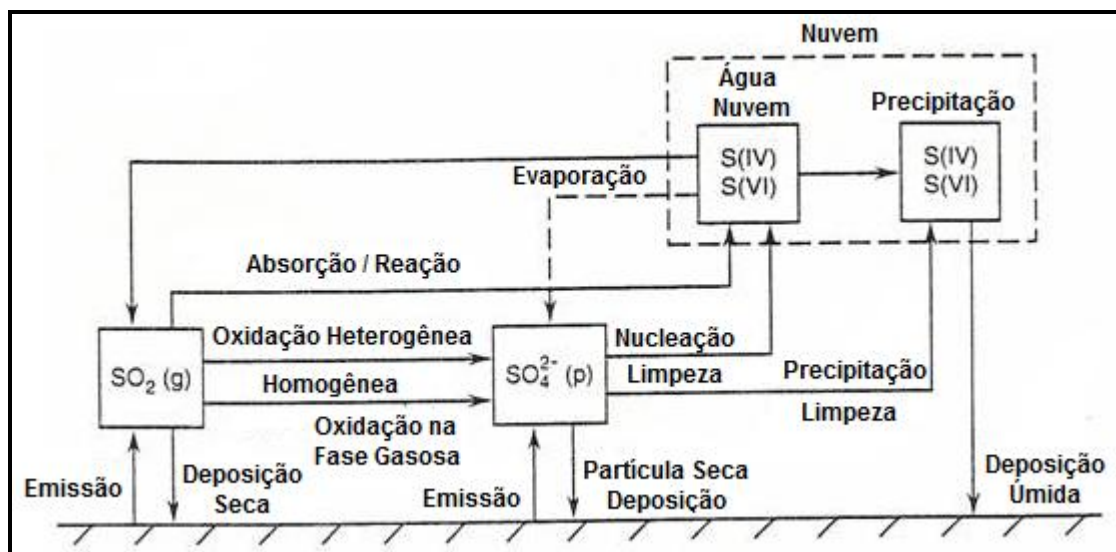


Figura 02: Sumário de emissão, oxidação e deposição de S (IV) e S (VI).

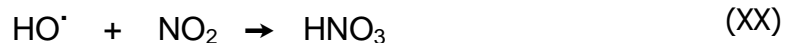
Fonte: Adaptado de Finlayson-Pitts e Pitts (2000).

As etapas do processo que direcionam o SO_2 na fase gasosa para sulfato na fase aquosa são descritas, segundo Finlayson-Pitts e Pitts (2000), como:

- 1) Transporte dos gases da superfície para a gota;
- 2) Transferência de gás através da interface ar – líquido;
- 3) Formação do equilíbrio na fase aquosa das espécies dissolvidas;
- 4) Transporte de espécies dissolvidas da superfície para a fase aquosa da gota;
- 5) Reação na gota.

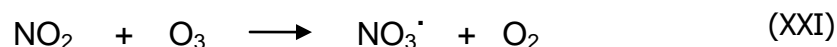
2.1.2 Principais mecanismos envolvidos nas transformações do NO_2

O NO_2 pode sofrer reações e passar por transformações na fase gasosa e líquida para formação de ácido nítrico. Calvert (1994) propõe o mecanismo, descrito abaixo, ocorrendo na fase gasosa:



Essa é uma das reações onde o radical hidroxila é removido da atmosfera, promovendo a formação do ácido nítrico. Observa-se que a formação do HNO₃ não ocorre de forma isolada em atmosferas poluídas. Outros componentes como ozônio e peroxiacetil nitrato (PAN), também, são formados paralelamente.

Outras reações podem ocorrer com NO₂ através de mecanismos, envolvendo processos na fase gasosa e aquosa. Segundo Calvert (1994), isso pode acontecer através de reações do NO₂ com ozônio como descrito abaixo:

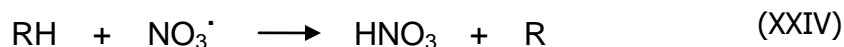


A produção do radical NO₃ em equilíbrio com N₂O₅ leva à formação do ácido nítrico, envolvendo uma mistura de processos na fase gasosa e na fase solução. A reação, descrita a seguir, ilustra o que foi explicado:



O mecanismo irá responder à observação de quantidades substanciais de nitrato na chuva no período de inverno e já tem sido apresentado ocorrendo em experimentos da química das nuvens realizados em Great Dun Fell no norte da Inglaterra (R. Colville *et al.*, observações não publicadas) (Calvert, 1994).

Segundo Atkinson (1990, *apud* Calvert, 1994, p. 337), outro caminho de formação de ácido nítrico seria através da reação de radicais NO₃ com hidrocarbonetos, produzindo radicais alquila que levam à formação de ozônio e ácido nítrico. A reação, abaixo, descreve o mecanismo proposto:



Os óxidos de nitrogênio possuem um papel central nas transformações químicas ocorridas na atmosfera, participando de vários mecanismos que contribuem para a formação do ozônio na troposfera e oxidantes atmosféricos (como radicais nitrato), e para formação da deposição ácida.

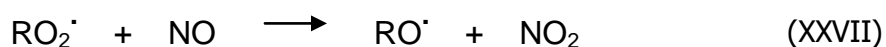
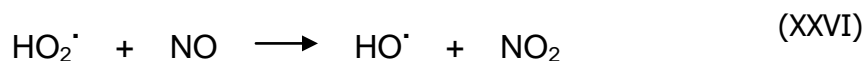
O ácido nítrico ocorre tanto na deposição úmida quanto seca e pode ser rapidamente neutralizado pela amônia, que é a principal base gasosa encontrada na atmosfera (Finlayson-Pitts e Pitts, 2000).

A maior parte das emissões primárias de NO_x estão sob a forma de NO. A reação de oxidação do NO permite a formação do NO_2 , que desencadeia outras reações que levam à produção de HNO_3 e outros compostos.

Segundo Finlayson-Pitts e Pitts (2000), inicialmente, no século XX e início da década de 50, a conversão atmosférica de NO para NO_2 foi descrita através da reação abaixo:



No entanto, estudos mais atuais comprovaram que a oxidação de NO a NO_2 pode ocorrer, também, através das reações descritas abaixo:



Existem várias reações do NO_2 com outras espécies, ocorrendo nas fases gasosa e líquida, que levam à formação do ácido nítrico. Essas reações podem ocorrer de várias formas: a) reação com HO^\cdot na fase gasosa; b) reações para formar NO_3^\cdot e N_2O_5 e c) reações com água. Os parágrafos, dispostos a seguir, abordarão os principais caminhos.

a) Oxidação do NO_2 a partir da reação com radical HO^\cdot

O NO_2 reage rapidamente com o radical HO^\cdot , formando ácido nítrico através da reação abaixo:

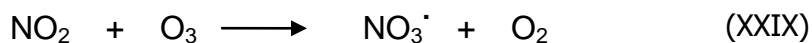


Essa reação é primariamente diurna por que a maioria das fontes de HO^\cdot são fotolíticos na natureza. Como resultado, a reação do NO_2 com o radical HO^\cdot compete com a reação de fotólise do NO_2 (Finlayson-Pitts e Pitts, 2000).

Ainda segundo Finlayson-Pitts e Pitts (2000), essa reação não é usualmente um processo dominante de perda de NO_2 . Mas, é ainda suficientemente rápida para formar quantidades significantes de HNO_3 durante o dia e, especificamente, em regiões poluídas com concentrações de NO_2 relativamente grandes.

b) Reações do NO_2 para formar NO_3^\cdot e N_2O_5

NO_2 reage com ozônio, formando radical nitrato (NO_3^\cdot) através da reação descrita abaixo:



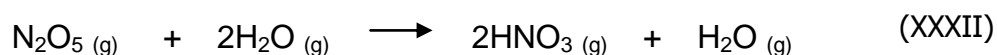
O radical NO_3 formado pode reagir com NO_2 , resultando N_2O_5 através da reação descrita a abaixo:



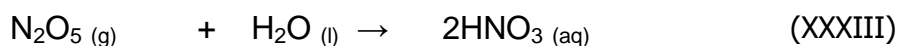
Acredita-se que o N_2O_5 possui um papel relevante para a contribuição de ácido nítrico, pois as moléculas gasosas reagem com água para formar HNO_3 .

A reação de N_2O_5 na fase gasosa é suficientemente lenta na maioria dos estudos, que apenas um limite superior da constante da taxa de $\sim 10^{-21} \text{ cm}^3 \text{ molec}^{-1} \text{ s}^{-1}$ tem sido determinado (Atkinson *et al.*, 1986; Hjorth *et al.*, 1987; Sverdrup *et al.*, *apud* Finlayson-Pitts e Pitts, 2000, p.279). Por outro lado, os estudos de Mentel *et al.* e Wahner *et al.* (1996 e 1998a, *apud* Finlayson-Pitts e Pitts, 2000, p.279) explicam que o uso de uma câmara de reação grande (250 m^3) utilizada para avaliar a reação na fase gasosa e a hidrólise do N_2O_5 revelaram que essas reações possuem componentes bimolecular e termomolecular.

As reações abaixo descrevem as transformações ocorridas com o N_2O_5 :



Deve-se considerar, também, a hidrólise do $\text{N}_2\text{O}_5 (\text{g})$, sendo catalizada nas superfícies, onde a reação ocorre rapidamente:



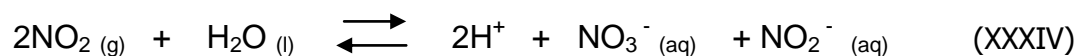
A reação acima poderia ocorrer através da absorção do N_2O_5 por gotas ou pela água existente em superfícies presentes na atmosfera.

Acredita-se que esse caminho seja a fonte principal de formação de ácido nítrico na atmosfera. Ljungström e Hallquist (1996, *apud* Finlayson-Pitts e Pitts, 2000, p.279) reportaram que as taxas de formação de NO_3 calculadas e as taxas medidas de nitrato na deposição úmida em um local na Suécia foram bem similares, onde eles acreditam ser devido à formação de N_2O_5 , seguida de hidrólise (apesar de que a reação direta e a captura de NO_3 também podem ter contribuído).

c) Reações do NO_2 com água

Os óxidos de nitrogênio (NO e NO_2) em altas concentrações podem se dissolver em solução aquosa e reagir para formar outras espécies como nitratos e nitritos.

Vários estudos têm sido desenvolvidos para avaliar o comportamento desses óxidos a partir da absorção em fase líquida e reações nesse meio. Segundo Finlayson-Pitts e Pitts (2000), essa absorção na fase aquosa, sob a forma de nuvem e neblina, na atmosfera e a subsequente oxidação não é considerada muito significativa sob condições atmosféricas típicas. A maior razão para isso é que o NO e NO_2 não são muito solúveis em água. A cinética de reação para formar espécies ácidas é muito lenta, pois as taxas de reação dependem das concentrações dos reagentes elevado ao quadrado. As duas reações que foram primariamente consideradas são descritas abaixo:



Acredita-se que o mecanismo de oxidação de NO e NO₂ na fase líquida (quando os mesmos são incorporados nas nuvens e neblinas) não seja uma contribuição tão significativa para a formação de nitratos e para compor as características ácidas. Finlayson-Pitts e Pitts (2000) considera que a principal fonte de HNO₃ nas nuvens, neblinas e partículas seja a oxidação de NO_x para formar HNO₃ gasoso.

Segundo Seinfeld e Pandis (1998), níveis de precipitação de nitrato aparecem pela remoção de HNO₃ gasoso e aerossóis contendo nitrato. A taxa de formação de ácido nítrico é dependente do nível geral de reatividade fotoquímica da atmosfera; e, então, os níveis de nitrato podem responder não linearmente às mudanças nas emissões de NO_x, dependendo de como essas mudanças afetem os níveis de HO[•].

Com o contexto apresentado, nos parágrafos explicativos sobre as transformações e química do SO₂ e NO_x, torna-se essencial ressaltar as contribuições desses poluentes gasosos para a formação da chuva ácida de uma localidade de estudo. Assim, será ressaltado, de forma sintética nos parágrafos seguintes, a contribuição do SO₂ e NO₂ na formação da precipitação ácida.

2.2 CONTRIBUIÇÕES DE NO_2 e SO_2 PARA FORMAÇÃO DA DEPOSIÇÃO ÁCIDA

Algumas espécies, após sofrerem reações químicas e outros processos físicos, se transformam em outros componentes que são depositados na superfície da terra através de processos de precipitação. Esses processos, que se constituem em uma forma de retirada de componentes da atmosfera, podem ocorrer via deposição úmida (*wet deposition*) ou seca (*dry deposition*). Nesse sentido, os óxidos de enxofre e nitrogênio possuem um papel significativo no estabelecimento das características da deposição úmida. A figura 03, disposta a seguir, ilustra de forma simplificada o que foi explicado anteriormente:

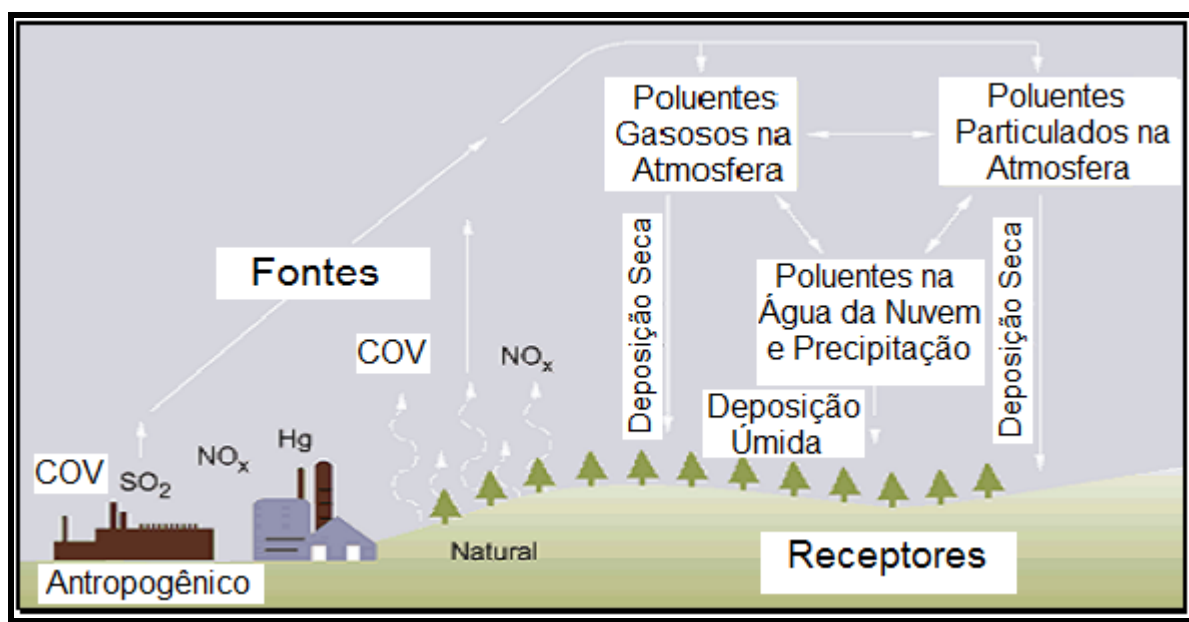
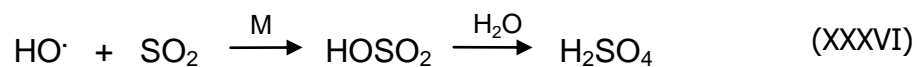


Figura 03: Esquema da deposição úmida e seca.

Fonte: Adaptado de EPA (2006).

Especificamente, na formação da chuva ácida, o SO_2 e NO_2 sofrem oxidação na troposfera, formando (entre outros componentes) ácido sulfúrico e nítrico. Como salientado por Finlayson-Pitts e Pitts (2000), essa oxidação e processos de deposição podem ocorrer relativamente à pequenas distâncias como 1000 km ou mais. Nesse caso, ambos os transportes a longas e pequenas distâncias devem ser considerados.

Segundo Finlayson-Pitts e Pitts (2000), a oxidação em fase gasosa do SO_2 e NO_2 é iniciada pela reação com radicais hidroxilas, de acordo com as reações descritas abaixo:



SO_2 presente na fase gasosa se dissolve em gotas de água e pode ser oxidado na gota por espécies como H_2O_2 , O_3 , O_2 e radicais livres. Existe também a possibilidade de ocorrer a oxidação do SO_2 na superfície de sólidos, presentes no ar ou suspensos nas gotas de água. Acredita-se, que o HNO_3 é formado primeiramente na fase gasosa e subsequentemente é dissolvido nas gotas.

Baseado somente na química da fase gasosa, espera-se que as taxas de sulfato e nitrato possam aumentar com a distância de uma região rica em fontes. Ácido sulfúrico formado na fase gasosa se associará imediatamente com moléculas de água para formar ácido sulfúrico sob forma de aerossol. O ácido nítrico permanecerá como vapor até que seja absorvido pelas nuvens ou gotas de chuva, ou reaja com amônia (Seinfeld e Pandis, 1998).

2.3 OUTRAS ESPÉCIES ENVOLVIDAS NA FORMAÇÃO DA DEPOSIÇÃO ÁCIDA

A composição química da deposição úmida tem sido motivo para desenvolvimento de muitos estudos ao longo dessas últimas quatro décadas. A química das águas de chuva envolve componentes inorgânicos e orgânicos. O foco dos estudos têm sido mais em função da avaliação de espécies e da contribuição dos ácidos inorgânicos para a acidez da precipitação.

Como já foi reportado em parágrafos anteriores, os ácidos sulfúrico e nítrico possuem, comprovadamente, um importante papel na formação da chuva ácida. Observa-se, entretanto, que muitos estudos têm sido desenvolvidos (Gutz, 2003; Kieber *et al.*, 2002; Kawamura *et al.*, 2001; Souza e Carvalho, 2001; Williams *et al.*, 1997), sinalizando a participação de componentes orgânicos (principalmente ácidos fórmico e acético) na acidez de águas de chuva.

Os ácidos carboxílicos com pKa na faixa de 3,4 a 5,0 interagem facilmente com a fase aquosa sendo removidos da atmosfera por processos de deposição úmida devido ao alto grau de dissociação e elevada solubilidade (Kanh *et al.*, 1995 apud Souza e Carvalho, 2001, p. 65). Nesse sentido, os ácidos acético e fórmico estariam incluídos nessa abordagem, sendo removidos da atmosfera e encontrados em amostras de águas de chuva de áreas urbanas e remotas (Moeales *et al.*, 1998 apud Fornaro e Gutz, 2003, p.121; Williams *et al.*, 1997; Galloway *et al.*, 1996; Sakugawa *et al.*, 1993; Lacaux *et al.*, 1992; Poste *et al.*, 1991; Andreae *et al.*, 1990; Galloway e Keene, 1989).

Alguns estudos realizados no Brasil, Estados Unidos e Nova Zelândia (Fornaro e Gutz, 2003; Kieber *et al.*, 2002; Kawamura *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 1997) identificaram a presença dos ácidos fórmico e acético em áreas remotas e urbanas.

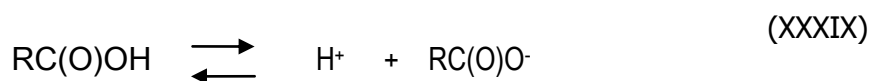
Graedel e Crutzen (1993) salientam que formaldeído (HCHO) é uma espécie atmosférica altamente solúvel em água e pode ser originado de muitas fontes

antropogênicas e naturais. Logo, é muito comum encontrar essa espécie sob forma hidratada ($\text{CH}_2(\text{OH})_2$) em gotas de chuva. RCOOH , constituído em grande quantidade por ácidos fórmico e acético, é outro parâmetro que tem sido muito analisado em águas de chuva. As concentrações de ácidos orgânicos na fase gasosa podem ser encontradas em partes por bilhão. Então, algumas espécies gasosas dissolvidas podem proporcionar fontes de ácidos para a fase líquida. A associação pode ser feita pela oxidação de aldeídos dissolvidos na fase líquida. Ressalta-se que em áreas remotas, como florestas tropicais, ácidos orgânicos freqüentemente estão presentes em precipitação com valor de $\text{pH} < 5,0$.

Segundo Graedel e Crutzen (1993), aldeídos são componentes importantes presentes nas gotas de chuva na atmosfera. Eles são gerados na fase gasosa e são altamente solúveis em água. Estando presentes na atmosfera são oxidados a ácidos carboxílicos pela reação catalítica do ciclo com ferro envolvendo radicais hidroxila. A reação proposta é apresentada a seguir:



Em seguida, ocorre a ionização em solução aquosa:



Os ácidos orgânicos são apenas parcialmente ionizados, sendo definidos (nesse caso) como ácidos fracos.

A figura 04, apresentada a seguir, ilustra o que foi explicado anteriormente através das reações para formação de ácidos orgânicos (via ciclo catalítico do ferro) a partir de aldeídos e radical hidroxila:

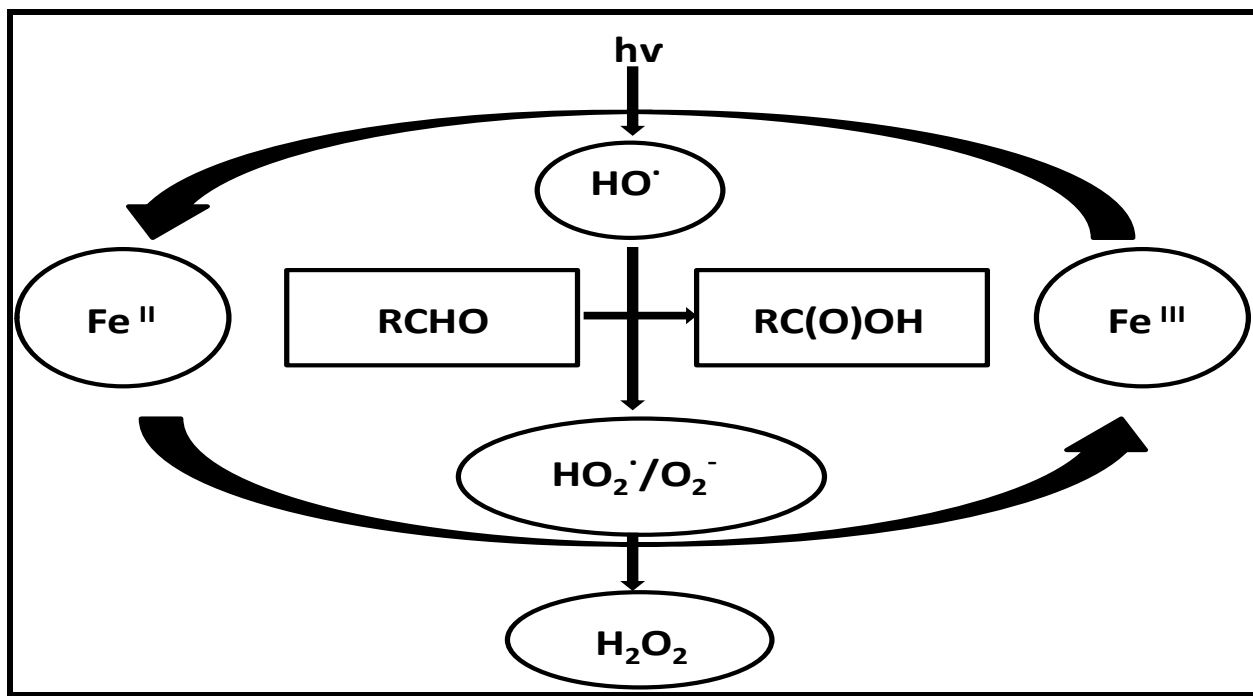


Figura 04: Ciclo catalítico do ferro para produção de ácidos orgânicos, a partir de aldeídos, em gotas de chuva na atmosfera.

Fonte: Adaptado de Graedel e Crutzen (1993).

Ainda segundo Graedel e Crutzen (1993), os ácidos orgânicos podem ser os principais componentes presentes nas gotas de água na atmosfera se os precursores dos ácidos inorgânicos estão presentes em concentrações bem baixas e se grandes quantidades de precursores dos ácidos orgânicos estão disponíveis. Estas condições existem em ambientes de florestas tropicais como consequência da oxidação de ácidos orgânicos originados do isopreno emitido nessas áreas em grande abundância.

2.4 FORMAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA DEPOSIÇÃO ÚMIDA

A deposição (ou precipitação) úmida com características ácidas foi identificada há séculos passados. O fenômeno conhecido como chuva ácida foi reconhecido por Robert Boyle em 1692, quando da publicação do seu livro intitulado *A General History of the Air*. Segundo Seinfeld e Pandis (1998), Boyle reconhece a presença de compostos de enxofre e ácidos no ar e na chuva. Ele se referiu a esses compostos como “espíritos nitrosos ou salino-sulfurosos”. Mais tarde em 1853, Robert Angus Smith reconheceu a presença de altos níveis de acidez nas chuvas avaliadas em zonas industriais na Inglaterra. Ele fez uma comparação com os resultados encontrados em áreas poluídas com outros valores que ele mediu em locais com menor grau de poluição e próximos da costa. De acordo com Seinfeld e Pandis (1998), Smith publicou um relatório denominado de “*Air and Rain: The Beginnings of Chemical Climatology*”, onde introduziu o termo chuva ácida.

Vários autores (Finlayson-Pitts e Pitts, 2000; Jacob, 1999; Seinfeld e Pandis 1998) sinalizam que pouca atenção foi dada pela comunidade científica à questão das chuvas ácidas até o século passado. Segundo Jacob (1999), a ocorrência de um alarmante declínio na população de peixes nos lagos da região sudeste da Noruega em 1950 foi relacionado à ocorrência de chuvas ácidas. Ainda segundo o mesmo autor, situação semelhante ocorreu nos anos 60 na região das montanhas Adirondacks no Canadá. Nessa época, a principal contribuição para o atual entendimento sobre a chuva ácida e seus efeitos foi deixada por Evile Gorham. Baseado na sua pesquisa na Inglaterra e Canadá, Gorham mostrou (antes de 1955) que a maior parte da acidez encontrada na precipitação próxima de regiões industriais pode ser atribuída às emissões oriundas de processos de combustão; e que a progressiva acidificação de águas superficiais pode estar relacionada à precipitação, e a acidez livre dos solos oriunda da precipitação ácida resultante principalmente do ácido sulfúrico.

2.4.1 FORMAÇÃO DA DEPOSIÇÃO ÁCIDA

Apesar do termo chuva ácida ser utilizado na literatura para descrever a formação e deposição de ácidos na superfície da terra, a terminologia deposição ácida é mais comumente encontrada na literatura científica. A razão para isso é que a deposição de ácidos pode ocorrer tanto como deposição seca ou como deposição úmida. A primeira forma se refere ao transporte de gases ácidos ou pequenas partículas direto para a superfície, seguido de adsorção, sem serem primeiro dissolvidos em fases aquosa como chuva, nuvem ou névoa. A deposição úmida, por outro lado, se refere ao transporte de ácidos e deposição para superfícies (incluindo solo, árvores, gramíneas, prédios, etc.) depois dos ácidos terem sido dissolvidos em um meio aquoso. Deve ser ressaltado que a própria superfície pode ser úmida ou seca; os termos deposição úmida e seca se referem ao mecanismo de transporte para a superfície, e não à natureza da própria superfície (Finlayson-Pitts e Pitts, 2000).

Seinfeld e Pandis (1998) explica que a deposição úmida se refere aos processos naturais, onde o constituinte é retirado através das nuvens, neblina, chuva e neve e é enviado para a superfície da terra. Diferentes termos são utilizados como se fossem sinônimos da deposição úmida, entre eles *washout* e *rainout*. O processo *washout* usualmente se refere à remoção de constituintes da atmosfera dentro da nuvem. E *rainout* quando a remoção de constituintes presentes na atmosfera ocorre abaixo das nuvens através de interações na chuva, neve (etc).

A figura 05 ilustra alguns processos (numerados de 1 a 11) que podem ocorrer na deposição úmida, sinalizando as possibilidades de interações de constituintes presentes em fases físicas diferenciadas; os meios de transporte e as transformações físico-químicas existentes.

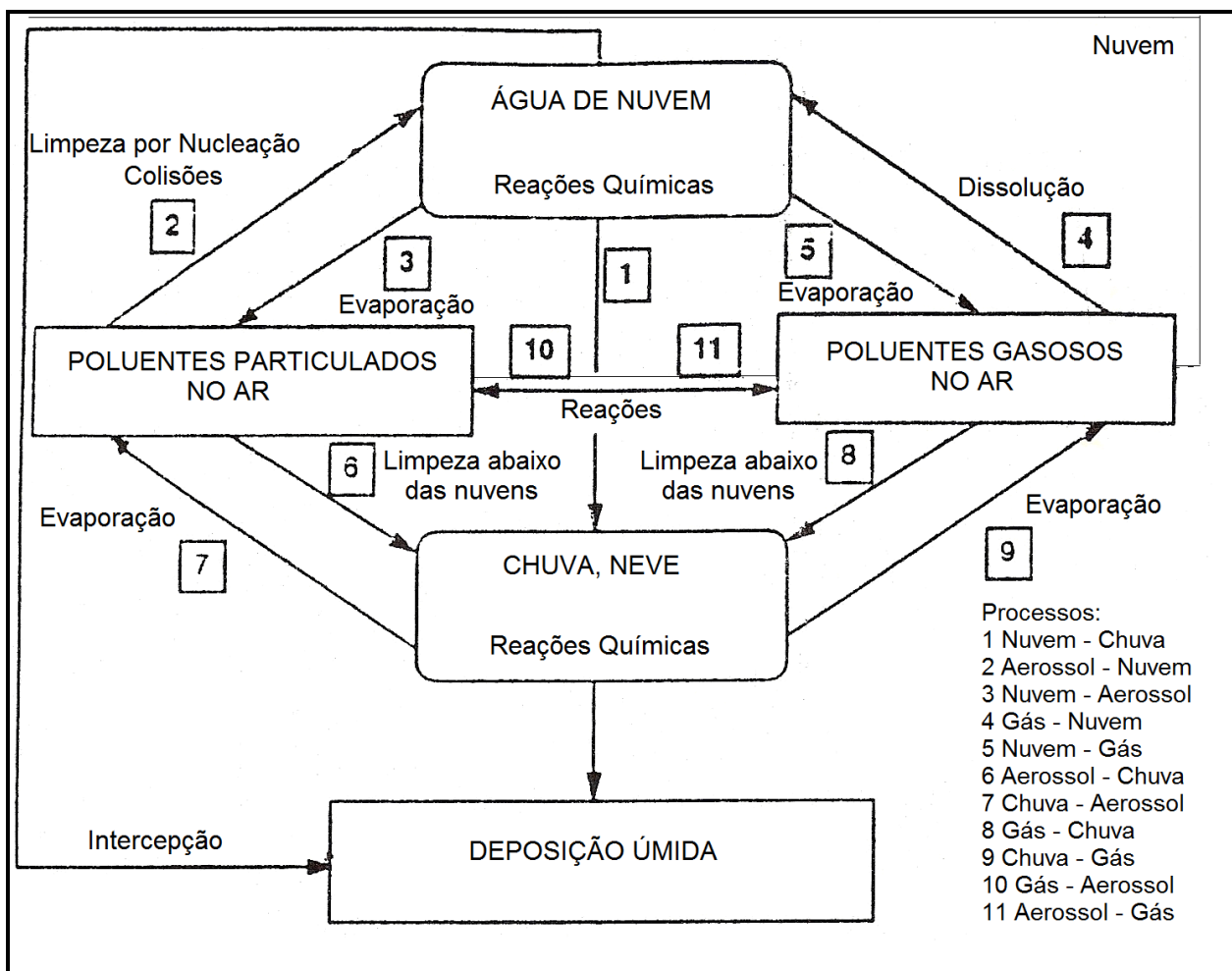


Figura 05: Estrutura conceitual dos processos de deposição úmida

Fonte: Adaptado de Seinfeld (1988)

Segundo Seinfeld e Pandis (1998), o primeiro desafio para entender o esquema da figura 05 seria considerar a existência de múltiplas fases na deposição úmida. Nesse caso, não existem apenas as três fases usuais (gasosa, aerossol e aquosa), e a fase aquosa pode estar presente em várias formas (água da nuvem, chuva, neve, cristais de gelo, granizo, etc.) onde todas possuem uma resolução de tamanho. Além disso, diferentes processos ocorrem dentro das nuvens e outros são desenvolvidos abaixo delas. Para simplificar o entendimento teórico foram dispostos em quatro meios ou fases presentes no esquema da figura 05: ar, água das nuvens, partículas aerossóis e gotas de chuva. Uma determinada espécie poderá existir nesses quatro meios. Por

exemplo, o nitrato pode existir no ar como vapor de ácido nítrico; dissolvido nas gotas de chuva e nas nuvens como nitratos; e em vários sais na fase aerossol.

Os onze caminhos de transformação propostos no esquema explicitam a complexidade envolvida nos processos de deposição úmida. Nestes, existem as transformações que ocorrem dentro das nuvens (formação de chuva, interações entre aerossóis-nuvem, interação gases-nuvem e interação aerossóis-gases); e outras que ocorrem abaixo das nuvens a partir de interações de determinadas espécies com as gotas de chuva (entre aerossóis e chuva e gases e chuva). Essas interações ocorrem durante os episódios de chuva, onde espécies solúveis (gases e/ou aerossóis) se dissolvem nas gotas de chuva e são removidas da atmosfera.

Na realidade, a complexidade envolvida nos processos de remoção úmida requer a aplicação de várias considerações (como condições de contorno) para o cálculo das concentrações das espécies nos meios ou fases propostos no esquema da figura 05.

Hales (1978, *apud* Whelpdale, 1982, p. 377) afirma que a maioria dos processos de remoção dentro das nuvens ocorre sob condições de equilíbrio. Ele se refere às condições em que as concentrações da fase gasosa variam lentamente em comparação à escala de tempo do processo de remoção; e os tamanhos das gotas são pequenos. E, assim, as concentrações da fase líquida podem ser assumidas a partir da relação de solubilidade descrita pela lei de Henry:

$$C_g = H \times C_l \quad (1)$$

Onde C_g é a concentração da fase gasosa (mol L^{-1} de ar); C_l é a concentração da fase líquida (mol L^{-1} de líquido) e H é a constante da lei de Henry.

Os gases podem interagir com as gotas de chuva, ocorrendo a remoção dos mesmos de uma determinada camada na atmosfera; podendo, até mesmo, serem incorporadas altas concentrações gasosas de plumas oriundas de fontes antropogênicas

(dependendo da altura da chaminé, carga, fatores meteorológicos, etc.). Segundo Whelpdale (1982), esses constituintes são incorporados às gotas de chuva e, então, enviados para camadas de ar mais limpas. Nesse sentido, os processos que ocorrem abaixo das nuvens podem ser úteis para redistribuir verticalmente constituintes traços na atmosfera. A colisão gravitacional é considerada o mecanismo predominante nos processos que ocorrem abaixo das nuvens, onde as gotas que caem arrastam um volume de ar e podem colidir e coletar partículas que estejam no caminho.

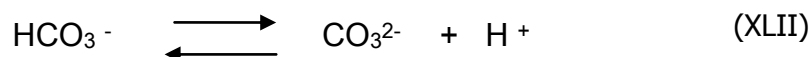
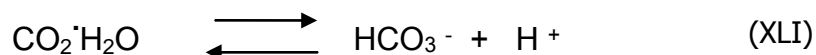
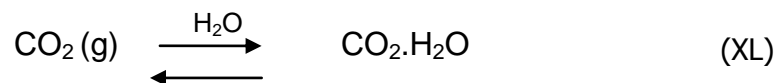
Historicamente, acredita-se que a principal contribuição para a deposição ácida na troposfera tem sido os ácidos sulfúrico e nítrico formados pela oxidação do SO_2 e óxidos de nitrogênio no ar. Entretanto, existe um reconhecimento crescente de que ácidos orgânicos podem contribuir significativamente para a carga total ácida; e realmente podem representar as principais espécies ácidas, mesmo em ambientes urbanos poluídos (Finlayson-Pitts e Pitts, 2000).

A contribuição dos ácidos sulfúrico e nítrico para a carga total de ácidos na deposição é, principalmente, função das fontes de emissão de dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Esses óxidos e suas transformações físicas e químicas (nas fases gasosas e aquosas) irão definir o papel dessas espécies para a formação da chuva ácida em áreas consideradas poluídas e remotas.

A composição química da precipitação úmida é influenciada, principalmente, pelo tipo de componentes presentes no ar, pelas transformações físicas e químicas ocorridas entre eles, por fatores meteorológicos e pela localização geográfica de uma determinada região. De qualquer forma, sempre será encontrado um determinado grau de impureza nas águas de chuva; mesmo que não sejam identificadas atividades antropogênicas que possam impactar as características da deposição úmida.

Considerando-se a precipitação natural como sendo aquela livre de influências humanas, Jacob (1999) explica através de reações nas fases gasosa e líquida a

presença de CO_2 na atmosfera como contribuição natural na formação da chuva através das equações descritas abaixo:



Onde as constantes de equilíbrio em soluções diluídas a 298 K são:

$$K_h = [\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}] / P_{\text{CO}_2} = 3 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1} \quad (2)$$

$$K_1 = [\text{HCO}_3^-][\text{H}^+] / [\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}] = 4,3 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1} \quad (\text{p}K_1 = 6,4) \quad (3)$$

$$K_2 = [\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+] / [\text{HCO}_3^-] = 4,7 \times 10^{-11} \text{ mol L}^{-1} \quad (\text{p}K_2 = 10,3) \quad (4)$$

Ainda segundo Jacob (1999), considerando-se uma concentração de CO_2 correspondente a 280 ppmv, calcula-se o pH da água da chuva através do cálculo da concentração dos íons H^+ . Nesse caso, o pH seria igual a 5,7. Outros ácidos estão naturalmente presentes na atmosfera como ácidos orgânicos emitidos pela biosfera; ácido nítrico produzido pela oxidação de NO_x oriundo de relâmpagos, solos e queimadas; e ácido sulfúrico produzido pela oxidação atmosférica de compostos gasosos reduzidos de enxofre emitidos por vulcões e pela biosfera. As contribuições naturais da acidez das chuvas são parcialmente balanceadas pela presença natural de componentes com características básicas como NH_3 , que é emitida pela biosfera e CaCO_3 de material particulado suspenso do solo.

Jacob (1999) ressalta que quando todas as influências forem levadas em consideração, o pH natural da chuva estaria na faixa entre 5 a 7. E que o termo chuva ácida é aplicado para precipitações com valor de $\text{pH} < 5$. Esses valores de pH são geralmente encontrados quando existe a presença de grandes quantidades de poluentes oriundos de fontes antropogênicas.

Peart (2000) ratifica a explicação descrita anteriormente. E explica que o pH da chuva é moderadamente ácido com valor igual a 5,6 por causa da solução de dióxido de carbono atmosférico. E que precipitações com pH mais baixo do que esse valor podem ser consideradas como ácidas. Entretanto, em função da presença de outros gases gerados naturalmente, como óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre, o valor de referência de pH para a precipitação em áreas não poluídas deve ser próximo de 5,0. E a partir dos estudos de Howells (1990 *apud* Peart, 2000, p.25), essa observação está sustentada em medidas de pH realizadas em áreas remotas. Pode-se sugerir que o nível de referência médio padrão natural para pH seja igual a 5,0; e os valores de pH mais baixos do que esse signifique chuva ácida em consequência de atividades antropogênicas (Peart, 2000).

Vários constituintes inorgânicos têm sido avaliados nas águas de chuva como forma de melhor entender as transformações envolvidas nos processos de formação e de caracterização da precipitação úmida. Em geral, os principais íons comumente analisados são: sulfatos (SO_4^{2-}); nitratos (NO_3^-); cloretos (Cl^-); metais alcalinos e alcalinos terrosos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e amônio (NH_4^+). Avalia-se também o pH (onde a concentração hidrogeniônica, $[\text{H}^+]$ é calculada) e a condutividade das águas. Outras espécies, também, investigadas são bicarbonatos (HCO_3^-); fluoretos (F^-); brometos (Br^-); iodetos (I^-); bissulfitos (HSO_3^-) e sulfitos (SO_3^{2-}). Alguns estudos têm, também, avaliado a presença de ácidos orgânicos na precipitação úmida para melhor entender as contribuições desses compostos na formação das características das chuvas.

A partir dos resultados das concentrações de ânions e cátions pode-se fazer o balanço iônico das espécies analisadas. Considerando-se os íons analisados como as únicas espécies presentes em uma determinada amostra de água de chuva, pôde-se calcular a condutividade teórica (a partir do somatório das cargas) e comparar esse valor com aquele obtido para a condutividade medida em cada amostra. Alguns estudos, inclusive, apresentam como critério de qualidade de aceitação de amostras (para posterior tratamento estatístico) um limite de valor em percentual (ou faixa de valores) para a diferença encontrada entre a condutividade teórica e aquela medida em campo. Nesse caso, a partir desse critério, os resultados de amostras poderão ou não ser utilizados para composição da análise de dados.

Os principais cátions (NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+) sinalizam a presença de amônia (NH_3) na atmosfera e de material particulado oriundo dos solos contendo carbonatos (CaCO_3 e Na_2CO_3). Segundo Jacob (1999), a amônia dissolvida nas águas de chuva reage com o íon H^+ de acordo com a reação descrita abaixo:

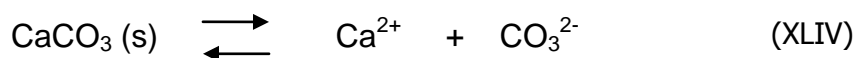


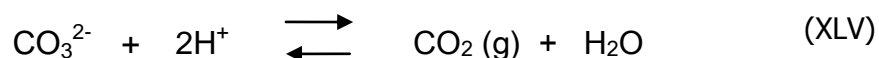
A constante de equilíbrio para a reação acima equivale a:

$$K = [\text{NH}_4^+] / [\text{NH}_3 (\text{aq})] [\text{H}^+] = 1,6 \times 10^9 \text{ mol L}^{-1} \quad (5)$$

Logo, $K = 1,6 \times 10^9 \text{ mol L}^{-1}$, quando: $[\text{NH}_4^+] / [\text{NH}_3 (\text{aq})] = 1,0$ e para pH 9,2.

A cada valor de pH encontrado na chuva, considera-se que a NH_3 atua como uma base forte retirando os íons H^+ quantitativamente e NH_4^+ aparece como um cátion repondo o H^+ . A neutralização do H^+ pelo material particulado dissolvido pelo solo ocorre de forma similar:





As contribuições de Warneck (1988) para o entendimento da composição química da deposição úmida acrescentam vários aspectos importantes. Em localizações marítimas o sal marinho é uma importante fonte de núcleos de condensação das nuvens e participa do processo de remoção de componentes que ocorre abaixo das nuvens. Nesse caso, o cloreto de sódio contribui com a maior fração de íons na água de chuva. Outros íons, também, contribuem para a formar as características dessas águas de chuva, como K^+ e Ca^+ oriundos de mistura de aerossóis de fontes continentais; e sulfatos oriundos da oxidação de precursores gasosos como dimetil sulfeto e SO_2 . O excesso de sulfatos está associado, quase que exclusivamente, às partículas de tamanho submicrômetro. A presença de sais marinhos na precipitação continental diminui com a distância da costa; cerca de 80% ao longo dos dez primeiros quilômetros, e depois mais lentamente como pode ser observado pelas concentrações de cloreto na água de chuva.

Ainda segundo Warneck (1988), a maior fração de K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} nas águas de chuva coletadas em regiões continentais está relacionada à presença de componentes minerais oriundos do material particulado dos solos. A contribuição dos sais marinhos em relação a esses íons é pequena, com exceção do sódio que poder ter uma fração significativa. Nitrato e amônio entram na composição da água que forma a nuvem como constituintes do aerossol atmosférico; como também pela remoção via fase gasosa-líquida de ácido nítrico e amônia. A proporção relativa com que gases e partículas contribuem ainda é desconhecida. Sulfato e amônio de origem continental estão associados à neutralização parcial de ácido sulfúrico pela amônia. A neutralização completa produziria $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ com fração molar de $\text{SO}_4^{2-} / \text{NH}_4^+$ de 1/2; enquanto a formação de bissulfato de amônio (NH_4HSO_4) corresponderia a uma taxa igual a 1. A fração molar de $\text{SO}_4^{2-} / \text{NH}_4^+$ em episódios individuais de chuva é muito variável. Até mesmo as médias mensais se dispersam bastante.

Áreas industriais e urbanas (como de grandes metrópoles) são fontes contínuas de emissão de poluentes, principalmente, gasosos para a atmosfera. Esses poluentes, além de sofrerem deposição, são transportados e se transformam continuamente (influenciados por fatores físicos, químicos, meteorológicos e topográficos) dando origem a outros compostos caracterizados como poluentes secundários.

Considerando que a deposição de poluentes da atmosfera funciona como um mecanismo de retirada desses componentes, observa-se serem relevantes os estudos que esclareçam a composição das deposições seca e úmida de uma localidade. Dependendo da carga de poluentes e diversos outros fatores, a deposição pode possuir características ácidas. Em geral, as principais contribuições para o perfil das características ácidas da deposição úmida são os óxidos de enxofre (SO_2) e nitrogênio (NO_x). A deposição úmida considerada ácida é mais simplesmente conhecida como chuva ácida.

É sabido que as grandes contribuições de óxidos de enxofre e nitrogênio são oriundas de atividades antropogênicas, considerando como maior percentual as emissões industriais se comparado com as emissões veiculares. No entanto, existe, também, a incidência de chuva com características ácidas encontradas em áreas remotas do planeta, onde as principais contribuições foram identificadas como sendo ácidos orgânicos. Keene *et al.* (1983, *apud* Seinfeld e Pandis, 1998, p.1031) mostra que ácidos orgânicos (fórmico e acético, principalmente) podem ter um papel significativo nos valores baixos de pH encontrados em algumas áreas remotas. Estudos realizados por Charlson e Rodhe (1982, *apud* Seinfeld e Pandis, 1998, p.1031) têm sinalizado que, na ausência de compostos como NH_3 e CaCO_3 , os valores de pH das águas de chuva devem ser próximos de 5,0. Esses autores sugerem que em alguns casos extremos, os valores de pH correspondentes a 4,0 (ou mais baixos do que isso) podem ser produzidos sem nenhuma contribuição de fontes antropogênicas. Já Galloway *et al.* (1982, *apud* Seinfeld e Pandis, 1998, p.1031) publicou dados de precipitação química, encontrados em áreas remotas do globo, com valores de pH em torno de 5,0.

A figura 06, apresentada a seguir, ilustra a importância do conhecimento de valores de pH das águas de chuva, onde a Organização Mundial de Meteorologia propõe em escala global: a) distribuição estimada de perfil de pH; b) indicação de valores de pH medidos em áreas remotas e c) identificação de áreas nas quais os efeitos das chuvas ácidas têm sido reportados.

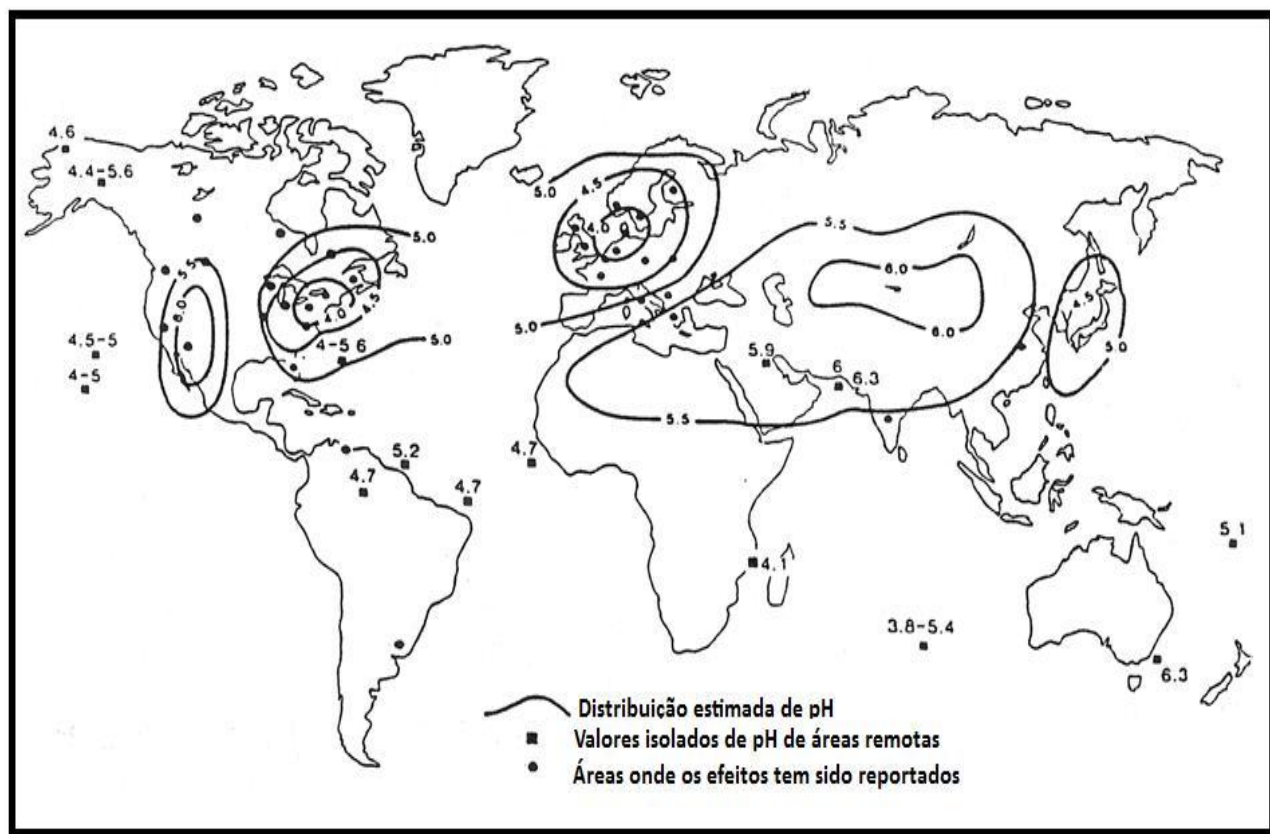


Figura 06: Mapa Global da acidez da precipitação determinado pelo Programa de Monitoramento da Poluição Atmosférica Background da WMO.

Fonte: Adaptado de Seinfeld e Pandis (1998).

A acidez associada à precipitação úmida deve ser avaliada com um nível de detalhamento que seja possível relacionar os impactos aos ecossistemas de forma local e global. Acredita-se que a pesquisa sem fronteiras político-econômicas para a busca

de retorno social, mais direto e real para as comunidades impactadas, seja um dos maiores desafios desse século.

Observa-se que a caracterização da deposição ácida em termos de pH não deixa claro qualquer ação de redução de poluentes nas fontes geradoras. As estratégias para redução, a curto e longo prazo, das emissões dos principais precursores (SO_2 e NO_x) não estão claramente identificadas. Sinaliza-se, também, que espécies consideradas de caráter básico presentes na atmosfera como, principalmente, NH_3 e Ca^{2+} apresentam um papel importante no processo de neutralização da acidez atmosférica.

Alguns aspectos descritos nos parágrafos anteriores, como também outras questões relevantes, serão analisados de forma específica nos próximos tópicos com a reflexão sobre as contribuições dos estudos que descrevem características das chuvas no Brasil e em outras partes do mundo.

2.4.2 CARACTERÍSTICAS DA DEPOSIÇÃO ÚMIDA NO BRASIL

No Brasil, o monitoramento e a avaliação da composição química da deposição úmida teve início no século passado (aproximadamente na década de 80) através de iniciativas isoladas de determinados pesquisadores e instituições de pesquisa e ensino. Esses estudos foram iniciados em regiões específicas do país, por períodos de tempo limitados, com o objetivo de avaliar as características da deposição úmida. Os pontos de amostragem foram selecionados em algumas cidades, inicialmente no sudeste, a partir de conhecimento de dados de poluição e das condições meteorológicas.

A chuva ácida não é um fenômeno recente. O termo foi cunhado pelo químico, Robert Angus Smith, quando descrevia a poluição em Manchester, Inglaterra, há mais de um século (PNUMA, 1995 *apud* Figuerêdo, 1996, p.31). Entretanto, mundialmente, a percepção da acidez da chuva só ocorreu quando diversos ecossistemas (lagos e florestas, principalmente) já estavam seriamente comprometidos. Esta percepção tardia ocorreu em função de que os ambientes naturais possuem um longo tempo de resposta às agressões como a acidificação. A água e o solo possuem a capacidade de tamponar adições de ácidos e de bases, e só depois de esgotada essa capacidade é que o pH destes ambientes sofre mudanças bruscas e acentuadas (Figuerêdo, 1994 *apud* Figuerêdo, 1996, p.31).

Sabe-se que muitos episódios de ocorrência de chuvas ácidas têm origem a partir do transporte de massas de ar oriundas de outras localidades, onde os efeitos podem aparecer fora das fronteiras onde as emissões gasosas foram geradas.

No estado de São Paulo poluentes considerados chave para avaliação da qualidade do ar (partículas totais e inaláveis, fumaça, SO₂, NO, NO₂, CO e O₃) são monitorados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (CETESB, 2003). No entanto, não existe um padrão estabelecido pelos órgãos ambientais federais e estaduais para todas as principais regiões do Brasil, objetivando a avaliação das

características da deposição úmida e seca. Esse conhecimento é extremamente relevante, pois os processos de remoção úmida de determinados poluentes resultam em impactos ao meio ambiente (recursos hídricos superficiais e subterrâneos; vegetação; solo, etc.), aos materiais (monumentos, construções, etc.) e ao homem.

Segundo (Moreira-Nordeman *et al.*, 1983 *apud* Figuerêdo, 1996, p.31), a primeira iniciativa para caracterizar a ocorrência de chuva ácida no Brasil foi tomada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, na década de 1980, na região de Cubatão (SP). Isso significou um grande passo; pois outras pesquisas foram desenvolvidas a partir desses estudos, ressaltando a necessidade de melhor caracterização da precipitação úmida no Brasil.

Na cidade de São Paulo, os primeiros estudos sobre a caracterização química de águas de chuva foram realizados entre novembro/1983 e fevereiro/1985 e empregaram a coleta manual (recipiente de coleta exposto no início do evento) em um único ponto de amostragem (zona oeste da cidade de São Paulo), com determinações de acidez livre e acidez total. Neste período, o valor médio registrado de pH das águas de chuvas foi igual a 4,5, o que caracterizou o fenômeno da chuva ácida (Alonso, 1987 *apud* Leal, 2004, p.855). Outras pesquisas foram desenvolvidas em São Paulo, Cubatão e outras cidades no Brasil, ao longo das décadas de 80 e 90.

Atualmente, encontra-se um maior número de estudos sendo conduzidos em várias regiões do Brasil, inclusive na Amazônia. Segundo Andreae (1988 *apud* Figuerêdo, 1996, p.32), a acidez na precipitação detectada na região amazônica tem sido atribuída principalmente aos ácidos orgânicos resultantes da queima de biomassa e (secundariamente) aos ácidos sulfúrico e nítrico. Esse estudo foi realizado na estação seca, no período de julho a agosto de 1985, onde ocorriam as queimadas na região amazônica. Hoje, já existem resultados (através de um maior número de publicações) de outros estudos realizados nessa região (inclusive pelo mesmo autor Andreae), como também, em diferentes partes do Brasil.

Acredita-se que as características da precipitação ácida na maior parte das áreas estudadas no Brasil sejam atribuídas à presença de ácidos sulfúrico e nítrico. E a formação desses componentes na atmosfera está associada, em grande parte, às emissões oriundas de atividades industriais e de emissões veiculares.

A avaliação das tendências do que vem sendo realizado em outros países precisa ser levada em consideração de forma efetiva por parte do governo brasileiro. O estabelecimento e implementação de diretrizes para redução das emissões de poluentes, em paralelo ao monitoramento e avaliação contínua de impactos associados, promoveria um grande avanço para o conhecimento e controle da poluição atmosférica e qualidade da precipitação úmida.

No Brasil, a grande parte das pesquisas realizadas sobre precipitação úmida está focada na avaliação das características físico-químicas das águas de chuva. Isto inclui medidas de pH, condutividade, a análise dos principais constituintes inorgânicos (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , entre outros). E em alguns casos, avaliação de ácidos orgânicos (por exemplo, fórmico e acético).

Historicamente, a avaliação da precipitação no país teve início a partir de iniciativas isoladas de alguns pesquisadores. Os estudos mais recentemente publicados continuam sinalizando a mesma situação.

A grande maioria dessas pesquisas foi realizada nas regiões sudeste e sul do país, não existindo, assim, um histórico mais detalhado sobre o perfil característico das águas de chuva nas variadas partes do Brasil.

Os estudos desenvolvidos sobre a precipitação úmida em várias partes do país, localizadas nas regiões sudeste e sul, tiveram como principal objetivo a avaliação da composição química das águas de chuva e as causas associadas às principais fontes de impacto na região estudada (Albuquerque *et al.*, 2006; Fornaro e Gutz, 2006; Iwashita *et al.*, 2006; Lisboa *et al.*, 2006; Martins *et al.*, 2006; Pelicho *et al.*, 2006;

Tresmondi *et al.*, 2005; Mello e Almeida, 2004; Migliavacca *et al.*, 2004; Leal *et al.*, 2004; Fornaro e Gutz, 2003; Rocha *et al.*, 2003; Flues *et al.*, 2002; Lara *et al.*, 2001; Mello, 2001; Willians *et al.*, 1997; Campos, 1995; Figuerêdo, 1994; Fornaro, 1991; Forti e Moreira-Nordemann, 1990; Abbas, 1989).

Na região nordeste do Brasil não foram desenvolvidas pesquisas sobre esse tema nas quatro últimas décadas. Um estudo realizado por Campos (1995) apresentou resultados sobre a composição química da precipitação úmida avaliada na região do Recôncavo Baiano. Um dos aspectos importantes desse trabalho foi a identificação de ocorrência de chuvas ácidas em parte dos locais monitorados. A tabela 03, descrita abaixo, apresenta os valores de pH obtidos pela média ponderada nas quatro estações no período de 1986 a 1987:

Tabela 03: Valores de pH (média ponderada por volume) para água de chuva no Recôncavo Baiano (1986-1987).

Estação	pH (média ponderada por volume)
Ondina - Salvador (Bahia)	5,3
Pedra do Cavalo - Cachoeira (Bahia)	5,1
CEPLAC - São Sebastião do Passé (Bahia)	4,8
CIBEB - Camaçari (Bahia)	4,9

Fonte: adaptada de Campos (1995).

Os episódios foram identificados em 2 estações que se encontravam sob forte influência de massas de ar com contribuições de origem antropogênica, principalmente, do Pólo Industrial de Camaçari.

Estudos realizados por Mello (2001) e Albuquerque *et al.* (2006) na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) sinalizaram, entre outros aspectos relevantes, a ocorrência de episódios de chuvas ácidas nas áreas estudadas.

Observa-se que, anteriormente aos estudos realizados por Mello e Albuquerque, foi feita uma avaliação sobre a precipitação úmida no Rio de Janeiro. Foram avaliados, entre outros parâmetros como pH, as principais espécies inorgânicas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- e SO_4^{2-}). Segundo Silva Filho (1985, *apud* Mello, 2001, p.236), o valor médio de pH correspondeu a 4,7 com valores variando entre 4,2 e 6,1. No entanto, a causa da acidez livre não foi investigada. Os resultados desse trabalho serviram de elementos para auxiliar nas pesquisas seguintes.

Os resultados encontrados pela pesquisa realizada por Mello (2001) na RMRJ revelaram que a precipitação úmida da região é afetada, principalmente, por emissões de poluentes gasosos. A tabela 04, a seguir, apresenta os resultados (média ponderada por volume) obtidos em $\mu\text{mol L}^{-1}$ para espécies inorgânicas analisadas e pH (para o número de amostras igual a 46, no período do estudo):

Tabela 04: Concentrações iônicas ($\mu\text{mol L}^{-1}$) e pH das espécies na precipitação úmida do Rio de Janeiro.

Parâmetro analisado	Rio de Janeiro (RMRJ) Concentração ($\mu\text{mol L}^{-1}$)
NO_3^-	15,8
NH_4^+	18,8
SO_4^{2-}	20,6
Cl^-	66,6
Ca^{2+}	15,1
Mg^{2+}	9,75
Na^+	62,6
K^+	11,1
H^+	17
pH	4,77

Fonte: adaptada de Mello (2001).

A avaliação da composição química das águas de chuva coletadas na RMRJ (na linha costeira, baía de Guanabara) sinalizaram que os sais marinhos são a fonte dominante de Na^+ , Cl^- e Mg^{2+} . E as espécies Ca^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} são derivados primariamente de fontes não marinhas. A grande parte da concentração dos íons NH_4^+ e NO_3^- são de origem antropogênica. Foi inferido nesse estudo que grande parte da contribuição de sulfatos é originado de fontes antropogênicas através das transformações de SO_2 . O valor de pH médio (média ponderada por volume, que foi calculado através da concentração média volumétrica de H^+) correspondeu a 4,77 e variou entre 3,50 e 6,85.

Albuquerque *et al.* (2006) apresentam um estudo sobre precipitação na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) no período de março/2003 a março/2004. Os resultados apontaram a ocorrência de episódios de chuva ácida. A média geométrica de pH correspondeu a 5,35, onde os valores variaram na faixa entre 4,14 e 6,75. Através da análise dos resultados obtidos foi possível atribuir que a região sofre influência de fontes naturais marinhas e antropogênicas. Ainda segundo Albuquerque *et al.* (2006), a dispersão de poluentes na RMRJ é dificultada pela localização, tipo de topografia (montanhas na costa), e climatologia da área. As fontes antropogênicas principais são indústrias, refinarias, auto-estradas, aeroportos, incineração de resíduos municipais e queima de vegetação.

Estudos realizados na região de Santa Catarina por Lisboa *et al.* (2006) e Martins *et al.* (2006) apresentaram resultados da composição da precipitação úmida com características ácidas. O monitoramento foi realizado no período de fevereiro a novembro de 2005; onde amostras foram coletadas em 4 estações localizadas em Florianópolis, Criciúma, Tubarão e São Martinho. Foram identificados eventos de chuvas ácidas nas cidades de Tubarão, Florianópolis e Criciúma. Os valores de pH variaram na faixa entre 3,33 e 7,85. O município de Tubarão foi o local onde ocorreu o valor mais baixo de pH, indicado como valor pontual de 4,01 (04/11/2005). Observa-se que os resultados e as conclusões publicados através desse estudo sinalizam apenas a ocorrência de chuvas ácidas através da avaliação de pH, não apresentando uma

avaliação integrada de todos os parâmetros analisados, das possíveis causas e fontes de emissões e das condições meteorológicas locais.

Existem contribuições interessantes de pesquisas realizadas em várias partes de São Paulo, onde a ocorrência de episódios de chuvas ácidas revelam que as principais fontes dos íons que acrescentam as características ácidas às águas de chuva (SO_4^{2-} e NO_3^-) são de origem antropogênica. Tresmondi *et al.* (2005) apresentam resultados de estudo realizado no período de março de 2000 a abril de 2002 em quatro locais da cidade de Paulínia, que estão sob influência de indústrias localizadas na região. A tabela 05, disposta a seguir, apresenta os resultados (média ponderada por volume) de concentração ($\mu\text{mol L}^{-1}$) para as espécies analisadas e valores de pH obtidos para duas estações em Paulínia e uma em Campinas.

Tabela 05: Concentrações iônicas ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de águas de chuva analisadas em Paulínia (2 estações) e Campinas.

Parâmetro analisado	Concentração ($\mu\text{mol L}^{-1}$)		
	Paulínia João Aranha	Paulínia Parque Brasil 500	Campinas Lara <i>et al.</i> (2000)
NO_3^-	22,3	62,8	17,9
NH_4^+	12,8	68,1	14,3
SO_4^{2-}	2,6	12,1	9,95
Cl^-	8,1	15,5	6,3
Ca^{2+}	2,1	3,95	1,8
Mg^{2+}	2,55	1,4	0,6
Na^+	4,6	9,3	2,7
K^+	6,6	6,0	1,6
H^+	26,3	15,4	31,1
pH	4,58	4,84	4,50

Fonte: adaptada de Tresmondi *et al.* (2005).

Segundo a avaliação apresentada por Tresmondi *et al.* (2005), as principais fontes de SO_4^{2-} são as emissões de SO_2 (e consequente transformação para sulfato) de indústrias localizadas próximas ao local associado às condições atmosféricas desfavoráveis para dispersão. Os resultados de NO_3^- são atribuídos às emissões de NO_x (e consequente transformação para nitratos) de indústria local e de emissões veiculares oriundas de Campinas e transportadas para Paulínia. Os valores de NH_4^+ são atribuídos às emissões de dejetos animais, amonificação de húmus (emitida pelo solo), perdas por fertilizantes do solo e emissões industriais.

Como a diferença no número de amostras é muito grande entre as duas estações de amostragem de Paulínia, a comparação direta entre os resultados da tabela 05 pode levar à conclusões não tão próximas da realidade local. Observa-se que os valores de pH estão próximos para as duas estações de Paulínia e para Campinas, resultando apenas na confirmação de episódios de chuvas ácidas nessas regiões de São Paulo.

Leal *et al.* (2004) apresentam um estudo, onde foi realizada uma avaliação detalhada sobre componentes inorgânicos e orgânicos analisados na precipitação úmida em São Paulo. Foram coletadas amostras com coletor para deposição apenas úmida (*wet-only*) no centro de São Paulo (Universidade Presbiteriana Mackenzie) no período de março de 2002 a fevereiro de 2003. O valor médio de pH no período foi 4,99 (com valor de média ponderada por volume = 5,19). O estudo avaliou as concentrações dos ácidos acético, fórmico e oxálico. Ocorreu predominância do ácido acético em relação ao fórmico, onde ambos tem origem principal nas emissões veiculares. A participação relativa dos ácidos inorgânicos nas amostras de água de chuva foi superior (65%) em relação àquela referente aos ácidos orgânicos (34,9%).

As espécies mais abundantes nas amostras de águas de chuva foram amônio e nitrato. Segundo Leal *et al.* (2004), a formação de amônio tem origem nas emissões biogênicas relacionadas à decomposição da matéria orgânica (lixo, esgoto), eliminação metabólica (incluindo humanos e animais em geral), agropecuária intensiva e queima de biomassa (atividades agrícolas e incêndios florestais). Forti *et al.* (1990) complementam que para

ambientes urbanos e/ou industrializados existem, também, como fontes de amônio as contribuições oriundas de dissolução de partículas de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e/ou NH_4NO_3 . Os íons nitrato em águas de chuva de centros urbanos como São Paulo, são provenientes predominantemente da oxidação de óxidos de nitrogênio (NO_x) emitidos pela queima de combustíveis fósseis usados na frota veicular (CETESB, 2004 *apud* Leal *et al.*, 2004, p.859).

Os íons sulfato, cálcio e magnésio foram considerados espécies de origem predominantemente continental/antropogênica. Quanto aos íons sulfatos, o estudo identificou uma significativa contribuição onde a fonte principal seria a oxidação de SO_2 emitido pela queima de combustíveis. Os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ em centros urbanos são, em geral, associados à ressuspensão de poeira do solo, como as atividades de construção civil (Forti *et al.*, 1990).

Algumas pesquisas também foram realizadas em áreas consideradas remotas como a região do Tibet e a Amazônia. Williams *et al.* (1997) apresentam resultados de trabalho realizado na parte central da Amazônia (lago Calado) no período de julho de 1989 a junho de 1990.

A avaliação da composição química da precipitação úmida apontou resultados significativos quanto à contribuição de ácidos orgânicos para formação das chuvas ácidas. O valor de pH (média ponderada por volume) correspondeu a 4,7 para o período estudado. Essa acidez é primariamente atribuída à presença de ácidos orgânicos.

Os ácidos acético e fórmico estavam presentes em concentrações equivalentes às aquelas encontradas para os íon inorgânicos (na faixa entre 1 a $10 \mu\text{mol L}^{-1}$). Esses resultados estão coerentes com outros dados encontrados em estudos anteriores para a mesma região. A tabela 06, disposta a seguir, apresenta os resultados das concentrações iônicas ($\mu\text{mol L}^{-1}$) calculados como média ponderada por volume.

Tabela 06: Concentrações iônicas ($\mu\text{mol L}^{-1}$) e pH na precipitação úmida da Amazônia.

Parâmetro analisado	Amazônia Central
	Concentração ($\mu\text{mol L}^{-1}$)
NO_3^-	4,2
NH_4^+	3,0
SO_4^{2-}	1,0
Cl^-	4,6
Ca^{2+}	1,2
Mg^{2+}	0,45
Na^+	2,4
K^+	0,8
H^+	17,0
PO_4^{3-}	0,01
Acetato	9,3
Formiato	2,9
pH	4,70

Fonte: adaptada de Williams *et al.* (1997).

A composição das águas de chuva na Amazônia é primariamente influenciada pela combinação de aerossóis marinhos e emissões biogênicas de ambientes terrestres.

Outros estudos foram desenvolvidos para avaliação da composição química da precipitação úmida em vários locais no estado de São Paulo. Alguns pontos relevantes foram identificados na maior parte desses estudos como similaridades na avaliação realizada em locais diferentes. Foi possível verificar a coerência de alguns resultados encontrados em estudos anteriores, e avaliar as tendências para desenvolvimento de novas investigações.

Os resultados apresentados em Fornaro e Gutz (2006), Pelicho *et al.* (2006), Mello e Almeida (2004), Migliavacca *et al.* (2004), Fornaro e Gutz (2003), Rocha *et al.* (2003),

Flues *et al.* (2002), Lara *et al.* (2001) e Forti *et al.* (1990) apontam a ocorrência de episódios de chuvas ácidas nos locais monitorados em São Paulo. Os ácidos inorgânicos (H_2SO_4 e HNO_3) são os principais componentes para a formação da chuva ácida.

Foi identificado que os ácidos orgânicos (principalmente fórmico e acético) também contribuem, em percentual menor, para a acidez das águas de chuva. As principais espécies que atuam como agentes neutralizadores da acidez das chuvas são NH_4^+ e Ca^{2+} . As emissões dos principais precursores dos ácidos sulfúrico e nítrico (SO_2 e NO_x) são oriundas de fontes antropogênicas (principalmente, emissões de indústrias e veículos).

Como os ácidos presentes na chuva ácida podem ser formados durante o transporte de massas de ar que contém os poluentes primários, acredita-se que a formação das chuvas ácidas pode ocorrer em locais distantes das fontes geradoras desses poluentes.

Observa-se a necessidade de avaliar a composição química da precipitação em todas as regiões do Brasil através de estações dispostas em locais estrategicamente distribuídos formando uma rede nacional de amostragem.

Com o objetivo de melhor conhecer as características da deposição úmida no Brasil, são apresentados na tabela 07, disposta a seguir, uma compilação de dados de estudos já mencionados e outros realizados no Brasil.

Tabela 07: Concentração em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva (deposição apenas úmida) em vários locais no Brasil

Locais no Brasil (período) ^{referência}	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺
São Paulo-Região Central (2002-2003) ^a	8,54	21,2	12,4	sd	37,6	5,33	2,64	2,51	15,0	5,19	6,51
Rio de Janeiro-Região Metropolitana (1988-1989) ^b	66,6	15,8	41,3	sd	18,8	30,2	11,1	19,5	62,6	4,77	17,0
Bahia-Salvador-Ondina (1987) ^c	168	6,71	26,6	19,0	5,86	6,01	5,13	22,0	155	5,39	5,04
Bahia-Camaçari-CIBEB (1986) ^c	84,3	3,45	61,6	59,4	45,9	4,96	3,07	13,5	78,3	4,60	18,1
Bahia-Cachoeira São Félix-PC (1986-1987) ^c	35,9	4,80	13,6	11,4	8,26	4,70	3,53	5,09	36,8	5,10	6,43
São Paulo-Região Oeste (2005-2006) ^d	3,36	13,7	6,81	sd	16,4	4,23	2,12	0,660	3,68	5,10	7,28
São Paulo-Região Central (1997-1998) ^e	29,0	22,0	17,0	sd	28,0	23,0	5,80	sd	12,0	sd	sd
São Paulo-Região Central (2000) ^f	sd	15,6	sd	8,60	27,9	5,50	3,70	1,70	3,60	sd	16,9
Amazônia-Região Central ^f	sd	1,30	sd	1,60	4,70	sd	1,80	sd	4,40	sd	8,40
Amazônia-Região Central (1989-1990) ^g	sd	4,20	sd	1,00	3,00	1,20	0,800	0,450	2,40	sd	17,0
Parque Nacional Itatiaia (1999-2000) ^h	5,20	11,8	7,75	sd	13,5	2,15	1,30	1,10	3,90	4,94	11,6
São Paulo-Paulínia-Bairro J.Aranha (2000-2001) ⁱ	8,10	22,3	2,60	sd	12,8	2,10	6,60	2,55	4,60	4,58	26,3
São Paulo-Paulínia-Parque Brasil 500 (2002) ⁱ	15,5	62,8	12,1	sd	68,1	3,95	6,00	1,40	9,30	4,84	15,4
São Paulo-Bragança (1997-1998) ^j	4,90	15,0	8,50	sd	18,6	1,15	2,50	0,600	2,30	4,40	36,3
São Paulo-Campinas (1997-1998) ^j	6,00	18,0	9,85	sd	15,4	1,85	3,40	0,650	2,70	4,50	29,7
São Paulo-Piracicaba (1997-1998) ^j	7,00	16,6	9,35	sd	17,1	2,65	2,90	1,15	2,70	4,50	33,0
São Paulo-Santa Maria (1997-1998) ^j	8,80	13,5	6,15	sd	14,5	3,85	3,50	1,15	4,50	4,40	39,7
Paraná-Londrina (1998) ^k	25,2	13,4	3,83	sd	11,5	sd	0,220	sd	0,090	5,47	3,37
Paraná-Londrina (1999) ^k	20,0	20,4	9,20	sd	25,7	sd	1,17	sd	1,34	5,23	5,81
Paraná-Londrina (2000) ^k	18,1	13,5	1,72	sd	1,92	sd	1,80	sd	8,55	5,34	4,58
Paraná-Londrina (2001) ^k	9,00	10,6	1,94	sd	7,93	sd	1,86	sd	0,0300	5,51	3,07
Paraná-Londrina (2002) ^k	17,9	31,0	27,2	sd	13,7	sd	1,74	sd	sd	5,77	1,69
Paraná-Figueira (1999-2000) ^l	16,0	13,0	34,5	sd	30,0	16,0	10,0	6,00	35,0	4,90	14,0
Rio Grande do Sul-Candiota-Aceguá (2001) ^m	10,4	8,28	4,93	sd	8,79	2,70	3,26	1,19	5,86	4,87	13,5
Rio Grande do Sul-Candiota-8 de Agosto (2001) ⁿ	20,0	15,5	16,3	sd	21,8	14,1	11,8	4,27	18,3	5,01	9,56
Rio Grande do Sul-Guaíba (2002) ⁿ	6,98	2,47	6,60	sd	28,1	4,20	2,81	1,93	11,1	5,72	sd

sd = sem dados dessa espécie na referência citada

^a Leal *et al.* (2004)

^b Mello, W.Z de (2001)

^c Campos, V.P (1995)

^d Iwashita *et al.* (2006)

^e Rocha *et al.* (2003)

^f Fornaro *et al.* (2003)

^g Williams *et al.* (1997)

^h Mello *et al.* (2004)

ⁱ Tresmondi *et al.* (2005)

^j Lara *et al.* (2001)

^k Pelicho *et al.* (2006)

^l Flues *et al.* (2002)

^m Migliavacca *et al.* (2004)

ⁿ Migliavacca *et al.* (2005)

2.4.3 DEPOSIÇÃO ÚMIDA EM OUTROS PAÍSES

As pesquisas sobre características da deposição úmida foram iniciadas em outros países muito antes do que no Brasil. A existência de redes de monitoramento contínuo (suportadas pelo governo) e o desenvolvimento de projetos por iniciativa de Universidades, localizadas em várias partes do mundo (Estados Unidos, Canadá, Europa, Ásia, entre outros), fizeram com que as pesquisas nessa área fossem elucidando cada vez mais os episódios relacionados às emissões de poluentes e à ocorrência de chuvas ácidas.

Segundo Figuerêdo (1996), nos Estados Unidos, na década de 60, o Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas operou por sete anos uma rede de amostragem mensal de precipitação, em 48 estados, constatando que na porção leste do rio Mississipi a precipitação possuía características ácidas com valores de pH inferiores a 4,0. E, por outro lado, na maioria das estações do oeste dos EUA, a precipitação ainda se encontrava ácida. Apesar da constatação do problema, a acidificação da precipitação somente passou a ser considerada um problema sério de larga escala, a partir de 1969, quando o pesquisador Svante Odén da Suécia apresentou as conclusões dos estudos do Instituto Internacional de Meteorologia (IMI) à Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD). Esta organização estabeleceu, então, em 1972, um programa cooperativo internacional para examinar o transporte de poluentes atmosféricos por longas distâncias, com ênfase especial sobre a acidificação da precipitação. Em 1972, o assunto denominado chuva ácida foi apresentado ao mundo pela Suécia na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano realizada em Estocolmo. O estudo integrado da OECD envolveu a execução de um inventário das emissões de SO_2 e do NO_x , o desenvolvimento de modelos de dispersão atmosférica e a implantação de uma rede de amostragem diária de SO_2 e de chuva, em 70 estações, durante o período de 1973 e 1975.

As medições indicaram que a precipitação ácida continuava a se espalhar na Europa e que em algumas estações a concentração média anual do íon H^+ na chuva havia aumentado cerca de dez vezes, no período de 1955-1975. Esta elevação da acidez das chuvas foi acompanhada pelo aumento das concentrações de sulfato (não-marinho) e de nitrato na precipitação (Likens *et al.*, 1979 *apud* Figuerêdo, 1996, p.31).

Sabe-se que, no século passado, na década de 70, países como Estados Unidos e Canadá estabeleceram programas, com metas específicas a serem desenvolvidas em longo prazo, para a avaliação das características da deposição atmosférica. O NADP (National Atmospheric Deposition Program) iniciou suas atividades no Estados Unidos em 1978. Para o Canadá, o CANSAP (Canadian Network for Sampling Precipitation) iniciou as suas atividades em 1976. Isso significou uma grande iniciativa em relação às questões de química atmosférica, que naquela época ainda existiam muitos pontos a serem elucidados pelos cientistas. Alguns anos depois foi realizada em Estocolmo uma conferência onde foram tratadas questões sobre a acidificação do meio ambiente.

Atualmente, na América do Norte existe um grande número de informações ambientais relacionadas ao monitoramento da poluição e, mais especificamente, à deposição atmosférica. O Canadá e Estados Unidos estão bem estruturados nesse sentido, onde o monitoramento é realizado continuamente através de redes (com estações distribuídas em várias partes dos países) e informações ambientais diversas (relatórios, mapas, entre outros dados) estão disponíveis para a sociedade via Internet .

Quanto mais conhecimento é gerado pelos governos, empresas privadas e cientistas (através das Instituições de Ensino e Centros de Pesquisas) para esclarecer o comportamento de poluentes e suas transformações, principalmente, o transporte a longas distâncias, cruzando fronteiras geográficas entre países, maior é o número de tratados firmados entre países envolvidos com as emissões. Esses tratados visam estabelecer, de forma geral, diretrizes estratégicas de maior controle e redução de emissões ao longo dos anos (em prazos previamente estabelecidos). Um bom exemplo dessa situação é o que tem ocorrido entre Canadá e Estados Unidos, no qual existe a

necessidade comprovada de redução de emissões de SO₂ e NO_x nos Estados Unidos para que seja minimizada a ocorrência de eventos de chuvas ácidas no Canadá. De acordo com EC (2004), apresentado em uma reunião realizada em 2002 com representantes de comitês dos Estados Unidos e Canadá, existe uma avaliação contendo resultados que ratifica a necessidade de redução de emissões de gases (SO₂ e NO_x) que contribuem para formação da chuva ácida nas fronteiras desses dois países.

A agência de Proteção Ambiental Canadense (EC) continua realizando o monitoramento da poluição atmosférica e da precipitação úmida e seca em vários locais de uma rede de monitoramento ambiental. Segundo EC (2004), o país ainda possui um grande problema de chuva ácida, mesmo tendo ocorrido redução nas emissões de SO₂ desde 1980. Estudos mais recentes (utilizando modelagem matemática como ferramenta auxiliar para projeção de cenários futuros) indicaram a necessidade de redução das emissões de SO₂ oriundas dos Estados Unidos para que o problema da chuva ácida no Canadá seja resolvido. Em paralelo à necessidade de redução de emissões oriundas fora do país, o Canadá estabeleceu suas próprias metas para reduzir emissões de SO₂ ao longo dos próximos anos. Os percentuais de redução são diferenciados a depender da localização (leste ou oeste). Ainda segundo EC (2004), a região correspondente a Ontário estabeleceu a meta de 50% de redução das emissões de SO₂ a ser atingida até 2015. Para a área de Quebec foi proposta uma redução de 40% até 2002 e de 50% até 2010. Foram estabelecidas metas de redução de SO₂ (a longo prazo) para as principais regiões no Canadá, onde também é realizada a avaliação crítica dos resultados com objetivo de realinhamento das metas estabelecidas.

Associados ao monitoramento de poluição atmosférica e da precipitação (úmida e seca), existem ações que foram estabelecidas através de um programa específico de prevenção à poluição (Keeping Clean Areas Clean and Pollution Prevention-KCAC-P2) pelo governo Canadense. As estratégias incluem o compromisso de proteção das áreas do país, que não foram identificados problemas com chuvas ácidas.

A rede de monitoramento no Canadá envolve estações distribuídas em locais diferenciados no país, onde a poluição atmosférica e a precipitação (úmida e seca) são monitoradas continuamente. Segundo a EC (2006), mesmo com a redução da acidez da precipitação sendo identificada desde 1980, ainda continuam ocorrendo chuvas ácidas na parte leste do Canadá. A redução da acidez da chuva está associada à redução nas emissões de SO_2 .

A figuras 07 e 08, dispostas a seguir, apresentam valores de pH encontrados nas águas de chuva de regiões no Canadá.

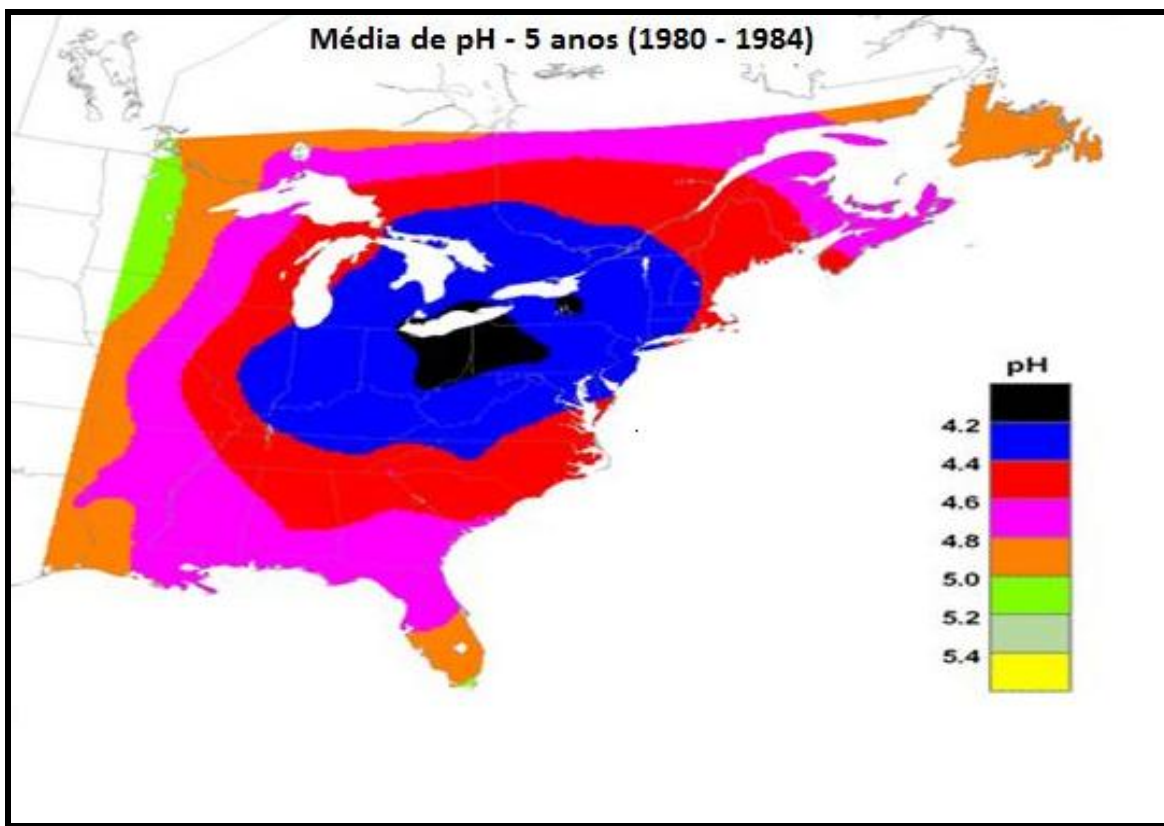


Figura 07: pH médio da precipitação entre 1980 e 1984 no Canadá.

Fonte: Adaptado de EC (2006).

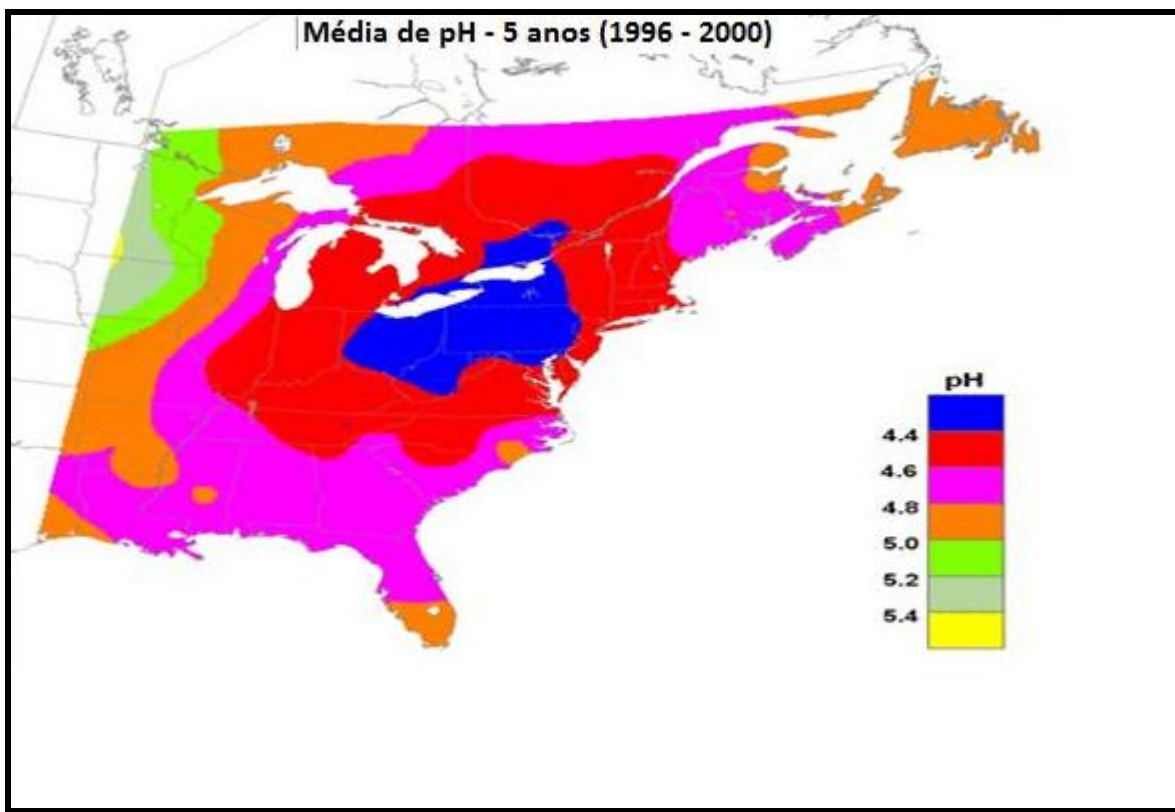


Figura 08: pH médio da precipitação entre 1996 e 2000 no Canadá.

Fonte: Adaptado de EC (2006).

As figuras 07 e 08 apresenta melhorias obtidas nos valores de pH em relação à acidez identificada nas águas de chuva (em períodos anteriores e posteriores aos estabelecimento de metas de redução de emissões de SO_2), tornando mais claro geograficamente a relação existente entre os valores de pH obtidos na precipitação e a redução das emissões de SO_2 para o mesmo período e local. O mapeamento das regiões monitoradas associado aos valores de pH obtidos na precipitação ilustram a integração de informações ambientais em escala geográfica, sinalizando de forma mais clara as delimitações de áreas onde ocorreram valores mais ou menos críticos do parâmetro monitorado. Apesar da precipitação ainda apresentar valores de pH ácidos no período de 1996 a 2000, fica claro a eliminação de eventos mais críticos (com valores de $\text{pH} < 4,2$).

Nos Estados Unidos existe uma rede específica para avaliação contínua da deposição seca através da CASTNET (Clean Air Status Trends Network) e outra para avaliação da qualidade da deposição úmida através do Programa Nacional de Deposição Atmosférica (NADP). As estações, em ambas as redes, estão distribuídas em várias partes do país, sendo as características das deposições seca e úmida medidas continuamente, e os resultados dispostos em mapas apresentando a disposição geográfica dos parâmetros medidos (como pH, ácidos inorgânicos e seus sais, etc.).

Historicamente, a NADP iniciou as atividades com apenas 22 estações em 1978 e, atualmente, essa rede opera com 250 estações distribuídas nos Estados Unidos, Alaska, Porto Rico e Ilhas Virgínicas. O objetivo da rede é monitorar as características físico-químicas da precipitação úmida. Para isso, são avaliados, através da coleta semanal de amostras de chuva, os parâmetros: pH, sulfatos, nitratos, cloretos, amônio, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ . Atualmente, a NADP está expandida e conta com mais duas outras redes. Uma rede conhecida como MDN (Mercury Deposition Network) para avaliação de mercúrio com 90 estações com o objetivo de melhorar o entendimento sobre as possíveis contribuições de mercúrio para os rios e lagos; e outra denominada de AIRMoN (Air Monitoring) para observar as tendências da precipitação úmida com uma melhor resolução temporal, em que as amostras são coletadas diariamente em 7 estações e as características são analisadas a partir dos mesmos parâmetros estabelecidos para a NADP.

Os resultados do monitoramento físico-químico das águas de chuva são integrados aos outros dados ambientais para dispor geográfica e temporalmente as informações e as tendências a longo prazo. Isso tem auxiliado muito no trabalho de avaliação preventiva, conjuntamente com o uso de modelagem matemática, na avaliação de cenários futuros da deposição úmida e os possíveis efeitos causados ao meio ambiente e à saúde humana nos ecossistemas localizados nas áreas de influência. As figuras 09 a 12, apresentadas a seguir, ilustram o que foi explicado anteriormente:

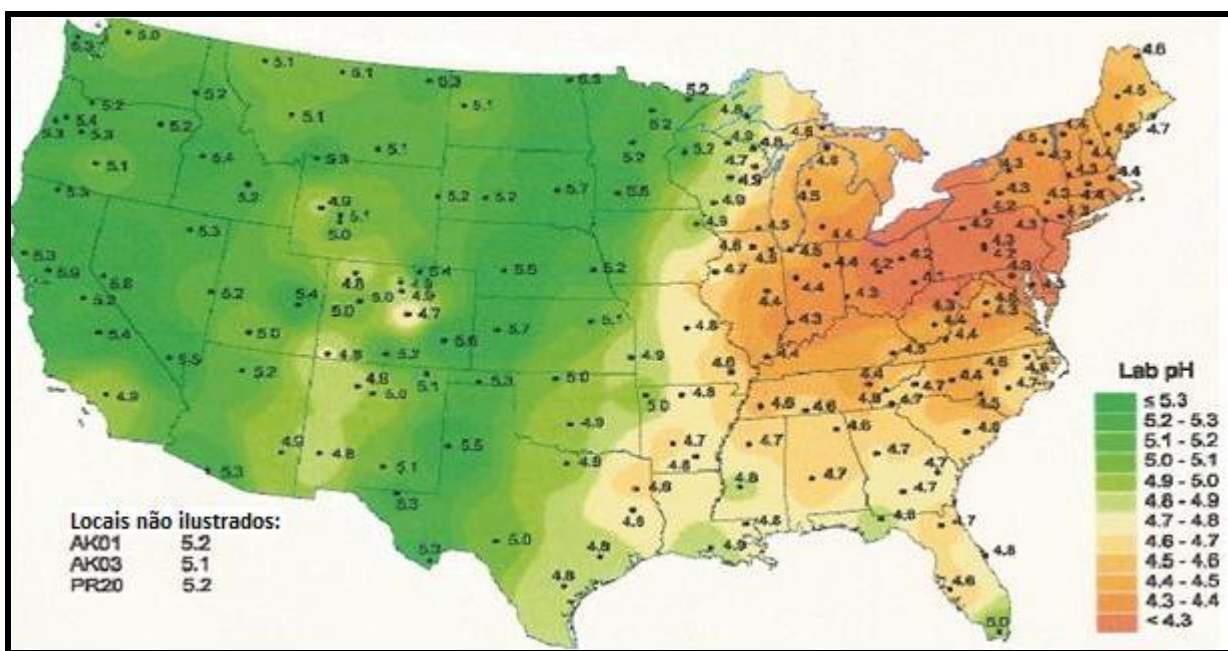


Figura 09: pH médio da precipitação medido nos Estados Unidos em 1994.

Fonte: Adaptado de EPA (2001).

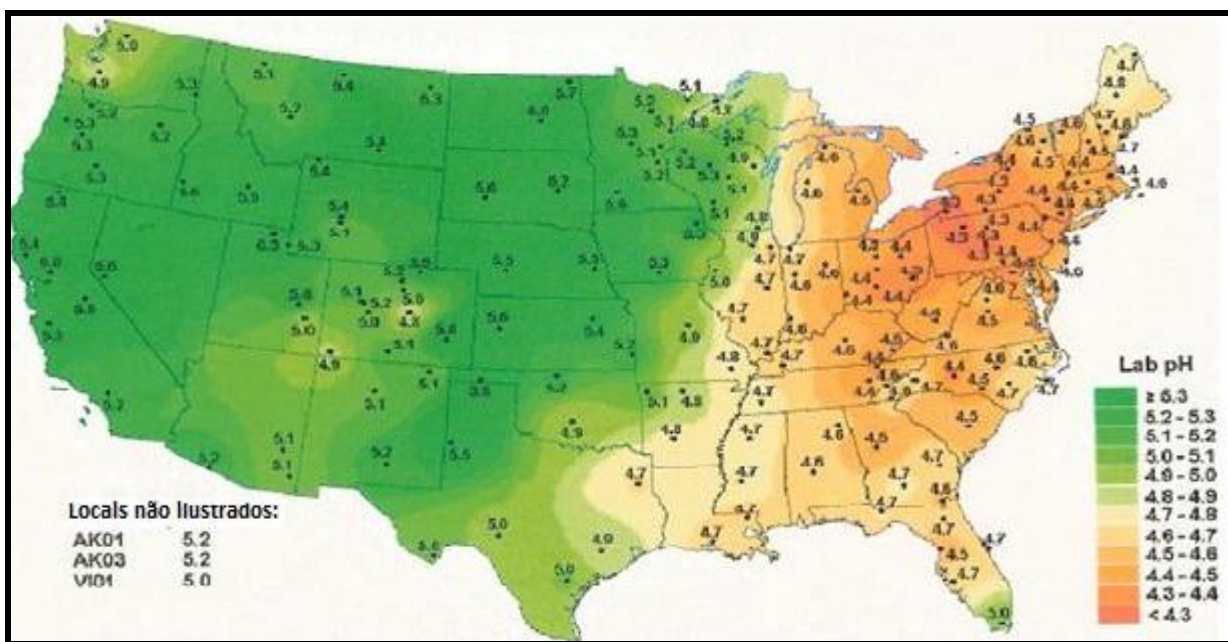


Figura 10: pH médio da precipitação medido nos Estados Unidos em 2000.

Fonte: Adaptado de EPA (2001).

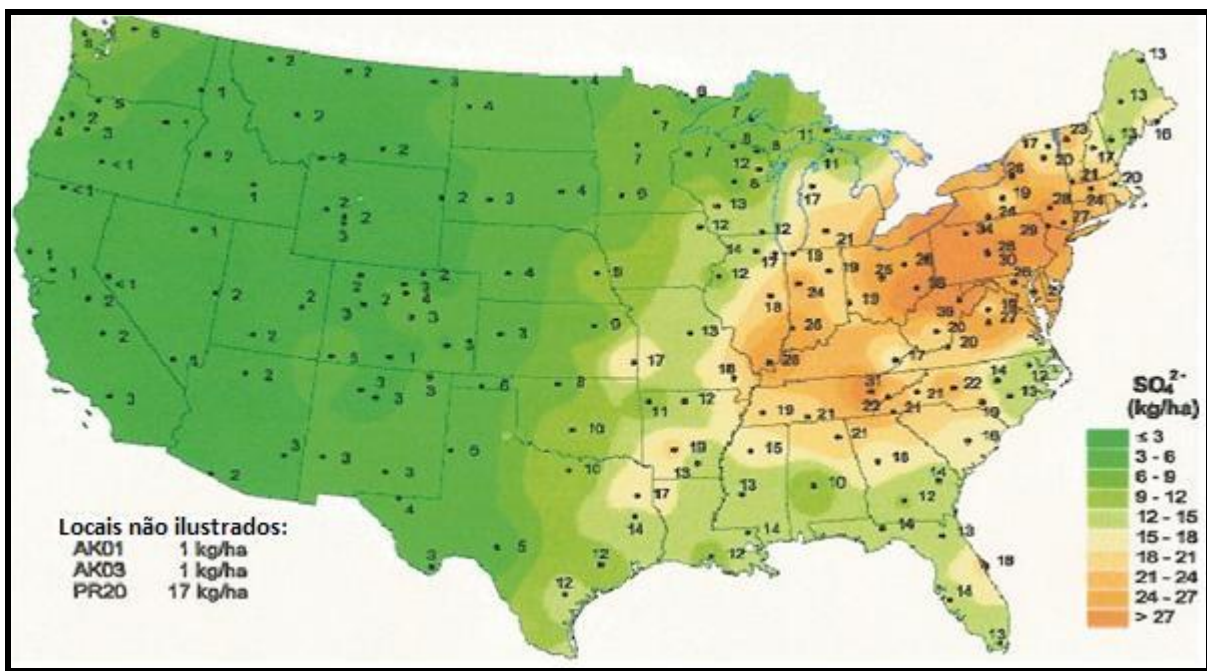


Figura 11: Deposição de sulfato na precipitação nos Estados Unidos em 1994.

Fonte: Adaptado de EPA (2001).

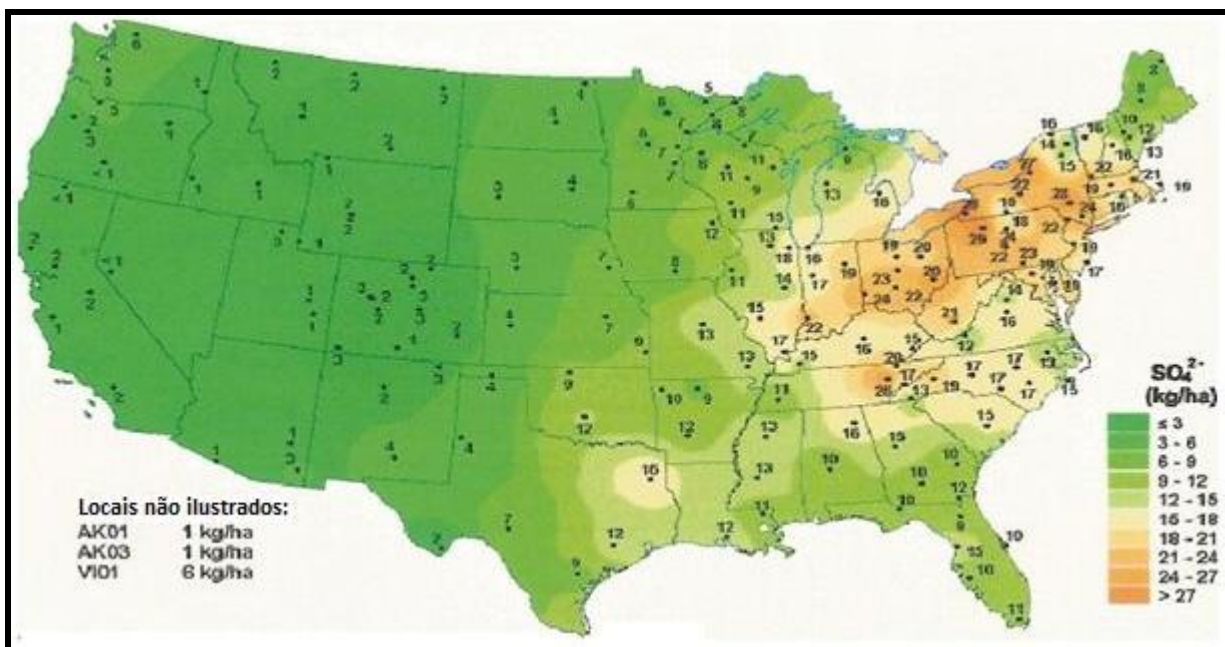


Figura 12: Deposição de sulfato na precipitação nos Estados Unidos em 2000.

Fonte: Adaptado de EPA (2001).

Lynch *et al.* (1995) avaliaram os dados de composição química da precipitação nos Estados Unidos, para o período de 1980 a 1992, obtidos através do monitoramento em estações do NADP/NTN. Os dados foram criteriosamente trabalhados, utilizando modelagem matemática para avaliar tendências como uma perspectiva nacional. Um dos aspectos relevantes desse estudo foi a identificação de tendência de decréscimo nas concentrações de SO_4^{2-} e H^+ em 17 estações estudadas. A análise de resultados e aplicação de ferramentas matemáticas para avaliar tendências tem sido uma sistemática muito útil para o desenvolvimento de outros estudos nos Estados Unidos.

O trabalho da agência americana de proteção ambiental (EPA) continua sendo desenvolvido através dos programas (mencionados nos parágrafos anteriores). Lamb e Bowersox (2000) reportaram uma visão geral sobre o NADP como um programa, onde o principal objetivo seria o monitoramento, em períodos mais longos, e análise da precipitação em várias partes dos Estados Unidos (e expandindo as estações dessa rede para Porto Rico e Ilhas Virgínicas).

Butler *et al.* (2001) reportaram aspectos importantes sobre a redução nas emissões de SO_2 e NO_x e resultados de precipitação (úmida e seca) em vários locais dos Estados Unidos, buscando uma avaliação integrada dos dados. Associado à redução nas emissões de SO_2 , o estudo sinalizou também uma diminuição das concentrações de SO_4^{2-} e H^+ na precipitação úmida. Outras informações relevantes foram apontadas como conclusão desse estudo, que teve como objetivo uma análise de resultados de 2 períodos de monitoramento (1991 a 1994; 1995 a 1997) correspondentes às fases anteriores e posteriores às ações do *Clean Air Act Amendments*.

Gilliland *et al.* (2002) publicaram resultados de avaliação de dados do período referente a 1993-2000, onde foram identificadas diferenças potenciais entre os dados de monitoramento diário e semanal em um período mensal (e outros períodos intercalados em um ano). De forma geral, o estudo pretendia comparar resultados obtidos no monitoramento da precipitação nos programas AIRMoN e NTN. A partir das conclusões obtidas pôde-se ter um melhor entendimento sobre as potenciais diferenças entre os

programas AIRMoN e NTT referente à frequência de amostragem e preservação de amostras.

Outros países têm desenvolvido pesquisas interessantes sobre o tema em questão. Observa-se, nesse momento, que a diversidade de informações sobre esse tema requer uma maior objetividade e clareza para compor um cenário reflexivo, a partir da seleção de exemplos ilustrativos encontrados no desenvolvimento de pesquisas, sobre esse assunto. Assim, serão dispostos nos parágrafos que seguem, alguns aspectos considerados relevantes identificados em alguns trabalhos realizados na Índia, China, Espanha, França, Grécia, entre outros.

Os estudos sobre a avaliação da composição química das chuvas têm sido assunto de intensas pesquisas e discussões nas últimas décadas em várias partes do mundo, e principalmente na Ásia. O crescimento econômico e o conseqüente aumento do consumo de energia têm contribuído para que as questões ambientais (regionais e globais) tenham se tornado motivo de preocupação nas dimensões científica e social. Entre essas questões, a poluição atmosférica e a deposição úmida têm sido foco de muitas pesquisas em vários locais na Índia, China, Japão, Tailândia, Singapura, Tibet (Obaidy e Joshi, 2006; Watanabe *et al.*, 2006; Das *et al.*, 2005; Tu *et al.*, 2005; Hu *et al.*, 2003; Kulshrestha *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2003; Larssen *et al.*, 1999; Satsangi *et al.*, 1998; Saxena *et al.*, 1996; Wang, 1996; Granat *et al.*, 1995).

Segundo Dovland (1993, *apud* Wang, 1996, p.4091), com o rápido crescimento econômico e desenvolvimento populacional na parte leste da Ásia, essa região apareceu como sendo a terceira maior área no mundo com episódios de chuva ácida (depois da América do Norte e Europa).

Muitos estudos sobre a avaliação da composição químicas das águas de chuva na Índia (Obaidy e Joshi, 2006; Das *et al.*, 2005; Kulshrestha *et al.*, 2003; Satsangi *et al.*, 1998; Saxena *et al.*, 1996) têm sido realizados nas últimas décadas. A grande parte dessas pesquisas explorou aspectos relevante e necessários para melhorar o

conhecimento sobre o perfil característico da chuva (e as principais fontes associadas) em algumas partes do país como zonas rurais e urbanas.

Saxena *et al.* (1996) apresentaram estudos sobre a composição química das águas de chuva realizados em regiões da Índia; e relacionaram a alta alcalinidade das águas de chuva com uma baixa contribuição de aerossóis secundários (SO_4^{2-} e NO_3^-) oriundos de fontes antropogênicas, e uma alta contribuição de aerossóis primários (Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+}) oriundos do solo. Uma pesquisa realizada na região central norte da Índia na cidade de Agra, no período de julho a setembro de 1991, revelou que a chuva possuía características alcalinas e que a acidez estava sendo neutralizada através de componentes oriundos do solo (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e pela amônia. Outro aspecto interessante seria o excesso de Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} e Cl^- de origem não marinha; onde a incorporação de partículas do solo na chuva reflete a principal influência continental. Saxena *et al.* (1996) consideraram como hipótese que as reações de neutralização do H_2SO_4 e HNO_3 com Ca^{2+} e Mg^{2+} estariam ocorrendo no nível das nuvens; enquanto que a neutralização em níveis abaixo das nuvens estaria ocorrendo pela amônia, e também através da adsorção de SO_2 pelo material particulado suspenso rico em Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Fujita *et al.* (2000) avaliaram a composição química da precipitação no leste da Ásia, onde foram analisadas amostras de chuva coletadas em 18 estações de uma rede cooperativa de monitoramento distribuídas em cidades de alguns países. As principais espécies analisadas foram SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , NH_4^+ , Na^+ e Cl^- . Essa composição de íons solúveis na precipitação úmida foi caracterizada por dois principais fatores: a) condições meteorológicas (direção e velocidade do vento) e padrão de precipitação relativo à monção asiática; e b) distribuição geográfica da produção de precursores oriundos de fontes naturais e antropogênicas. Apesar da origem das espécies presentes não ter sido completamente esclarecida, considera-se que: SO_4^{2-} (de origem não oceânica) e NO_3^- são oriundos de atividades industriais; Ca^{2+} (de origem não oceânica) e NH_4^+ são principalmente originados do continente; e Na^+ e Cl^- principalmente oriundos do oceano.

Considerando que a composição química da precipitação úmida é um indicativo de transformações ocorridas na atmosfera de um local em determinado período de tempo, a avaliação realizada nas estações dispostas em cidades de países diferentes auxiliou na caracterização da qualidade das águas das chuvas a partir da correlação das espécies avaliadas com as principais fontes dos poluentes (primários e secundários).

A parte mais afetada no nordeste da Ásia está localizada na região sudeste da China e estima-se que uma área excedente em 1 milhão km² tenha sido afetada por chuvas ácidas (Wang *et al.*, 1993 *apud* Wang 1996, p.4091). A China tem aumentado consideravelmente as emissões de SO₂ nas últimas décadas em função do desenvolvimento tecnológico e maior consumo de energia. Isso tem desencadeado impactos diferenciados em diversas cidades no sul e norte do país. A chuva ácida é um problema ambiental crescente na China (Larssen, 1999).

Segundo Wang e Wang (1996), a precipitação ácida tem sido identificada em cidades localizadas na parte sul da China (Nanjing, Hefei, Hangzhou, Ningbo, Weizhou e Chongqing), enquanto que nas cidades localizadas ao norte (Beijing, Chanchun, Shenyang e Xian) não foram identificados episódios de chuvas ácidas. Apesar das emissões de SO₂ e NO₂ serem maiores no norte, fatores meteorológicos e a neutralização de íons ácidos (SO₄²⁻ e NO₃⁻) têm contribuído para redução da chuva ácida. As altas concentrações de Ca²⁺ e Na⁺ presentes no solo favorecem as reações de neutralização, pois o material particulado é facilmente arrastado para a atmosfera em função da pouca cobertura vegetal existente na região norte da China. Baseado na explicação de Xu *et al.* (1989, *apud* Wang e Wang, 1996, p.4092), os fatores meteorológicos têm contribuído para a conversão fotoquímica de SO₂ e NO₂ em sulfato e nitrato. A radiação solar mais intensa, as temperaturas mais altas e mais vapor d'água na atmosfera têm contribuído para aumento das transformações químicas no sul do país. Além disso, a dispersão atmosférica no norte é mais forte, fazendo com que os poluentes sejam mais facilmente dispersos e transportados para outras áreas.

Um estudo realizado por Larssen *et al.* (1999) apresenta aspectos relevantes identificados na avaliação da precipitação em vários locais na China. Um deles faz referência ao efeito neutralizador da poeira contendo componentes alcalinos; que é arrastada pelo vento para a atmosfera, neutralizando a acidez das emissões especialmente em grandes partes ao norte da China. Na região sul esse efeito não foi observado, pois o solo daquela área não possui características alcalinas. Outros aspectos importantes foram considerados nesse estudo, como fatores meteorológicos e as interações e correlações identificadas entre determinadas espécies. De forma geral, a ocorrência de episódios de chuva ácida foi identificada em várias províncias localizadas ao sul da China, onde o valor anual de pH (média ponderada por volume) medido na precipitação se encontrou abaixo de 4,5. Outros valores de pH mais baixo do que 4,1 foram encontrados em algumas áreas urbanas.

As características químicas da precipitação na China têm sido publicadas em vários artigos. Como a grande parte da energia é gerada pela combustão de carvão, SO_4^{2-} foi o ânion dominante na precipitação (Tu *et al.*, 2005). Ca^{2+} foi o cátion dominante devido ao alto nível de poeira alcalina na atmosfera em grandes áreas da China (Feng *et al.*, 2001 *apud* Tu *et al.*, 2005, p.284; Larssen e Charmichael, 2000; Larssen *et al.*, 1999).

A poluição atmosférica avaliada em várias partes da China (Tu *et al.*, 2005; Larssen *et al.*, 1999; Wang e Wang, 1996; entre outros) tem revelado que o rápido crescimento econômico e o consumo energético têm provocado a ocorrência de precipitação ácida no país, principalmente, em grandes cidades e suas redondezas. Em 2002, a precipitação ácida ocorreu em 50,3 % da área total da China (State Environmental Protection Administration of China, 2003 *apud* Tu *et al.*, 2005, p.284).

Um estudo detalhado realizado por Tu *et al.* (2005) para avaliação das características químicas da precipitação na China revelaram a ocorrência de episódios de chuva ácida. A pesquisa foi desenvolvida em um período de mais de dez anos em Nanjing. Os resultados dessa avaliação (desenvolvida entre 1992 e 2003) apresentaram aspectos importantes para o melhor entendimento sobre a composição da chuva na região;

como, também, comprovaram o alinhamento de informações obtidas em Nanjing aos resultados (e tendências) apresentados por outros estudos realizados em outras localidades no próprio país e na Ásia. Os resultados obtidos nesse estudo foram tratados estatisticamente, onde foram calculados os valores de média anual (média ponderada por volume) para as espécies estudadas. A tabela 08, disposta a seguir, apresenta esses valores para todos os parâmetros:

Tabela 08: Concentração ($\mu\text{mol L}^{-1}$) das espécies e pH da precipitação em Nanjing (China) durante 1992-2003.

Número de amostras (*)	Precipitação (mm) (*)	pH	Concentração ($\mu\text{mol L}^{-1}$)									
			H ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
700 - 1310	648 - 1242	5,15	7,53	120,89	142,64	39,55	19,09	147,7	193,18	15,84	12,06	23,01

*faixa anual (min/Max)

Fonte: Adaptado de Tu *et al.* (2005).

O valor médio anual (média ponderada por volume) para pH foi 5,15 e a faixa de valores mínimo e máximo correspondeu a 4,93 – 5,36. O estudo não revelou uma tendência significativa de variação para acidez da precipitação na região estudada. Os principais ânions identificados foram sulfato, nitrato e cloreto; e os cátions foram cálcio, amônio e magnésio.

Segundo Tu *et al.* (2005), as concentrações desses íons foram muito altas se comparado aos valores encontrados para esses íons em outras partes do mundo. Enquanto que o pH não foi baixo. Os resultados indicaram que as altas concentrações de poluentes ácidos na precipitação foram evidentemente neutralizados pela alta concentração de partículas na poeira suspensa e pela presença de amônia na atmosfera. Isso está coerente com os resultados anteriores encontrados em outro estudo realizado em Beijing.

O estudo realizado por Tu *et al.* (2005) deixou claro que as fontes antropogênicas e com origem do solo tiveram uma contribuição significativa para a acidificação e neutralização da precipitação em Nanjing. Quase todo o SO_4^{2-} e Ca^{2+} tiveram origem em contribuições não marinhas. Os resultados das contribuições não marinhas de Cl^- , Mg^{2+} e K^+ foram coerentes com aqueles encontrados em estudos anteriores realizados em outras cidades da China (Beijin e Jinan). Foi possível encontrar muitas correlações entre as espécies avaliadas. Correlações significativas foram encontradas entre os ânions ácidos e os cátions oriundos da poeira suspensa, como: SO_4^{2-} e Ca^{2+} ; SO_4^{2-} e K^+ ; Cl^- e Ca^{2+} ; Cl^- e K^+ ; F^- e Mg^{2+} e F^- e K^+ . Isso indica que os poluentes ácidos devem ter sido absorvidos pelo material particulado e reagido com cátions alcalinos.

Os resultados desse estudo indicaram, também, uma redução nas concentrações de Ca^{2+} na precipitação, em função da redução de partículas de poeira na atmosfera, oriundas do solo e de fontes industriais. Ocorreu um aumento em relação às contribuições de NH_4^+ nos processos de neutralização. Um outro aspecto muito importante observado foi que as concentrações de SO_4^{2-} diminuíram significativamente no período de 1991 a 2003. As políticas e diretrizes de controle e abatimento das emissões de SO_2 favorecem a redução da concentração de sulfato encontrada na precipitação. Isso ocorreu de forma contrária para o NO_3^- , onde as concentrações aumentaram em função do aumento do número de veículos a motor (e consequente aumento nas emissões de NO_x).

Através dessa pesquisa realizada na cidade de Nanjing foi possível avaliar as tendências da composição química da precipitação para um período reconhecidamente longo (1992-2003). Os resultados desse trabalho têm fornecido elementos importantes para o desenvolvimento de outros estudos na própria China e outros países asiáticos.

Um estudo realizado por Hu *et al.* (2003) apresenta resultantes interessantes para a avaliação da composição química da precipitação em Singapura. A pesquisa foi desenvolvida no período de novembro de 1999 a outubro de 2000 com o objetivo de caracterizar a chuva da região. Os resultados apontaram que a chuva em Singapura é

tipicamente ácida com valor de pH (média ponderada por volume), avaliado para o período, sendo igual a 4,2. Os íons sulfato e nitrato foram as principais espécies que contribuíram para essa característica ácida. Foi possível identificar, também, a ocorrência de processos de neutralização por amônia e cálcio durante a precipitação. A análise estatística por fatores auxiliou na explicação dos resultados obtidos e a correlação com as possíveis fontes emissoras.

Algumas áreas remotas também foram consideradas como locais para a avaliação da qualidade do ar e da precipitação. Entre elas, encontra-se o Tibet. O primeiro estudo sobre a precipitação na região do Tibet foi realizado no período de 1987- 2000. Nesse estudo foram coletadas amostras de períodos chuvosos em estações localizadas nas cidades de Lhasa, Dingri, Dangxiong e Amdo. Foram determinados pH, condutividade e componentes inorgânicos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe, Mn, F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Br^- , HPO_4^{2-} , NH_4^+ e HCO_3^-) nas águas de chuva. A tabela 09, disposta abaixo, apresenta os resultados obtidos para pH (média ponderada por volume) nas estações monitoradas:

Tabela 09: Valores de pH (média ponderada por volume) em cidades no Tibet nos períodos de 1987 a 1988 e 1997 a 1999.

Local	pH (média ponderada por volume)	
	1987 - 1988	1997 - 1999
Lhasa	8,36	7,50
Dangxiong	8,78	7,45
Amdo	7,96	7,89
Dingri	7,64	8,01

Fonte: adaptado de Zhang *et al.* (2003).

A precipitação na região do Tibet possui características alcalinas. Segundo Zhang *et al.* (2003), os valores elevados de pH podem ter origem a partir da poeira suspensa do solo que possui componentes alcalinos. A alcalinidade da precipitação na área do Tibet é, principalmente, consequência do próprio ambiente semi-árido e das baixas concentrações de poluentes emitidos para o ar. E a química da precipitação é principalmente controlada pela poeira de origem continental, com pouca contribuição de poluentes. As baixas concentrações de poluentes no ar da área do Tibet fez com que essa região se tornasse uma das áreas mais limpas do mundo.

A calcificação é um processo dominante na formação de solo em regiões semi-áridas e áridas, produzindo calcita (CaCO_3) em abundância que pode levar à formação de poeira para o ar. As partículas de origem natural podem tamponar a precipitação fracamente ácida fazendo com que ela passe a ter valores de pH superiores a 5,6 em muitos lugares; especialmente em áreas áridas e semi-áridas, onde existe poeira transportada pelo ar (Sequeira, 1993 *apud* Zhang *et al.*, 2003, p. 237; Berber e Berner, 1987).

Zhang *et al.* (2003) ressaltam que a precipitação alcalina é um importante fenômeno natural em áreas áridas e semi-áridas do mundo. E o valor de pH da precipitação em áreas áridas e semi-áridas não pode ser utilizado como um indicador de poluição atmosférica.

A tabela 10, disposta a seguir, apresenta uma comparação entre resultados obtidos para as concentrações (média ponderada por volume, em $\mu\text{mol L}^{-1}$) de espécies inorgânicas analisadas e valores de pH (média ponderada por volume) determinados nas águas de chuva em Lhasa no Tibet e outras áreas remotas do mundo.

Tabela 10: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de espécies e valores de pH em Lhasa e outras áreas remotas.

		Lhasa 1987-1988	Amterdam Island ^(a)	St. Georges ^(b)	Hawai Volc ^(a) 2000	Virgen Island ^(b)	Poker Creek Alask ^(b) 2000
Ânions	HCO₃⁻	289					
	SO₄²⁻	1,25	15,3	18,15	8,26	0,445	1,425
	NO₃⁻	2	1,7	5,5	1,06	0,3	2,16
	Cl⁻	21,7	208	175	31	3,51	0,79
$\Sigma_{\text{ânions}}$		315	240	217	48,5	4,7	5,8
Cátions	Mg²⁺	2,85	19,35	17,25	2,385	0,110	0,125
	Na⁺	89	177	147	25,27	1,987	0,348
	K⁺	14,8	3,7	4,3	0,54	0,091	0,26
	Ca²⁺	75	3,7	4,85	0,875	0,095	0,525
	NH₄⁺	21,9	2,1	3,8	0,55	0,03	0,72
	H⁺		12	16,2	16,8	4,96	6,18
$\Sigma_{\text{cátions}}$		282	241	216	49,6	6,3	8,8
pH		8,36	4,92	4,79	4,78	4,96	5,21

(a) Galloway et al., 1982.

(b) USA National Atmospheric Deposition Program

Fonte: adaptado de Zhang *et al.* (2003).

Alguns aspectos devem ser destacados, quando se observam os resultados obtidos na região Tibetana:

a) as amostras coletadas em Lhasa sinalizam chuvas altamente mineralizadas (Ca²⁺ e HCO₃⁻) se comparado com os resultados das outras estações dispostas e outras áreas remotas;

b) excluindo Lhasa, as maiores valores de somatório de íons foram encontradas em amostras coletadas em Amsterdam e St. Georges, onde a principal composição é derivada de sal marinho (Na⁺ e Cl⁻);

c) as concentrações de Ca^{2+} e HCO_3^- (75 e $289 \mu\text{mol L}^{-1}$) encontradas nas águas de chuva do Tibet corresponderam aos valores mais elevados se comparados com os resultados de outras áreas remotas (pelo menos para o Ca^{2+} , íon determinado em todas as regiões);

d) as concentrações de Ca^{2+} em outras áreas remotas se encontraram entre 0,0950 e $4,85 \mu\text{mol L}^{-1}$;

e) as razões baixas de Cl^-/Na^+ identificadas nas amostras do Tibet indicam uma pequena influência de sal marinho como fonte emissora;

f) as concentrações médias de SO_4^{2-} e NO_3^- determinadas nas águas de chuva de Lhasa foram as mais baixas comparadas com aquelas encontradas em algumas áreas remotas. Isso significa que a região do Tibet ainda não está poluída.

Segundo Brimble-Combe (2001 *apud* Zhang *et al.*, 2003, p.232), uma rede global de monitoramento para chuva ácida tem sido implementada e muitos estudos têm sido publicados. Desde o início de 1990, o governo Chinês tem estruturado muitas estações de monitoramento de chuva ácida em suas províncias e algumas áreas industriais. Muitas áreas com ocorrência de eventos de chuva ácida foram identificadas. Entretanto, não haviam sido publicados estudos anteriores considerando avaliação das características da precipitação na região Tibetana.

Outros estudos têm sido desenvolvidos a partir da avaliação de tendências temporais da composição química da precipitação em países da Europa (Aherne e Farrell, 2002; Glavas e Moschonas, 2002; Puxbaum *et al.*, 2002; Ávila, 1996; Sanusi *et al.*, 1996; Harrison e Allen, 1991; Dikaiakos *et al.*, 1990).

Nos últimos 20 anos, a deposição úmida de enxofre (S) tem decrescido em algumas partes da Europa e América do Norte como efeito de estratégias de abatimento das emissões de enxofre (Lynch *et al.*, 1995 *apud* Ávila, 1995, p.1363; Butler e Likens, 1991; Likens, 1989; Leck e Rodhe, 1989; Dillon *et al.*, 1988; Rhode e Granat, 1984).

Alguns países têm implantado, efetivamente, tecnologias para reduzir as emissões de SO_2 para a atmosfera. No entanto, ainda existe um grande desafio para grandes poluidores, que não estabeleceram metas de redução de emissões de poluentes para os próximos 10, 20 ou 50 anos.

Outros estudos realizados na Europa apontam aspectos diferenciados na composição das águas de chuva, que refletem características locais, regionais e globais das regiões estudadas. Eventos de chuvas ácidas e alcalinas têm sido reportados na França e Espanha (Alarcon, 1999 *apud* Glavas e Moschonas, 2002, p.3089; Ávila, 1996; Cameron e Catalan, 1993).

Esses estudos reportam uma grande influência da poeira oriunda do Saara na neutralização dos constituintes ácidos, identificada pela alta concentração de Ca^{2+} na precipitação. Quando as massas de ar oriundas da direção norte prevalecem, as concentrações de Ca^{2+} são mais baixas e, sendo, então, observados eventos de chuvas ácidas.

Ávila (1996) apresentou resultados de estudos realizados no norte da Espanha (montanhas Montseny) no período de 1983 a 1994, identificando um decréscimo significativo nas concentrações de SO_4^{2-} e H^+ . O decréscimo de concentração de H^+ contribui com a redução de impactos associados às chuvas ácidas, pois ocorreu um aumento no valor de pH da precipitação. Esses resultados, específicos de redução de concentrações de sulfato e H^+ , são similares aqueles encontrados em outros estudos realizados na Europa e Estados Unidos.

Sanusi *et al.* (1996) apresentam os resultados de pesquisa realizada em nove locais no leste da França (no período de outubro de 1991 a março de 1992) a partir da avaliação de componentes inorgânicos (SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ e Ca^{2+}). O estudo pretendia avaliar a composição das águas de chuva em áreas urbanas e rurais e correlacionar os resultados com a origem das possíveis fontes emissoras. As concentrações das

principais espécies encontradas foram mais altas em áreas urbanas. E a acidez da precipitação foi mais baixa em áreas rurais. Atribui-se esse decréscimo da acidez à presença de CaCO_3 , o qual se dissocia em Ca^{2+} e CO_3^{2-} . Nas áreas urbanas não existem fontes emissoras de CaCO_3 . Um ponto relevante desse estudo foi a identificação, além do HNO_3 e H_2SO_4 , de ácido clorídrico (as emissões tinham origem em processos de clareamento de indústrias de papel e em incineradores) como espécie contribuidora da acidez da precipitação. Como o HCl possui alta solubilidade em água, fica mais difícil o transporte desse poluente à longas distâncias durante os eventos chuvosos.

Informações importantes têm sido obtidas de estudos realizados na Grécia para elucidar as características da precipitação na região e associar esses resultados às contribuições de origem local e outras oriundas de outros países.

Dikaiakos *et al.* (1990) avaliaram a qualidade da precipitação em Atenas (no período de março de 1986 a fevereiro de 1987), através da análise dos principais cátions (H^+ , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e ânions (Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-}) nas amostras de águas de chuva. A maior parte das amostras de chuva, coletadas na área urbana de Atenas, apresentou característica de pH alcalino ou neutro. Apenas 20% do total de amostras apresentaram valores de $\text{pH} \leq 5,6$. A análise estatística de correlação entre as concentrações das espécies químicas confirmam as características antropogênicas dos compostos analisados. O H_2SO_4 e HNO_3 foram identificados como os principais constituintes que contribuíram para a acidez da precipitação. O estudo, também, identificou que parte dos ácidos inorgânicos são neutralizados por amônia gasosa, poeira suspensa do solo e spray marinho da atmosfera.

A precipitação na parte central leste do mediterrâneo tem apresentado eventos combinados de chuvas ácidas e alcalinas, com aproximadamente 25% dos eventos com $\text{pH} < 5,0$ e uma grande parte com $\text{pH} > 6,0$ (Guelsoy *et al.*, 1999 apud Glavas e Moschonas, 2002; Tuncel e Ungoer, 1996; LeBolloch e Guerzoni, 1995; Samara *et al.*, 1992; Smirnioudi e Siskos, 1992; Dikaiakos *et al.*, 1990; Glavas, 1988).

Segundo (Mamane e Gottlieb, 1995 *apud* Glavas e Moschonas, 2002), eventos de chuvas ácidas e alcalinas têm sido encontrados em Israel e também na parte oeste do Mediterrâneo.

Glavas e Moschonas (2002) verificaram através de tratamento estatístico multivariado de dados de análise de amostras de chuvas (coletadas em Patras na Grécia), que as características da precipitação sofriam influência de agentes alcalinos. A calcita transportada do norte da África neutralizava parte dos ácidos inorgânicos das águas de chuva. Nesse caso, ocorre uma redução na influência da poeira local suspensa no processo de neutralização de ácidos. A análise da trajetória das massas de ar (sob determinadas condições meteorológicas) apontou que a influência do fluxo de ar oriundo da região do Saara pode ser forte, possibilitando a ocorrência de precipitação alcalina. Quando a influência das massas de ar do Saara são reduzidas, observa-se a ocorrência de eventos de chuvas ácidas. É importante salientar que, nesse caso, o papel das fontes de emissão local não são tão significativas em relação às outras fontes localizadas fora das fronteiras da Grécia.

Puxbaum *et al.* (2002) publicaram resultados de estudos realizados na Áustria a partir da análise dos dados de monitoramento de uma rede com 11 pontos de amostragem de precipitação úmida. O estudo sinaliza as tendências encontradas na avaliação da composição química da precipitação para um período relativamente longo de monitoramento (1984-1999). Os dados foram escolhidos com base na qualidade dos resultados obtidos. Para a maioria das estações, ocorreu um decréscimo significativo nas concentrações de sulfatos (entre 30% a 60% para todo o período, exceto para Nasswald) e foram observadas deposições (entre 25% e 68% para todo o período, exceto para Nassfeld). Logo, foram confirmadas as tendências observadas em estudos anteriores para a parte oriental da Europa e América Norte. A mesma tendência se confirma para as mudanças nas concentrações do íon H^+ e deposições, que revelam uma constante redução da acidez de toda a precipitação úmida.

Outras mudanças foram observadas para os íons nitrato, amônio, cloretos e cátions básicos. Na avaliação preliminar do estudo, realizado por Puxbaum *et al.* (2002), não foram identificadas alterações significativas nas concentrações de nitrato e amônio. A tendência linear é significativa na maioria das estações, sendo encontrado apenas um pequeno decréscimo nos valores médios durante o período de monitoramento.

Para cloretos e cátions básicos, o estudo identificou uma característica similar. Alterações significativas na concentração e deposição relativa a cloretos e cátions básicos não foram encontradas. De forma geral, o estudo sinalizou que a redução na acidez da precipitação úmida na Áustria estava associada ao decréscimo a longo prazo nas concentrações de SO₂.

Essas pesquisas, que têm sido desenvolvidas na Europa, são importantes para a interpretação de dados e integração de informações para o cenário Europeu e, como extensão, para os países que possam ter contribuído com emissões fora das fronteiras da comunidade européia.

Pesquisas para avaliação da qualidade das águas de chuva também foram desenvolvidas no México (Bravo *et al.*, 2006; Garcia *et al.*, 2006; Bravo *et al.*, 2000; Baez *et al.*, 1997) e Uruguai (Zunckel *et al.*, 2003).

Com o objetivo de melhor conhecer os valores de espécies inorgânicos presentes na chuva em vários locais no mundo, foi feita uma compilação de dados nas tabelas 11 a 13 dispostas a seguir.

Tabela 11: Concentração em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva (deposição apenas úmida) em vários locais na Ásia

Locais na Ásia (período) ^{referência}	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺
India-Bhubaneswar-Área Urbana (1995-1997) ^a	18,0	10,0	9,55	sd	18,7	10,1	1,80	2,60	15,0	6,20	sd
India-Bhubaneswar-Área Rural (1997-1998) ^a	10,7	9,10	8,30	sd	17,5	5,95	1,90	1,90	10,5	5,60	sd
India-Delhi-Área Urbana (1997) ^b	12,8	8,50	9,50	sd	21,5	12,5	9,20	2,00	8,70	6,30	0,500
India-Delhi-Área Urbana-Rohini (1997) ^b	15,5	5,70	5,45	sd	13,6	16,8	8,60	3,80	10,3	6,50	0,300
India-Delhi-Área Industrial-Ramesh Nagar (1997) ^b	9,60	6,80	9,05	sd	12,5	16,2	10,4	3,40	7,10	6,60	0,200
India-Delhi-Área Urbana-Uttam Nagar (1997) ^b	18,0	8,20	10,9	sd	11,3	19,0	10,5	7,60	15,5	6,70	0,200
India-Delhi-Área Rural-Iqbalpur (1997) ^b	23,4	8,60	14,3	sd	31,1	35,2	9,60	12,1	17,9	7,10	0,100
India-Região Centro Sul-Hyderabad (1999) ^c	36,2	20,6	15,6	sd	24,0	20,1	13,6	4,35	18,2	6,70	0,200
India-Região Centro Sul-Hyderabad (2000) ^c	75,9	27,9	8,20	sd	29,0	33,9	9,50	6,10	23,1	6,40	0,700
India-Região Centro Sul-Hyderabad (2001) ^c	46,8	10,3	16,2	sd	12,8	59,6	35,9	10,2	40,2	6,10	1,40
Jordânia-Região de Petra (2002-2004) ^d	80,6	35,7	26,6	sd	26,3	81,6	18,4	31,1	75,6	6,85	sd
Singapura-Área Urbana ^d	22,1	16,8	29,4	sd	17,3	10,9	3,96	3,73	31,1	4,50	45,9
Túrcia-Área Urbana-Ankara ^d	20,4	29,2	24,0	sd	86,4	37,7	9,80	4,65	15,6	6,30	1,60
China-Shenzhen (1986-2006) ^e	37,9	22,1	37,2	sd	35,2	38,9	7,20	4,85	40,3	5,02	sd
China-Shenzhen (1980-1985) ^e	56,7	19,5	31,9	sd	29,4	35,1	7,00	4,10	49,7	sd	sd
China-Changsha ^e	13,4	23,9	93,4	sd	72,5	66,8	6,60	5,90	8,90	4,05	sd
China-Nanjing ^e	143	39,6	121	sd	193	148	12,1	15,9	23,0	5,15	sd
China-Benjing ^e	31,5	84,1	124	sd	234	95,5	12,0	16,9	16,3	6,01	sd
China-Hong Kong ^e	37,6	18,9	24,30	sd	sd	7,65	2,20	3,90	31,8	4,55	sd
Córea-Seoul ^e	18,2	29,9	35,5	sd	66,4	17,5	3,50	3,45	10,5	4,70	sd
Japão-Tokyo ^e	55,2	30,5	25,1	sd	40,4	12,5	2,90	5,75	37,0	4,52	sd
India-Tirupati ^e	33,9	40,8	64,0	sd	20,4	75,4	33,9	27,8	33,1	6,80	sd
Israel ^e	176	28,0	75,2	sd	24,3	22,4	3,70	14,0	166	4,72	sd
Jordânia ^e	122	63,7	60,8	sd	43,0	96,1	51,1	66,8	85,1	6,62	sd

sd = sem dados dessa espécie na referência citada

^a Das *et al.* (2005)

^b Jain *et al.* (2000)

^c Kulshrestha *et al.* (2003)

^d Al-Khashman (2005)

^e Huang *et al.* (2008)

Tabela 12: Concentração em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva (deposição apenas úmida) em áreas remotas no mundo

Locais ^{referência}	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺
Tibet-Lhasa (1987-1988)	21,7	2,00	1,25	sd	21,9	75,2	14,8	2,85	89,0	8,36	sd
Amsterdam Island	208	1,70	15,3	sd	2,10	3,70	3,70	19,4	177	4,92	12,0
Poker Flat	2,60	1,90	3,60	sd	1,10	0,0500	0,600	0,100	1,00	4,96	11,0
Katherine	11,8	4,30	3,15	sd	2,00	1,25	0,900	1,00	7,00	4,78	16,6
San Carlos	2,50	2,60	1,45	sd	2,30	0,150	0,800	0,250	1,80	4,81	15,5
St. Georges	175	5,50	18,2	sd	3,80	4,85	4,30	17,3	147	4,79	16,2
Hawaii Volc.	31,0	1,06	8,26	sd	0,550	0,875	0,540	2,39	25,3	4,78	16,7
Virgin Island	3,51	0,300	0,445	sd	0,0300	0,0950	0,0910	0,111	1,99	4,96	4,96
American Samoa	94,8	0,480	5,93	sd	0,550	2,05	1,87	9,22	80,3	5,62	2,38
Poker Creek Alaska	0,790	2,16	1,43	sd	0,720	0,525	0,260	0,125	0,348	5,21	6,18

sd = sem dados dessa espécie na referência citada

^a ZHANG *et al.* (2003)

Tabela 13: Concentração em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva (deposição apenas úmida) em outras partes do mundo (não inclui áreas remotas)

Locais ^{referência}	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺
América do Sul											
Chile-Torres del Paine National Park ^a	sd	0,500	sd	0,600	0,600	0,600	0,400	1,60	13,2	sd	10,9
Venezuela-Maracaibo ^a	sd	42,8	sd	26,2	sd	sd	sd	sd	sd	sd	4,50
América do Norte											
Bermuda ^a	sd	4,40	sd	7,00	2,80	2,50	0,900	0,800	116	sd	13,1
Estados Unidos-Los Angeles ^a	sd	16,6	sd	9,60	16,8	4,20	1,60	2,70	21,0	sd	15,4
Nova York-Adirondack ^b	2,14	22,6	18,5	sd	10,5	1,80	0,330	0,495	1,61	4,50	sd
Europa											
França ^c	357	28,0	21,1	sd	24,7	16,4	8,50	17,8	261	5,39	19,8
Alemanha-Erzebirge ^b	12,0	34,0	20,5	sd	40,0	6,50	1,00	2,50	11,0	4,68	sd
República Checa-Sumava Mts. ^b	7,60	32,7	34,3	sd	37,2	8,50	2,30	1,04	4,30	4,23	sd
Polônia ^b	19,1	32,1	44,2	sd	sd	32,1	41,0	9,50	14,6	4,53	sd
Grécia-Patras ^b	114	19,4	23,1	sd	16,3	49,3	6,60	15,2	90,2	5,16	sd
Itália-Sardenia ^b	322	29,0	45,0	sd	25,0	35,0	17,0	38,5	252	5,18	sd
Oceania											
Austrália-Barrington ^a	sd	7,30	sd	3,30	7,10	5,10	1,80	0,90	19,0	sd	1,60
África											
África-Mayombé Forest Equatorial ^a	sd	8,60	sd	5,30	sd	4,60	2,00	sd	11,1	sd	18,1

sd = sem dados dessa espécie na referência citada

^a Fornaro *et al.* (2003)

^b Huang *et al.* (2008)

^c Al-Khashman (2005)

2.5 DEPOSIÇÃO ÁCIDA E IMPACTOS ASSOCIADOS

As atividades humanas, desenvolvidas de forma não sustentável, têm provocado cada vez mais impactos ambientais significativos ao meio ambiente e conseqüentemente à saúde humana. As emissões gasosas oriundas de fontes antropogênicas e naturais têm contribuído para a formação de outros poluentes, através das diversas interações na atmosfera. Em função das propriedades químicas e físicas dos poluentes e da possibilidade deles serem transportados a longas distâncias, eles podem provocar degradações em regiões localizadas distantes de onde eles foram emitidos.

A deposição úmida com características ácidas, mais comumente conhecidas como chuva ácida, pode provocar efeitos ao meio ambiente e saúde humana, significando a ocorrência de impactos ambientais. Esses últimos podem se apresentar em diversos graus, podendo (até mesmo) gerar passivos tão complexos, onde seja mais difícil a recuperação de todo o ecossistema degradado.

Alguns impactos têm sido identificados como parte dessas degradações, principalmente nos ambientes aquáticos, no solo, na vegetação, nos materiais e na saúde humana. Em lagos ocorre uma transformação na estrutura trófica, levando ao desenvolvimento de efeitos mortais para as comunidades mais sensíveis em função do aumento na acidez das águas e a liberação de metais pesados para o meio. O declínio de florestas e os danos causados à agricultura ocorrem a partir da lixiviação de nutrientes do solo e do aumento de metais tóxicos na vegetação. Os danos nos materiais têm sido observados através da deterioração nas partes expostas à chuva ácida; onde ocorrem processos corrosivos provocados por trocas iônicas nas superfícies do calcário (mármore, entre outros) e outros danos por reações diversas em papéis, pinturas, tecidos (entre outros).

Historicamente, segundo PNUMA (1995, *apud* Figuerêdo, 1996, p.28), o programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente afirmou existir a suspeita da chuva ácida ser responsável por riscos indiretos por metais pesados como chumbo, cobre, zinco, cádmio e mercúrio. Esses metais se tornam disponíveis para o meio a partir do

aumento da acidez das águas; e quando solubilizados podem atingir os recursos hídricos (águas subterrâneas, rios e lagos) utilizados para prover água potável, sendo introduzidos nas cadeias alimentares que chegam ao homem.

Apesar da existência de vários estudos ainda existe uma carência relativamente grande em relação avaliações de impactos. No Brasil, por exemplo, as pesquisas realizadas sobre avaliação da composição química das águas de chuvas não associam, na sua maior parte, a avaliação de impactos.

Estudos têm sido desenvolvidos para avaliar os efeitos da chuva ácida em várias regiões da Europa, Ásia e América do Norte. Grande parte dessas pesquisas utiliza importantes ferramentas matemáticas como a modelagem. O uso de modelos auxilia na projeção de cenários para décadas seguintes, contemplando a fotoquímica e considerando, quando possível, o inventário de emissões entre fronteiras. A exemplo de trabalhos desenvolvidos no Canadá, Estados Unidos, Holanda, Alemanha, Áustria, Inglaterra, Grécia, Espanha, Noruega, China, Japão, Índia, etc. Outra estratégia que tem sido muito utilizada é a disposição espacial e temporal das informações ambientais encontradas nos monitoramentos através do GIS (Geographic Information System). A geomática ambiental é de extrema importância em todas as áreas do conhecimento, e principalmente como aplicação de resultados de pesquisas relacionados à poluição e identificação de impactos e demarcação de áreas degradadas.

A agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) tem desenvolvido estudos para avaliar os efeitos da poluição atmosférica em ecossistemas impactados com emissões antropogênicas. De acordo com EPA (2000), o programa de monitoramento da baía Chesapeake identificou a eutrofização como o fenômeno mais problemático que tem afetado a saúde do sistema de baías, afetando, também, outros estuários importantes. A deposição atmosférica de compostos de nitrogênio nos estuários e suas bacias hidrográficas contabilizou contribuição significativa em relação à concentração total de nitrogênio.

No Brasil, a resolução CONAMA Nº 001 de 23/01/86 definiu impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam:

- a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- as atividades sociais e econômicas;
- a biota;
- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- e a qualidade dos recursos ambientais.

Considerando que as características ácidas da precipitação podem provocar, em uma determinada localidade, impactos ambientais significativos ao meio ambiente e saúde humana, acredita-se que a gestão ambiental integrada poderá auxiliar no monitoramento e avaliação das informações através do uso de modelagem matemática e sistemas de georeferenciamento (software GIS). Em paralelo, ratifica-se a necessidade de utilização de técnicas/tecnologias de prevenção à poluição. Estas últimas não só contribuem para reduzir os poluentes nas suas fontes geradoras; como, também, para uso de planejamento estratégico ambiental com implementação de metas de redução de poluição a curtos e longos prazos. Vale ressaltar que o principal objetivo da utilização de iniciativas de prevenção à poluição é de minimizar/eliminar impactos ambientais associados aos processos (e produtos); contribuindo, assim, diretamente para a conservação de recursos naturais.

A poluição atmosférica e os poluentes secundários oriundos das diversas reações ocorridas, em fase gasosa e particulada, e fatores meteorológicos definem os graus de impacto ambiental que um determinado ecossistema está submetido. As características da precipitação úmida e seca são função dessas condições, que devem ser avaliadas (quando possível) de forma integrada.

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas em vários países da Europa, nos Estados Unidos e Canadá para avaliação de impactos provocados pela precipitação ácida em zonas rurais e urbanas. Atualmente, além da avaliação *in loco*, estão sendo simulados os efeitos da precipitação úmida através de câmaras para formação de chuvas com perfis diferenciados.

Como foi comentado anteriormente, a modelagem matemática tem sido amplamente utilizada como ferramenta estratégica em escala preventiva para avaliar as tendências de ocorrência impactos.

O uso de um modelo matemático fotoquímico auxilia na compreensão do alcance das plumas de concentração dos poluentes com projeções de cenários futuros. Um bom exemplo dessa técnica aplicada por instituições em países como Estados Unidos e Canadá, é o modelo denominado STEM (Sulfur Transport and Deposition Model). Esse modelo fotoquímico é uma ferramenta matemática desenvolvida para simular a dispersão de poluentes, considerando as suas reações na atmosfera. A exemplo do SO_2 e NO_2 , conhecendo-se o processo de transformação para H_2SO_4 e HNO_3 (respectivamente) na atmosfera de locais mais afastados daqueles onde os poluentes primários são (continuamente) monitorados.

Atualmente, o uso freqüente de modelos fotoquímicos e as respostas obtidas estão cada vez mais próximas da realidade. O modelo MAGIC (Model of Acidification of Groundwater in Catchments) tem sido aplicado para estimar os danos que a acidificação de lagos e rios a partir do impacto da deposição de compostos de enxofre (principalmente SO_2) em áreas nos Estados Unidos e Canadá.

Os estudos para avaliação de impactos poderão ser realizados a partir da delimitação da área de estudo e levantamento de informações geográficas sobre vegetação, topografia, recursos hídricos (entre outros) necessários para caracterização do local. Outras informações como a localização das fontes, possíveis inventários dos principais

poluentes, levantamento de dados meteorológicos e estabelecimento do domínio do modelo irão auxiliar no estudo.

Observa-se que, em geral, a integração e disposição espacial das informações ambientais estão sendo realizadas através de geoprocessamento, sendo possível localizar geograficamente as zonas de impactos e associar resultados de monitoramento dentro de um cenário espacial.

As informações disponibilizadas em EPA (2001) apresentam resultados sobre efeitos da chuva ácida observados em algumas regiões dos Estados Unidos. Historicamente, em 1990, foi estabelecido um programa para controle da deposição ácida (The Acid Deposition Control Program). Esse programa foi incluído como parte IV (Title IV) nas emendas das ações do ar limpo (Clean Air Act Amendments). O conteúdo descrito no item Title IV diz respeito à redução nas emissões anuais de óxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x), ambos precursores da chuva ácida. As emissões desses componentes reduziram muito ao longo das fases I e II do Programa de Chuva Ácida, resultando em benefícios ambientais significativos para o meio ambiente e saúde humana.

A fase I teve início em 1995 para o SO_2 e em 1996 para NO_x . Em 2000 foi iniciada a fase II do programa, tanto para SO_2 quanto para NO_x , com a meta estabelecida para redução desses poluentes em mais de 2000 unidades localizadas em todo o país.

Como a deposição e o transporte atmosférico são processos complexos, não existe uma relação tão linear entre a redução das emissões de poluentes (como óxidos de enxofre e nitrogênio) e a minimização da deposição ácida.

As avaliações precisam ser mantidas mesmo após ser verificada uma redução significativa nessas emissões, pois existe um tempo necessário como resposta do ecossistema avaliado para o novo cenário. E a depender do impacto ocorrido, esse sistema pode levar muitos anos para retornar às condições anteriores ao dano. Muitas

vezes é necessário, quando da ocorrência de impactos mais significativos, a intervenção do homem para auxiliar nessa recomposição. Isso é observado, principalmente nos sistemas aquáticos e em solos.

Segundo EPA (2000), uma interpretação preliminar de monitoramento regional (CASTNet e NOAA – AIRMoN) indicou que as reduções (de acordo com Title IV) têm causado um efeito positivo na redução dos níveis de concentração de SO₂. Uma análise dos dados encontrados para a deposição úmida (MADP) demonstra que as reduções observadas na fase I resultaram em um decréscimo na acidez da precipitação e também na concentração de sulfatos (SO₄²⁻) na deposição em regiões nos Estados Unidos.

Uma avaliação ecológica precisa ser conduzida de forma planejada, organizada e com um nível de detalhes suficiente e utilizar dados e informações representativos e o mais próximo da realidade local. O processo de avaliação de impactos ambientais é complexo e requer a integração de todos os resultados de monitoramento e informações ambientais relevantes para o entendimento do nível da degradação de forma local e global (quando necessário).

A EPA elaborou um manual contendo algumas diretrizes para auxiliar no estabelecimento do escopo do processo de avaliação ecológica. Segundo EPA (2001), as etapas são:

a) identificar as questões-chave da avaliação para uma área selecionada. Isso significa definir o problema e as variáveis envolvidas na investigação, delimitando os objetivos do estudo (exemplo: Está ocorrendo impactos em rios e lagos, pela deposição ácida?);

b) coletar e sintetizar dados e informações relevantes relacionados ao problema que será investigado, tais como: composição química das águas, dados sobre árvores avaliadas, etc.;

c) identificar ferramentas matemáticas disponíveis para tratamento dos dados e informações (exemplo: softwares para análise estatística de resultados e modelos matemáticos);

d) integrar e avaliar os dados e informações ambientais de forma apropriada para atender às questões investigadas no problema;

e) comunicar os resultados para as partes interessadas: órgãos ambientais competentes; comunidade científica; representante das indústrias e instituições ambientalistas e o público em geral.

Acredita-se que essas diretrizes irão auxiliar na organização e planejamento das etapas de qualquer avaliação ecológica para identificar impactos ambientais.

Existem, também, vários outros aspectos que devem ser considerados nessa reflexão. Um deles diz respeito ao tempo de resposta dos ecossistemas (já comentado em parágrafos anteriores) quando submetidos a certo nível de impacto. O tempo de resposta pode variar de horas até mesmo séculos. Existem correlações entre parâmetros que já são entendidas de maneira mais clara, como é o caso das emissões gasosas e a deposição ácida. No entanto, quando se trata de fatores biológicos, o sistema já se torna ainda mais complexo para entendimento.

A figura 13, descrita a seguir, sugere uma interpretação de vários tempos de resposta para o meio, dividido em partes.

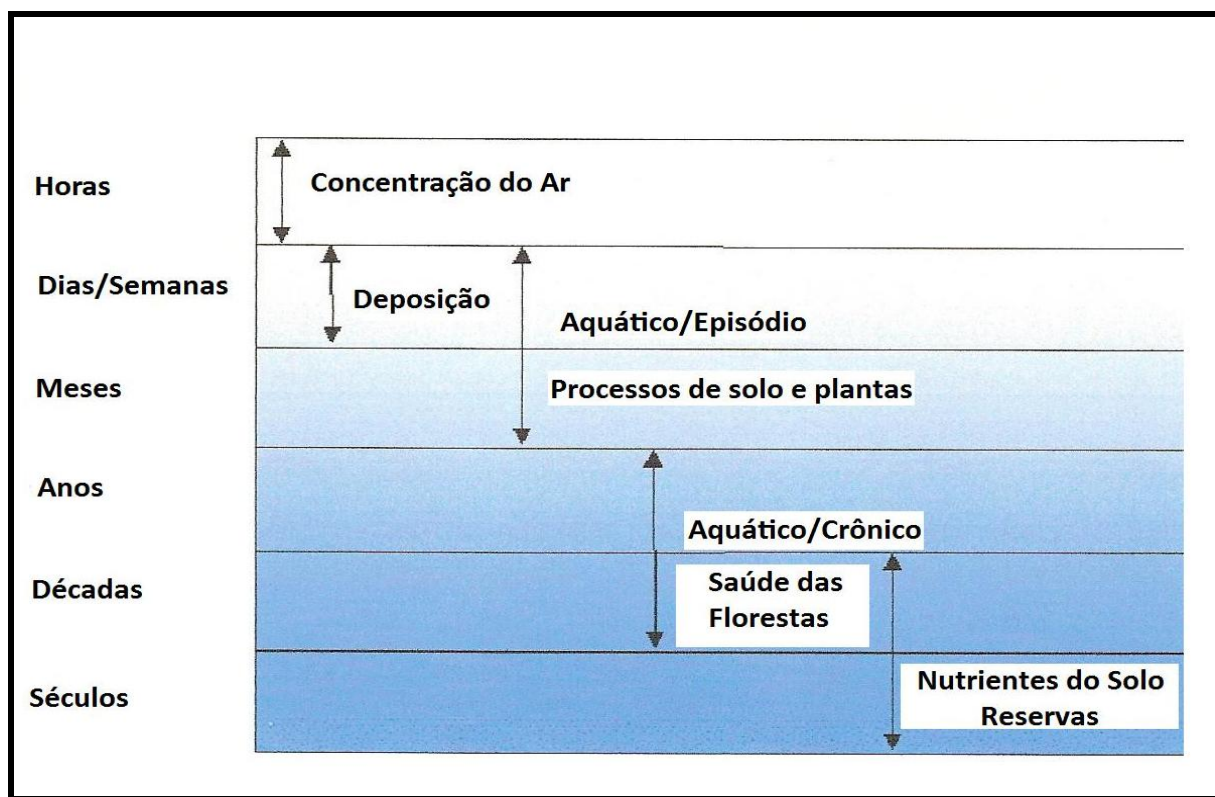


Figura 13: Tempos de resposta de ecossistemas a partir de mudanças nas emissões.

Fonte: Adaptado de EPA (2001).

Os efeitos das chuvas ácidas observados em lagos e rios através das mudanças nas características das águas podem afetar de tal forma os organismos (e as cadeias alimentares associadas), provocando a morte de peixes e outras espécies pertencentes ao ecossistema impactado.

O controle da formação da chuva ácida, principalmente, através da redução de emissões de SO_2 e NO_x é extremamente necessário agora e (especialmente) para as próximas décadas em todo o planeta. Em geral, as projeções feitas através de modelos matemáticos utilizam escalas que variam entre 10 a 50 anos. Nesse caso, essa projeção de cenários auxiliará na estimativa das cargas que precisam ser reduzidas para evitar impactos futuros. Esses impactos poderão atuar de forma acumulativa em função da não recuperação da área em relação às mudanças de suas características iniciais (EPA, 2001).

Os meios aquáticos são corpos receptores que agregam as contribuições ácidas, afetando diretamente a vida dos organismos. A chuva ácida provoca efeitos que alteram a biodiversidade local. Isso fica claro quando se verifica a morte de determinados tipos de peixes pela mudança de pH para valores mais ácidos na escala. E dentro da cadeia alimentar, essas espécies não estariam mais disponíveis (como antes) para servir de alimento para outros organismos. A redução do pH também facilita a disponibilização de determinadas espécies (como metais) presentes nos sedimentos (que anteriormente não se encontravam disponíveis para o meio). Pode ser o caso do alumínio, onde o aumento da concentração desse metal na água pode causar um nível de *stress* elevado e afetar o desenvolvimento de peixes, provocando mudanças na seqüência alimentar do *habitat*.

Alguns tipos de plantas e animais conseguem tolerar águas ácidas. Entretanto, existem outras espécies que são mais sensíveis às alterações de pH. A figura 14 ilustra parte do que foi explicado anteriormente, considerando o meio aquático e a tolerância de alguns organismos à alteração de faixa de pH.

	pH 6.5	pH 6.0	pH 5.5	pH 5.0	pH 4.5	pH 4.0
Truta	OK	OK	OK	OK	NO	NO
Peixe Bass	OK	OK	OK	NO	NO	NO
Peixe Perch	OK	OK	OK	OK	OK	NO
Sapos	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Salamandras	OK	OK	OK	OK	NO	NO
Moluscos	OK	OK	NO	NO	NO	NO
Camarão	OK	OK	OK	NO	NO	NO
Lesma	OK	OK	NO	NO	NO	NO
Insetos	OK	OK	OK	NO	NO	NO
Efemérida	OK	OK	OK	NO	NO	NO

Figura 14: Tolerância de organismos à variação de pH em meios aquáticos.

Fonte: Adaptado de EPA (2006).

Segundo EPA (2006), os ovos de muitos peixes não eclodem para nascimento de novas espécies em pH 5,0. Em níveis de pH menores do que 5,0, alguns peixes adultos morrem. Nem todos os peixes, moluscos, ou os insetos que eles comem, podem tolerar a mesma carga ácida. Já os sapos podem tolerar águas mais ácidas do que as trutas. No entanto, os sapos comem insetos neuropteróides (efemérida) que possuem uma resistência bem inferior (toleram pH até 5,5). Isso significa uma ameaça ao suprimento alimentar dos sapos, com o desaparecimento de parte dos insetos que eles precisam para sobreviver.

Em função da relação de interdependência entre as espécies animais e vegetais que coexistem no mesmo sistema, as mudanças no pH e dos níveis de metais e/ou outras alterações físico-químicas (como quantidade de oxigênio dissolvido, entre outros) poderão afetar a biodiversidade e alterar a forma de sobrevivência com redução do número de espécies no meio aquático.

Após muitas pesquisas, ficou comprovado que a chuva ácida também pode causar uma redução no crescimento, danos e morte de florestas. Ela tem provocado a degradação de florestas e solos em muitas áreas do oeste dos Estados Unidos, principalmente, nas florestas mais altas nas montanhas Appalachian, de Maine até a Geórgia, que incluem áreas de montanhas dos parques nacionais do Great Smoky e Shenandoah. É claro que a chuva ácida não é a única causa dessas situações. Outros fatores contribuem para o *stress* total dessas áreas, incluindo poluição atmosférica, insetos, doenças, seca, ou climas muito frios. Na maioria dos casos, realmente, os impactos são efeitos combinados da chuva ácida e outros fatores que provocam *stress* ambiental (EPA, 2006).

O enfraquecimento das árvores, e até mesmo a morte, ocorre de forma indireta através de danos nas folhas (limitando a disponibilização de nutrientes) e através da contaminação por componentes tóxicos (como metais pesados) que são capturados do solo através das trocas que ocorrem nas raízes. Esse processo de degradação ocorre

em um determinado tempo e é função de outros fatores como as condições meteorológicas e outras contribuições atmosféricas.

Outros efeitos das chuvas ácidas estão relacionados aos materiais, nos quais ocorrem corrosão de metais (como bronze) e deterioração de pinturas e rochas (como mármore e calcário). Verifica-se no teto de construções antigas na Alemanha, por exemplo, a evidência da ação da chuva ácida em função do incremento das atividades industriais após a II guerra mundial. Pode-se citar, como outro exemplo ilustrativo, a degradação de alguns pontos da estrutura metálica da estátua da liberdade em Nova Iorque, nos Estados Unidos, no século passado (década de 80).

2.5.1 IMPACTOS NO BRASIL E OUTRAS PARTES DO MUNDO

O monitoramento e avaliação das características da deposição úmida já vêm sendo conduzidos há décadas pelos governos de países da Europa e América do Norte. Na Alemanha, Estados Unidos e Canadá as redes de monitoramento de poluentes e parâmetros meteorológicos, localizadas em pontos estratégicos de algumas cidades, realizam a avaliação temporal e espacial de parâmetros. De forma geral, são avaliadas as características inorgânicas e orgânicas de águas de chuva e a extensão de plumas de poluentes gasosos.

Com o crescimento populacional e o aumento de atividades industriais em grandes centros urbanos, países como a China e Japão passaram também a desenvolver estudos para monitoramento e avaliação de impactos da ocorrência de precipitação úmida (incluindo aquelas classificadas como ácidas). Conseqüentemente, houve a implantação de tecnologias para maior controle e abatimento das emissões de SO_2 e NO_x das chaminés das indústrias e descarga de veículos. Atualmente, muitas pesquisas contemplam a sistemática de monitoramento e integração de informações ambientais associados à avaliação de degradação de uma determinada área. Essa

estratégia contribui com informações que servem de base para o estabelecimento de metas de redução das emissões de poluentes em prazos determinados.

Os impactos provocados pela precipitação ácida em uma determinada região são função da carga total de poluentes emitidos (e possíveis interações na atmosfera), das condições meteorológicas e da topografia do local.

Assim, as questões ambientais não podem ser caracterizadas sem considerar a disposição geográfica e o alcance dos poluentes (e as transformações ocorridas) ao longo do tempo. Um exemplo seria a avaliação das massas de ar poluídas na Escandinávia, que são conduzidas por ventos, predominantes de sudoeste, que cruzam a Europa. Segundo Brodin e Kuylenstierna (1992, *apud* Figuerêdo, 1996, p. 31), estudos paleoecológicos de sedimentos de lagos realizados na Escandinávia, envolvendo restos de diatomáceas, crustáceos, insetos e fuligem, comprovaram consideráveis modificações nos ecossistemas aquáticos do sul da Noruega e sudoeste da Suécia no início do século XX atribuídas à deposição ácida. No período de 1915 a 1950, medições realizadas em lagos do sul da Escandinávia demonstraram uma perda progressiva da alcalinidade destas águas.

Os problemas ambientais, nas mais variadas dimensões, devem ser considerados local e globalmente. É sob essa ótica que os estudos em outras partes do mundo esclarecem o comportamento de muitos poluentes na atmosfera, que estão provocando (ou poderão fazê-lo) diversas formas de degradação.

Xue e Scnoor (1994, *apud* Larssen, 1999, p.17) publicaram resultados de uma pesquisa realizada em 16 rios e lagos localizados no sudeste da China, onde todas as amostras de águas analisadas possuíam valores de pH acima de 6,5 e concentração de cátions acima de 300 $\mu\text{eq L}^{-1}$. A causa desses resultados estaria vinculada à considerável neutralização ácida dos solos e a alta deposição de poeira com componentes alcalinos encontrada na região sudeste da China.

Nos Estados Unidos muitos estudos têm sido desenvolvidos pela Agência de Proteção Ambiental. Muitos lagos e rios avaliados pelo Programa Nacional de Inspeção de Águas Superficiais (NSWS) sofrem de acidez crônica, condição onde o pH possui nível baixo constantemente. A avaliação investigou os efeitos da deposição ácida em mais de 1.000 lagos com extensão maior do que 10 acres e milhares de milhas de rios, que acredita-se que sejam sensíveis à acidificação. Dos rios e lagos avaliados, a chuva ácida provocou a acidez em 75% dos lagos e 50% dos rios. Várias regiões dos Estados Unidos foram identificadas por possuir muitas águas superficiais sensíveis à acidificação. Foram incluídas as montanhas Adirondacks e Castkill no estado de Nova Iorque; as montanhas Appalachian na costa leste; a parte superior da Midwest e as áreas montanhosas da região oeste dos Estados Unidos. Na área nordeste dos Estados Unidos, em que a capacidade de tamponamento do solo é pobre, alguns lagos possuem agora um valor de pH abaixo de 5,0. Um dos lagos mais ácidos já reportados é o Little Echo Pond em Franklin, Nova Iorque, com pH igual a 4,2 (EPA, 2006).

A composição do solo é um dos fatores que determinam o impacto das chuvas ácidas em uma determinada área. Os locais mais impactados são aqueles onde a formação do solo é composta de granito ou quartzo, pois os componentes principais desses materiais possuem uma capacidade limitada de neutralização de ácidos. No entanto, solos contendo carbonato de cálcio podem neutralizar muito mais a acidez.

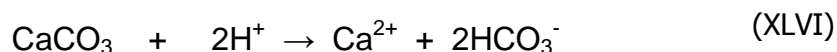
As emissões oriundas dos Estados Unidos também têm contribuído para provocar a deposição ácida no Canadá (lado leste do país). As características do solo daquela região são muito similares às aquelas encontradas no solo das montanhas Adirondack, onde os lagos são muito vulneráveis a problemas crônicos de acidificação. Segundo EPA (2006), o governo do Canadá estimou que 14.000 lagos nessa região foram considerados ácidos.

Larssen *et al.* (1999) explicam que as mudanças no solo de áreas na China causadas pela acidificação são efeitos de longo prazo provocados pela chuva ácida. Uma comparação entre resultados de análise de amostras de solo conduzida há 30 anos

com dados recentes de várias estações no sul da China comprovou que o pH do solo havia decrescido consideravelmente entre 0,1 e 1,0 unidades (Dai *et al.*, 1997; Pan, 1992 *apud* Larssen, 1999, p.16). Esses resultados sugerem claramente que a acidificação do solo pode se tornar um problema sério na China. No entanto, a precipitação ácida não é a única causa possível para acidificação do solo. Outros fatores como mudanças no tipo de vegetação e no próprio ecossistema podem provocar efeitos similares.

Vale à pena, ainda, ressaltar os efeitos que a chuva ácida pode provocar nos materiais. Segundo Martins e Andrade (2002), os prejuízos da chuva ácida incluem o ataque a diversos materiais de construção (aços, tintas, plásticos, cimentos e vários tipos de pedras). E, também, a degradação de monumentos históricos como: Taj Mahal (Índia), as obras da civilização Maya (México), o Coliseu (Roma), etc.

Outros estudos foram realizados para avaliar os efeitos da deposição ácida em materiais e, especialmente, em monumentos históricos no México. Bravo *et al.* (2006) estudaram a influência das chuvas ácidas na zona arqueológica do El Tajin localizada na Papantla de Orlate no Município de Vera Cruz. Foram coletadas amostras sólidas do El Tajin e esse material (basicamente composto de calcário, e com ~ 77,1 % de CaCO₃) foi submetido a episódios de chuvas ácidas simulados em câmaras experimentais. As amostras foram irrigadas com chuva simulada a partir do perfil da composição físico-química de 40 amostras coletadas na mesma região no período de agosto/2002 a abril/2003. Alguns parâmetros foram analisados nos efluentes oriundos da câmara: pH; condutividade; cátions (Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺) e ânions (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ e HCO₃⁻). As análises revelaram a presença de íons carbonato e bicarbonato, indicando a dissolução do calcário a partir da reação do carbonato de cálcio com o ácido nítrico. O mecanismo proposto seria:



Segundo Leet e Judson (1984, *apud* Bravo *et al.*, 2006, p.659), esse mecanismo tem sido identificado em outros estudos de dissolução do calcário. A chuva ácida é neutralizada pelo carbonato de cálcio e valores de pH sofrem uma elevação de 4,4 para próximo de 8,0. Nesses valores de pH, a contribuição do íon bicarbonato é muito importante para manter o balanço iônico da solução. Assim, o estudo tornou claro que existe a possibilidade de degradação de monumentos históricos no México a partir da simulação de ocorrência de episódios de chuva ácida.

Uma avaliação de impacto é conduzida, na grande maioria das vezes, a partir da análise das informações de monitoramento ambiental. Em alguns casos, esses estudos ocorrem em paralelo. A avaliação de impactos é um processo complexo e requer investimentos elevados e equipe interdisciplinar especializada.

Em outras partes do mundo, algumas pesquisas iniciaram a partir da caracterização das chuvas e, em seguida, iniciaram a avaliação de impactos em áreas onde a situação foi considerada mais crítica. Dentro das prioridades estabelecidas por cada país, esses estudos complementares foram iniciados em tempos diferenciados. Acredita-se que o avanço na legislação ambiental e a priorização das questões ambientais, com foco local e global, fizeram com que essas avaliações ocorressem.

Nos últimos anos, tem se verificado também uma relação direta entre danos à vegetação e precipitação ácida. O fenômeno de destruição de florestas foi observado pela primeira vez, em larga escala, na Alemanha. Florestas de altitudes elevadas são as mais afetadas pela precipitação ácida, provavelmente, por estarem mais expostas à nuvens baixas, onde a acidez é alta (Martins e Andrade, 2002). Estudos realizados em São Paulo revelam que as contribuições de massas de ar oriundas do Complexo Industrial de Cubatão têm causado impactos na cobertura vegetal da Serra do Mar (Domingos *et al.*, 1998 *apud* Mello, 2001, p.235; Domingos *et al.*, 1995).

Quando se avalia o efeito da chuva ácida à saúde humana, menciona-se sempre a avaliação das concentrações dos principais poluentes precursores (SO₂ e NO_x).

Existem limites estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (WHO) que são utilizados como diretrizes para a Europa para alguns poluentes (valores de média para períodos de tempo determinado). Segundo WHO (1995 *apud* Larssen, 1999, p.18), esses limites para médias anuais de SO₂ e NO₂ são: 50 µg m⁻³ e 40-50 µg m⁻³ (respectivamente). De acordo com Larssen (1999) os valores de média anual para SO₂ em vários locais na China foram excedidos em até 8 vezes o valor estabelecido pela WHO. A correlação entre concentrações de SO₂ e problemas de saúde e mortes não está clara. Wells e colaboradores (1994 *apud* Larssen, 1999, p.18) encontraram uma alta correlação entre SO₂ e mortes em Beijing e Shenyang.

No Brasil existe uma carência no que diz respeito ao desenvolvimento de estudos sobre avaliação de impactos ambientais e, principalmente, daqueles associados à ocorrência de chuvas ácidas nas diversas regiões do país.

3. METODOLOGIA APLICADA AOS ESTUDOS

Os estudos de monitoramento de chuva (deposição apenas úmida) e de ácidos fortes, amônia e seus sais foram realizados em três estações da Rede de Monitoramento do Ar (RMA) da Cetrel dispostas na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari. As análises das amostras de chuva e do material gasoso e particulado $< 2 \mu\text{m}$ foram realizadas no LAQUAM por cromatografia iônica (Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-}), espectrofotometria (NH_4^+) e fotometria de chama (Na^+). No laboratório da Cetrel foram realizadas as análises por ICP-OES (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), além das medidas contínuas de SO_2 e NO_2 realizadas simultaneamente nas próprias estações da Cetrel

Os parágrafos, dispostos a seguir, apresentam a metodologia amostral e analítica aplicada aos estudos realizados no período de 2006 a 2008.

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ESTRATÉGIA AMOSTRAL

Os pontos amostrais estabelecidos para o estudo estão inseridos dentro da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari, onde foram selecionadas 3 estações da RMA da Cetrel. Esta é composta por 10 estações localizadas no entorno do Pólo Industrial de Camaçari. A localização dessas estações foi estabelecida através de estudos de dispersão atmosférica com uso de modelagem matemática, específica para os parâmetros monitorados nessas estações. A cada 3 anos um novo estudo é conduzido para reavaliação da localização dessas estações, em função das mudanças ocorridas no contexto do cenário local (principalmente em relação à implantação de novas empresas e alterações detectadas na climatologia local).

Apesar do monitoramento da qualidade do ar na área de influência do Pólo (AIP) estar sendo realizado continuamente há 16 anos, existe a necessidade de investigação de outras espécies não monitoradas e seguramente emitidas e/ou formadas na atmosfera da região. O monitoramento contínuo de parâmetros meteorológicos é realizado em micro escala espacial e temporal nas estações da RMA da Cetrel. O sistema de

comunicação *on line* permite o acompanhamento sem interrupções dos parâmetros monitorados em cada local específico nas áreas localizadas no entorno do Pólo Industrial de Camaçari.

Para esse estudo foi realizado o monitoramento da chuva (deposição apenas úmida) e material gasoso/particulado (ácidos fortes, amônia e seus sais) em 3 estações localizadas nos municípios de Camaçari, Lamarão do Passé e Dias D'Ávila. Essa escolha foi baseada na avaliação dos dados de monitoramento e de outras informações constantes nos relatórios da Cetrel e outros estudos realizados na região (a exemplo daqueles realizados por: Campos, 1995; Couto, 1996).

O Pólo Industrial de Camaçari é caracterizado por ser quase plano, com poucas e suaves elevações. A Figura 15, disposta a seguir, apresenta a topografia da AIP e seu entorno, onde se evidenciam as colinas mais elevadas a noroeste e ao norte, em oposição ao litoral ao sul, sudeste e leste. Esta disposição fisiográfica é um dos fatores condicionantes do escoamento dos ventos na AIP.

A brisa noturna, oriunda dos ventos que descem as colinas mais frias durante a noite e madrugada, interage com os ventos alísios produzindo uma convergência no ar que explica a maior frequência de nuvens e precipitação leve pela manhã, o que é uma característica da região. Durante a tarde e início da noite, os ventos alísios se juntam aos ventos ascendentes nas encostas das colinas, fluindo para o interior.

Os principais fatores que controlam o clima na AIP são a localização na faixa tropical da América do Sul, a proximidade do oceano Atlântico (cujas águas são relativamente quentes ao longo do ano todo), a ação permanente do sistema de alta pressão subtropical do Atlântico Sul e a ação permanente dos ventos alísios.

A localização da AIP na faixa tropical, na latitude 12,7°S, e próximo ao litoral do Oceano Atlântico Sul faz com que a temperatura sofra poucas oscilações, tanto na escala diária quanto na escala anual (Cetrel, 2009).

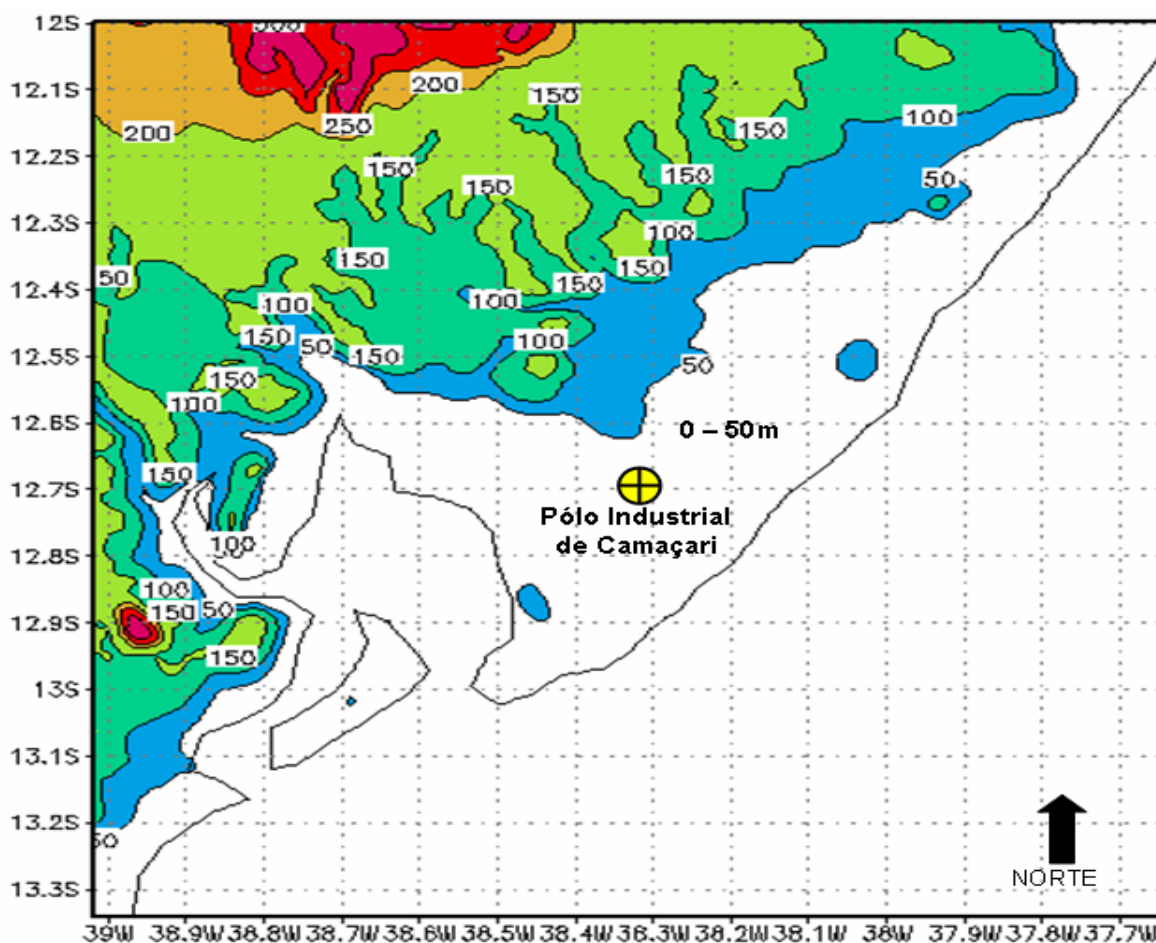


Figura 15: Topografia da Área de Influência do Pólo e seu entorno.

Fonte: Cetrel (2009).

A região da AIP está localizada em uma posição intermediária entre o oceano, onde a umidade oscila muito pouco, e o setor continental do Nordeste Brasileiro, onde a umidade relativa é baixa nos meses do início e do final de cada ano, em janeiro e outubro, e aumenta no período das chuvas (abril e julho).

Outra característica relevante do clima na região da AIP é a persistência dos ventos alísios que podem soprar de nordeste, de leste ou de sudeste, e representam um fator controlador importante para os ventos locais ou ventos de mesoescala.

A Figura 16, disposta a seguir, apresenta a climatologia dos ventos nos meses de janeiro, abril, julho e outubro a cada ano.

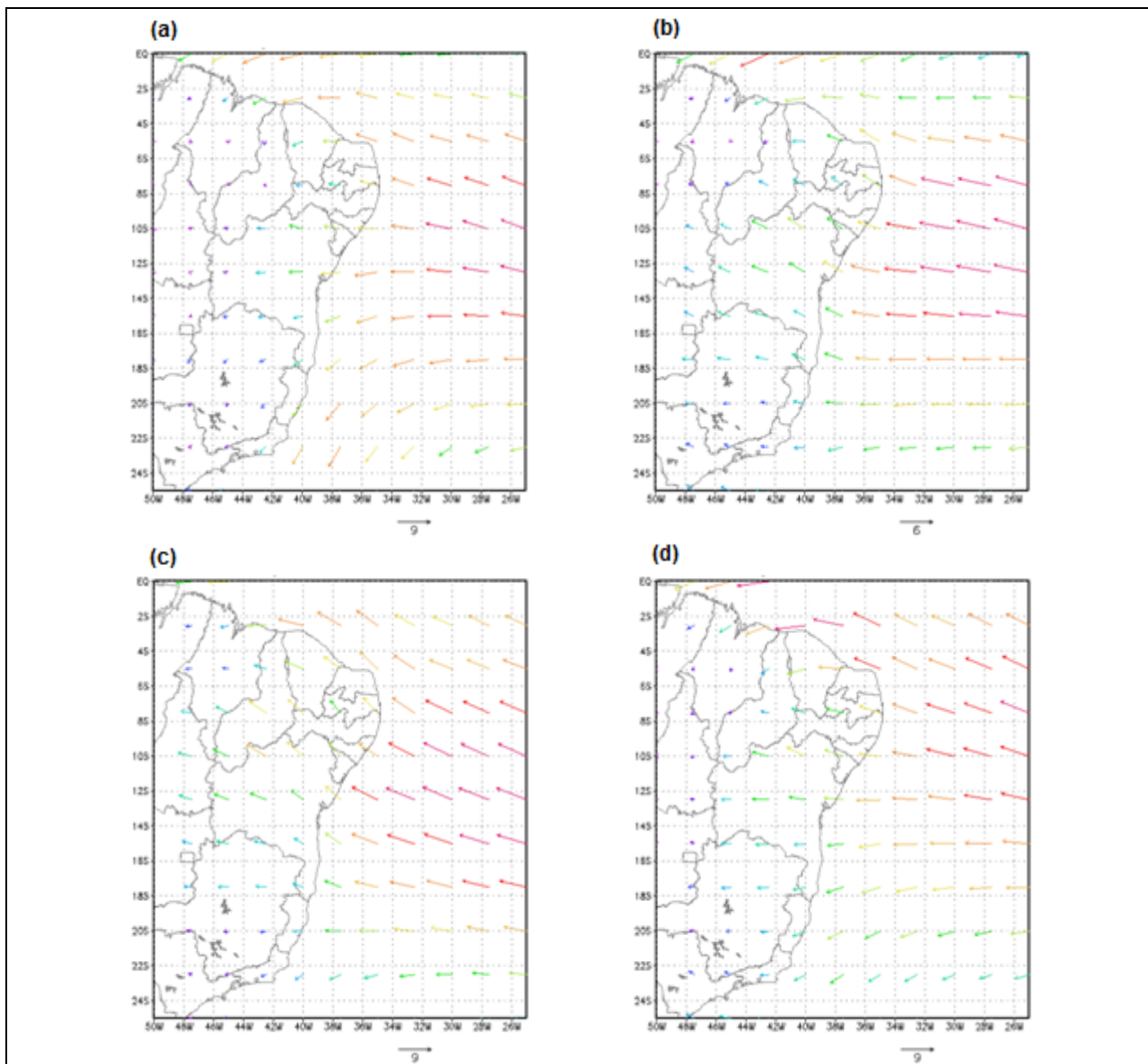


Figura 16: Climatologia dos ventos próximos à superfície (média de 30 anos) em: a) janeiro; b) abril; c) julho; d) outubro.

Fonte: Cetrel (2009).

Observa-se que no litoral da Bahia os ventos próximos à superfície tendem a soprar de nordeste (NE) em janeiro, de leste (E) em abril, de sudeste (SE) em julho e reduzindo em intensidade. Em outubro os ventos voltam a soprar de leste (E), reduzindo ainda mais a sua intensidade. Conforme comprova a análise do comportamento dos ventos

na AIP, a circulação de grande escala se impõe à circulação de mesoescala, que por sua vez força o comportamento dos ventos predominantes na AIP. As variações nos comportamentos padrões dos ventos ficam por conta dos processos atmosféricos de mesoescala e de eventuais frentes frias que cheguem à região. Antes mesmo de uma análise detalhada do comportamento em mesoescala, já é possível, conhecendo esses padrões, se ter uma idéia geral do comportamento da circulação atmosférica da região (Cetrel, 2009).

Os fatores determinantes ou fatores de controle sobre o comportamento atmosférico em mesoescala na região de Camaçari são exercidos pela topografia e pela proximidade do mar. Embora a topografia da região seja suave, há a ocorrência de cotas mais altas a algumas dezenas de quilômetros da costa, e estas vertentes tendem a formar circulações do ar que variam segundo o ciclo diurno. Outro importante fator de controle na mesoescala é representado pelas brisas típicas da faixa litorânea, que também variam ao longo do dia. Estas circulações do vento em mesoescala interagem com os ventos alísios da grande escala, resultando então no comportamento observado na região (Cetrel, 2009).

Conhecendo-se a localização de cada estação em relação ao Pólo Industrial de Camaçari, é possível inferir a partir da avaliação da rosa de ventos (que indica as frequências de ocorrência do vento em cada direção bem como sua velocidade), quais as condições favoráveis ou não para a emissão de poluentes nas áreas no entorno do Pólo. Os ventos que sopram das direções compreendidas entre Nordeste (NE) e Noroeste (NW) são os responsáveis pelo transporte de espécies emitidas do Pólo para a área urbana de Camaçari.

A qualidade do ar nas comunidades de Dias d'Ávila e Nova Dias d'Ávila são mais afetadas quando os ventos sopram de Sul (S) e de Sudoeste (SW). As comunidades de Leandrino e Lamarão são afetadas quando o vento é de Sudeste (SE).

A figura 17, disposta a seguir, apresenta a localização da área amostral e as estações utilizadas para monitoramento.

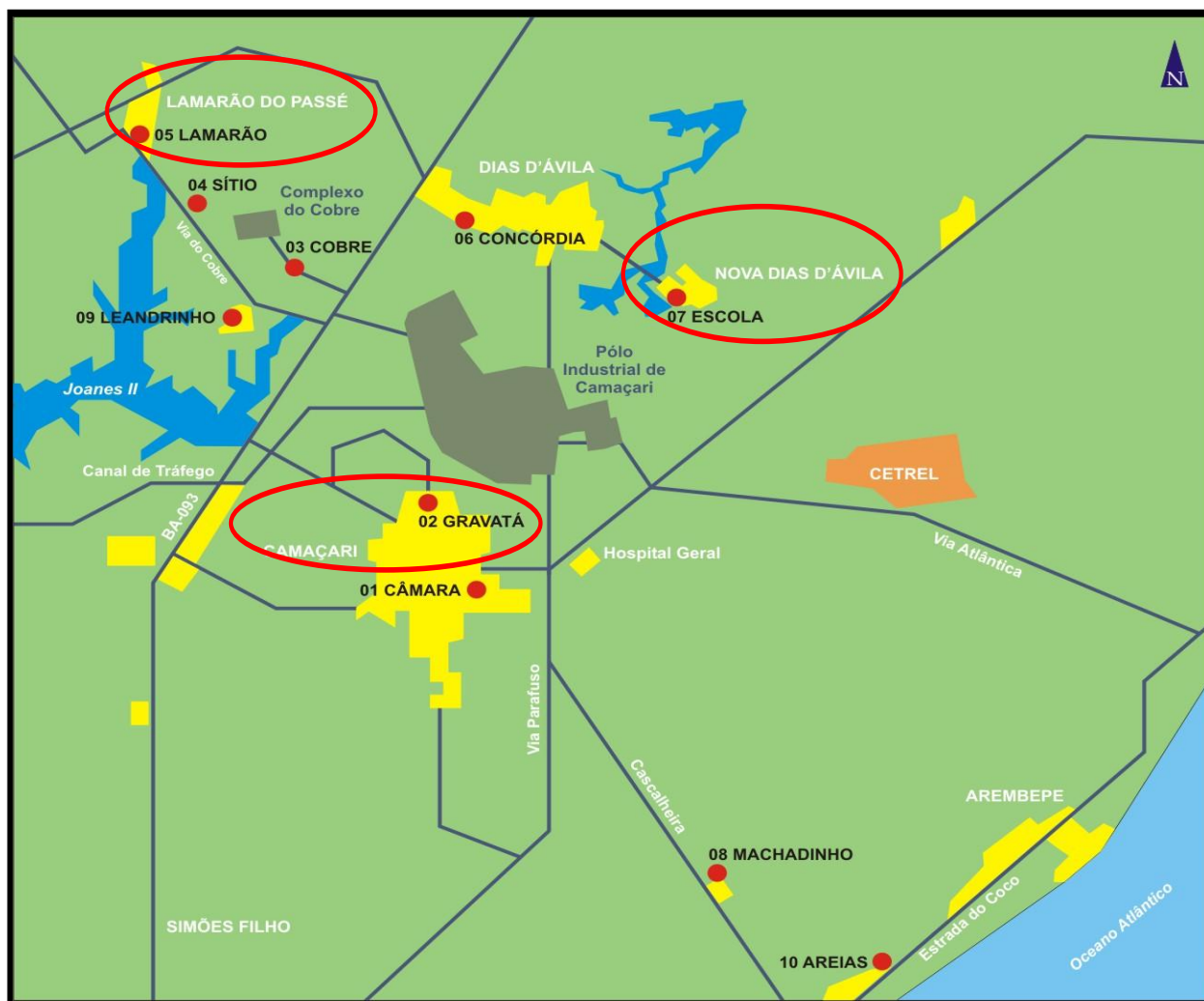


Figura 17: Descrição da área amostral e das estações de monitoramento utilizadas no estudo.

Fonte: Adaptado de Cetrel (2008).

3.2 METODOLOGIA AMOSTRAL

O estudo foi realizado no período de 2006 a 2008, onde foram utilizadas diferentes técnicas de monitoramento para avaliar as características das águas da chuva (deposição apenas úmida) e das espécies formadas a partir das transformações de SO₂ e NO₂ na atmosfera. Dessa forma, foram realizadas campanhas para coleta do material gasoso e particulado (ácidos fortes, amônia e seus sais) e da chuva nas três estações localizadas nos municípios de Camaçari, Lamarão do Passé e Dias D'Ávila. Foram utilizados os resultados de SO₂, NO₂ e parâmetros meteorológicos medidos continuamente na RMA no mesmo período amostral (considerando os mesmos intervalos de tempo). Nos parágrafos que seguem são apresentadas as metodologias amostrais para o estudo.

3.2.1 Metodologia amostral aplicada para chuva (deposição apenas úmida)

Os coletores usados eram do tipo deposição apenas úmida com funil coletor e garrafas protegidas em uma caixa de fibra de vidro com tampa, que abre sob o comando de um sensor de condutividade quando o evento chuvoso inicia e fecha quando ele finaliza.

As coletas foram realizadas nas três estações com troca de coletores (garrafas de polietileno) a cada 24 horas (com exceção de finais de semana e feriados), quando se acumulava a chuva em um período maior. Cada garrafa era coletada manualmente, no mesmo horário em cada estação. O volume total da precipitação acumulada em 24h em cada garrafa do coletor era determinado por pesagem no laboratório da Cetrel, considerando-se que o frasco limpo era pesado antes do início da coleta e que a densidade da água foi considerada como 1 g cm⁻³ para todas as amostras de chuva. Depois esse volume era, então, convertido para mm de chuva através da divisão do valor registrado a cada coleta do evento chuvoso pela área do funil coletor (598 cm²). As medidas de pH e condutividade eram feitas no laboratório da Cetrel.

As amostras (frações do volume total coletado) eram transferidas para frascos de polipropileno (capacidade ~30 mL), que eram devidamente tampados e identificados. Parte dessa amostra era encaminhada para o laboratório da Cetrel para análise de cálcio, magnésio e potássio. Outra parte era levada para o LAQUAM, onde os frascos eram mantidos sob refrigeração (~ 4°C) até que fossem realizadas as análises das outras espécies (sódio, amônio, cloreto, nitrato e sulfato).

Foi utilizado um formulário para registros dos dados da coleta de chuva e de outras informações observadas em campo (fenômenos meteorológicos, queima de biomassa, entre outros), o qual se encontra no apêndice D. A figura 18, disposta abaixo, apresenta a foto de um dos coletores de chuva em uma das estações da RMA da Cetrel.



Figura 18: Coletor de chuva (deposição apenas úmida) na estação Lamarão.

3.2.2 Metodologia amostral aplicada para ácidos fortes, amônia e sais

Foi utilizado um sistema de termodifusão da marca Ströhlein para a amostragem de HCl, HNO₃, H₂SO₄, NH₄Cl e NH₄NO₃ e sulfatos de amônio. Através desse sistema, os ácidos fortes e seus sais de amônio foram separados durante a amostragem, permitindo a sua especiação química.

O sistema consiste de um impactador virtual, disposto na entrada do fluxo, 3 tubos denuder (90, 35 e 90 cm, respectivamente) e outro filtro na saída dos denuders, na parte superior. Os filtros utilizados são membranas Nuclepore com poro de 0,2 µm e 37 mm de diâmetro.

O ar entra no sistema via impactador virtual com fluxo de cerca de 120 L h⁻¹. Este divide o fluxo e faz o corte de 2 µm nas partículas. Um fluxo baixo (12 - 18 L h⁻¹) é direcionado ao primeiro filtro que coleta as partículas maiores do que 2 µm. Na direção vertical, um fluxo de cerca de 120 L h⁻¹ segue para o primeiro denuder contendo os gases e partículas < 2 µm. Para as paredes deste primeiro denuder de 90 cm, revestido com NaF 0,025% à temperatura ambiente, difundem o HCl e o HNO₃ gasosos. Na saída do primeiro denuder o ar passa por um captador para SO₂ e H₂S (espécies que poderiam interferir na coleta de H₂SO₄), que consiste de um tubo denuder revestido com Na₂CO₃ 0,2%. Por um segundo NaF-denuder de 90 cm, agora aquecido a 140°C, continua a passar o fluxo de ar, onde partículas de H₂SO₄, NH₄Cl e NH₄NO₃, menores do que 2 µm e termoinstáveis àquela temperatura se dividem em partes de tamanho capaz de difundir para as paredes do tubo revestido de NaF e de serem fixadas. Os componentes do aerosol termicamente estáveis, tais como NH₄HSO₄, (NH₄)₂SO₄, NaNO₃ e Na₂SO₄, não são fragmentados a 140°C e são retidos a seguir, na parte superior do sistema, onde há outra membrana Nuclepore. NH₄Cl é apenas parcialmente fragmentado e separado em ~65% (Campos, 1995).

A figura 19, apresentada abaixo, mostra o esquema do sistema de termo difusão descrito nos parágrafos anteriores.

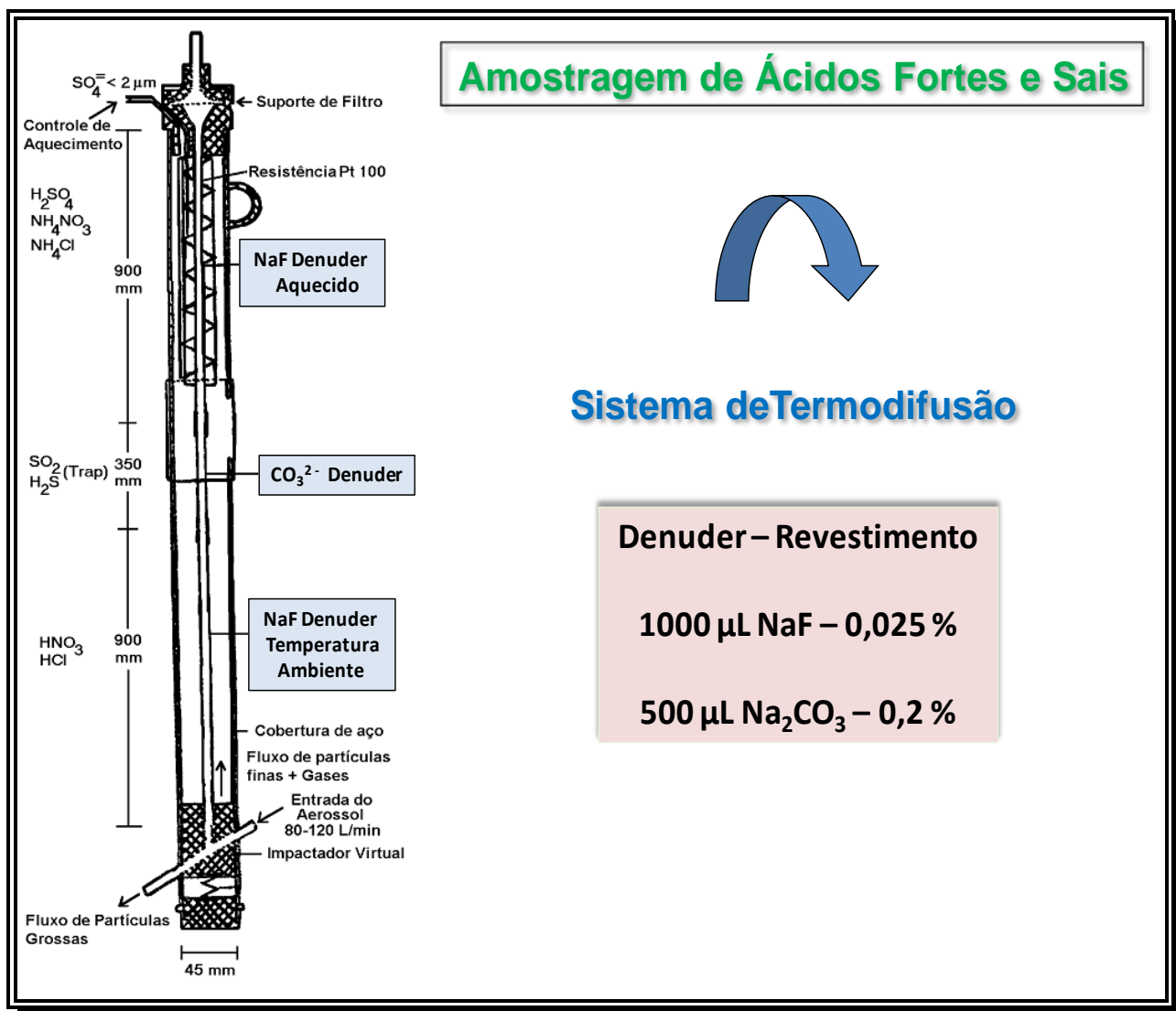


Figura 19: Esquema do sistema de termodifusão utilizado para amostragem de ácidos fortes e sais.

O volume de ar amostrado é calculado pelo tempo de amostragem e pelo fluxo médio através de medidas com rotômetros no início e no final da amostragem.

Segundo Niessner (1981 *apud* Campos, 1995, p.226), experiências prévias mostraram que perdas significativas das partículas na moda grossa, coletadas no filtro inferior, podem ocorrer neste impactador e por isso esse filtro não é utilizado nas determinações.

A figura 20, disposta a seguir, apresenta o esquema do sistema de termo difusão sendo utilizado em uma das estações da Rede de Monitoramento do Ar da Cetrel.



Figura 20: Sistema de termodifusão utilizado em uma das estações de monitoramento.

Os tubos de difusão (denuder) que compõem o sistema, descrito anteriormente, são preparados da seguinte maneira: abertos são lavados com bastante água destilada corrente e, em seguida, com água ultrapura. Pequeno volume de acetona p.a. é passado através do tubo para secá-lo mais rapidamente, completando a secagem com fluxo de nitrogênio.

Com o tubo em posição horizontal coloca-se dentro dele 0,5 ou 1 mL da solução para revestimento, o que depende do tamanho do tubo (vide quadro a seguir). Com movimentos lentos distribui-se o volume por todo o tubo. Girando lentamente o tubo, seca-se o mesmo com o fluxo baixo de N_2 , inicialmente, para que o filme líquido não seja deslocado, aumentando-o em seguida para garantir a secagem completa. As duas extremidades do tubo são então fechadas com parafilme ou frasquinho eppendorf de 1,5 mL, tomando-se cuidado para não tocá-las ou encostá-las na bancada antes de fechar.

Tipo de denuder	Solução de revestimento (1:1 em acetona)
Ácido cítrico (AC) - denuder (90cm x 6mm)	1000 μ L Ácido cítrico 0,2%
NaF - denuder (90cm x 6mm)	1000 μ L NaF 0,025%
CO_3^{2-} - denuder (35cm x 6mm)	500 μ L Na_2CO_3 0,2%

Tubos brancos são feitos em duplicata para cada partida preparada; sendo que um é guardado no laboratório e um acompanha as atividades de campo juntamente com os tubos a serem amostrados, de modo que qualquer contaminação possa ser detectada.

Para as medidas de amônia gasosa foi utilizado tubo denuder de 90 cm x 6 mm, sendo o tubo revestido com 1 mL da solução de ácido cítrico (AC) 0,2% à temperatura ambiente.

O sistema de coleta é composto de uma bomba acoplada ao tubo denuder preparado para amostragem de amônia gasosa, onde o ar entra nesse sistema com fluxo entre 50 a 80 $L h^{-1}$. Esse fluxo (contendo os gases) segue para o denuder, onde a amônia gasosa difunde para as paredes e é absorvida ao longo da amostragem.

Em relação ao preparo do tubo denuder para amostragem de amônia (AC-denuder), foi utilizado o mesmo procedimento descrito anteriormente para o preparo dos tubos NaF-denuder utilizados no sistema de termodifusão.

A figura 21, disposta a seguir, apresenta o esquema do sistema de termodifusão sendo utilizado em uma das estações da Rede de Monitoramento do Ar da Cetrel.

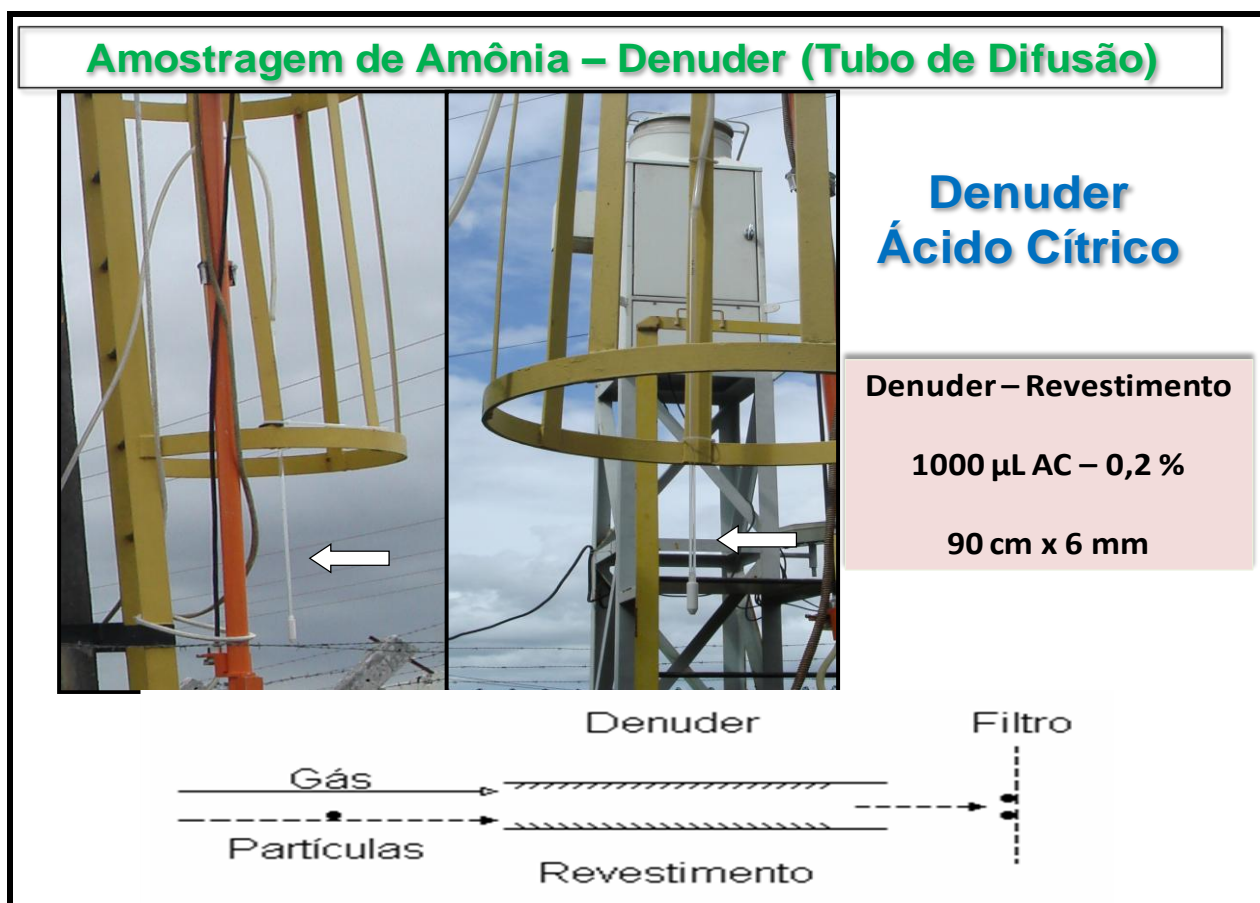


Figura 21: Esquema de amostragem de amônia (tubo de difusão denuder) utilizado em uma das estações de monitoramento.

Foi utilizado um formulário para registros dos dados da amostragem de ácidos fortes, sais e amônia e de outras informações observadas em campo (fenômenos meteorológicos, queima de biomassa, entre outros), o qual se encontra no apêndice E.

3.3 METODOLOGIA ANALÍTICA

As análises das amostras de chuva e do material gasoso e particulado < 2 µm foram realizadas no LAQUAM por cromatografia iônica (Cl⁻, NO₃⁻ e SO₄²⁻), espectrofotometria (NH₄⁺), fotometria de chama (Na⁺ e K⁺). No laboratório da Cetrel foram realizadas as análises por ICP-OES (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) para as amostras de chuva. A tabela 14, disposta abaixo, apresenta um resumo das técnicas utilizadas e os respectivos limites de detecção, que foram determinados com base em 3σ da determinação desses íons em dez brancos.

Tabela 14: Técnicas analíticas utilizadas e respectivos limites de detecção

Espécie	Técnica Analítica	Limite de Detecção	
		µg mL ⁻¹	µmol L ⁻¹
Cloretos	Cromatografia Iônica	0,051	1,4
Nitratos	Cromatografia Iônica	0,0060	0,097
Sulfatos	Cromatografia Iônica	0,0092	0,095
Amônio	Espectrofotometria	0,0067	0,37
Sódio	Fotometria de Chama	0,019	0,83
Potássio	Fotometria de Chama	0,031	0,81
Cálcio	ICP-OES	0,010	0,25
Magnésio	ICP-OES	0,010	0,42
Potássio	ICP-OES	0,010	0,26

Como sistemática de controle de qualidade, foi utilizada em todas as análises uma amostra padrão de referência de chuva (RAIN-97, lotes 1107 e 407) contendo todas as espécies analisadas na chuva, no material gasoso e particulado (filtros do sistema de termodifusão com diâmetro de partículas < 2µm). Essa sistemática de controle de qualidade foi também utilizada para todas as outras análises desse estudo. A amostra é um padrão de referência internacional, produzida nos laboratórios da agência ambiental canadense, utilizada para essa aplicação analítica.

Os limites mínimos para as metodologias amostrais utilizadas estão dispostos na tabela AP41 no apêndice C.

3.3.1 Metodologia analítica para chuva (deposição apenas úmida)

Para a análise das espécies nas amostras de chuva foram utilizadas as seguintes técnicas analíticas: Cromatografia Iônica, Espectrofotometria Molecular Visível, Fotometria de Chama e ICP-OES. Todas as análises foram feitas no LAQUAM com exceção das análises de cálcio, magnésio e potássio (amostras de chuva) feitas por ICP-OES no laboratório da Cetrel.

Nos parágrafos seguintes será apresentada cada metodologia para os grupos de parâmetros analisados nas amostras de chuva.

Cloretos, Nitratos e Sulfatos

As análises foram realizadas por cromatografia iônica, usando cromatógrafo iônico com as especificações: Detector de Condutividade Modelo 650 Altech; Autosupressora DS-Plus Altech; Amostrador Automático Modelo 410 Prostar Varian; Bomba Prostar Solvent delivery Module; Coluna Transgenomic ICsep An1 4.6 mm x 250 mm. Foram utilizadas as condições operacionais descritas abaixo:

Eluente: $1,7 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaHCO}_3 / 1,8 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Na}_2\text{CO}_3$

Fluxo: 1 ml min^{-1}

Tampão: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ } 18 \text{ mmol L}^{-1} / \text{NaHCO}_3 \text{ } 17 \text{ mmol L}^{-1}$

As amostras de chuva foram centrifugadas a 13500 rpm, por 5 min, em frascos tipo eppendorf (capacidade 1500 μL), e após isso, foi retirada amostra para análise.

A tabela 15 apresenta os volumes e soluções usados na preparação dos padrões da curva analítica e amostras para análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica.

Tabela 15: Preparação de padrões da curva analítica e amostras de chuva para análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica

Padrão: Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Volumes em μL		
	A partir da solução $10 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})	Solução Tampão Na_2CO_3 18 mM NaHCO_3 17 mM	H_2O ultrapura
Branco	-	100	900
P-0,1	10	100	890
P-0,3	30	100	870
P-0,5	50	100	850
P-0,6	60	100	840
P-0,7	70	100	830
P-0,8	80	100	820
P-1,0	100	100	800
P-1,5	150	100	750
P-2,0	200	100	700
P-3,0	300	100	600
P-5,0	500	100	400
Amostra de chuva	900 μL da amostra	100	-

Uma curva analítica típica para cloretos, nitratos e sulfatos nas amostras de chuva é apresentada na figura 22.

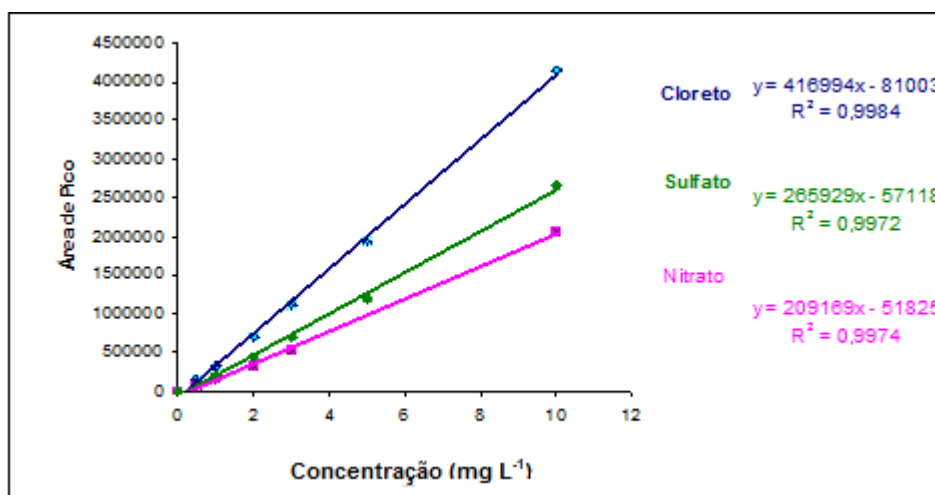
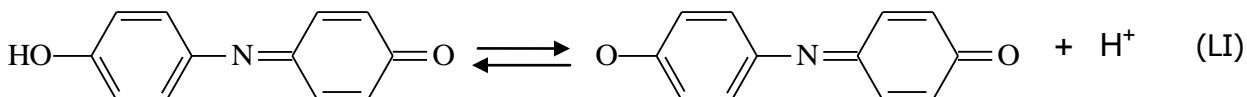
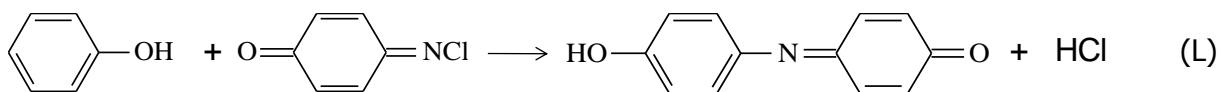
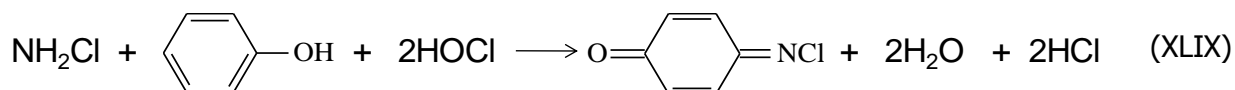
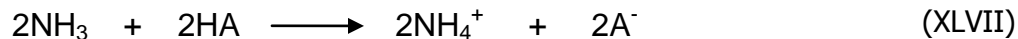


Figura 22: Curva analítica típica usada nas análises de Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-}

Amônia

A amônia é determinada por espectrofotometria molecular visível pelo método do azul de indofenol. O método se baseia na reação da amônia com fenol e hipoclorito em meio alcalino levando à formação de um complexo de coloração azul intensa, como apresentado nas equações de XLVII a LI (Lodge, 1989). Foi utilizado para análise um espectrofotômetro (Varian Cary 1E UV-Vis) nas seguintes condições: cubeta de 1 cm, largura de fenda 1 e comprimento de onda 630 nm.



A equação XLVII apresenta a reação da amônia com o ácido utilizado nesse estudo, onde HA está representando o ácido cítrico e A⁻ representa a sua base conjugada.

Os cálculos eram feitos através da regressão linear da curva analítica, como descrito abaixo:

$$y = ax + b$$

$$\begin{array}{cc} \Downarrow & \Downarrow \\ A & C \end{array}$$

$$C = \frac{A-b}{a}, \text{ onde:}$$

C = Concentração em $\mu\text{g at N L}^{-1}$

A = Absorvância lida

b = Coeficiente linear da reta

a = Coeficiente angular da reta

Para amostras de água de chuva,

$$\begin{array}{ccc} \mu\text{g at N} & \text{_____} & 1000 \text{ mL} \\ x & \text{_____} & 1,5 \text{ mL} \end{array} \quad (\text{volume total de solução no eppendorf})$$

$$x = \frac{1,5 \text{ mL} \times C \mu\text{g at N}}{1000 \text{ mL}} \text{ _____ } 1,26 \text{ mL (volume da alíquota da amostra de chuva)}$$

$$y \text{ _____ } 1000 \text{ mL}$$

$$y = \frac{1,5 \text{ mL} \times 1000 \text{ mL} \times C \mu\text{g at N}}{1000 \times 1,26} = \mu\text{g at N} \times \frac{1,5}{1,26} = \mu\text{g at N} \times 1,19$$

$$\begin{array}{c} \Downarrow \\ C \end{array}$$

$$\text{NH}_4^+ (\mu\text{g L}^{-1}) = C \times 1,19 \times 18,004$$

$$\begin{array}{c} \Downarrow \\ \text{mol de NH}_4^+ \end{array}$$

Uma curva analítica típica utilizada na análise de amônio é mostrada na figura 23.

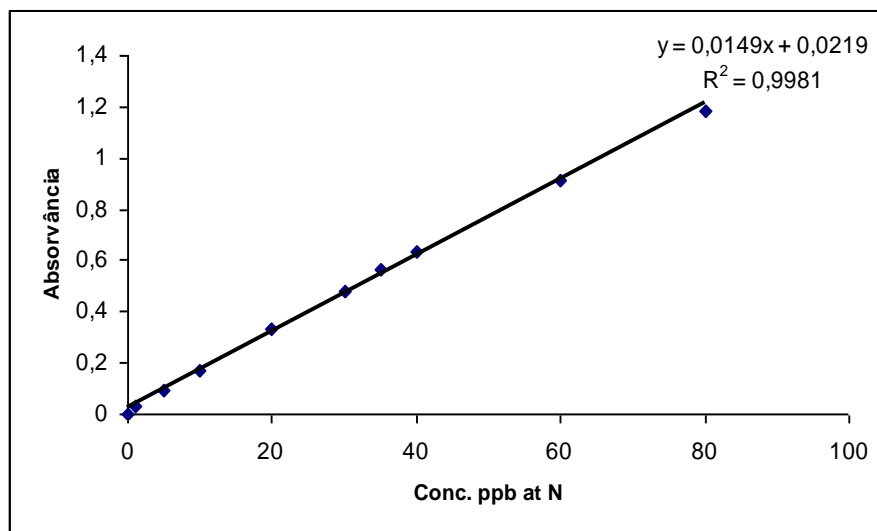


Figura 23: Curva analítica típica utilizada na análise de amônio.

Para preparar os padrões e as amostras, a ordem dos reagentes adicionados é muito importante nesse método. Isso garante maior sensibilidade e reprodutibilidade das medidas, onde o procedimento está descrito abaixo:

- 1º) Reagente Fenol → 60 μL
- 2º) H_2O ultrapura (para os pontos da curva) ou amostra → 600 μL
- 3º) Solução Padrão $\text{NH}_4\text{Cl} \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, no caso da preparação da curva de calibração
→ volume variável.
- 4º) Reagente Oxidante → 180 μL
- 5º) H_2O ultrapura (para completar 1500 μL)

O volume total corresponde a 1500 μL (adaptado para tubo de reação eppendorf).

A tabela 16 apresenta os volumes usados de cada reagente e a ordem de adição na preparação dos padrões da curva analítica e amostras, em tubos de reação eppendorf (1500 μL), para análise de NH_4^+ por espectrofotometria.

Tabela 16: Preparação de padrões da curva analítica e amostras de chuva para análise de amônio por espectrofotometria molecular visível

Solução Padrão	Ordem de adição dos reagentes						
	Volumes em μL						
	Fenol	H ₂ O ultrapura	NH ₄ Cl $10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$	Solução Oxidante	H ₂ O ultrapura	$\mu\text{g at N L}^{-1}$	$\mu\text{g N L}^{-1}$
Branco	60	600	-	180	660	0,0	0,0
1	60	600	15	180	645	1,0	14
2	60	600	75	180	585	5,0	70
3	60	600	150	180	510	10	140
4	60	600	300	180	360	20	280
5	60	600	450	180	210	30	420
6	60	600	525	180	135	35	490
7	60	600	600	180	60	40	560
8	60	300	900	180	60	60	630
9	60	-	1200	180	60	80	700
Amostra	60	630 amostra	-	180	630 amostra	-	-

Sódio

As análises de sódio nas amostras de chuva foram realizadas por fotometria de chama utilizando o fotômetro de chama Micronal Mod. B462. A figura 24 apresenta uma curva analítica típica para Na⁺ utilizada para as amostras de chuva.

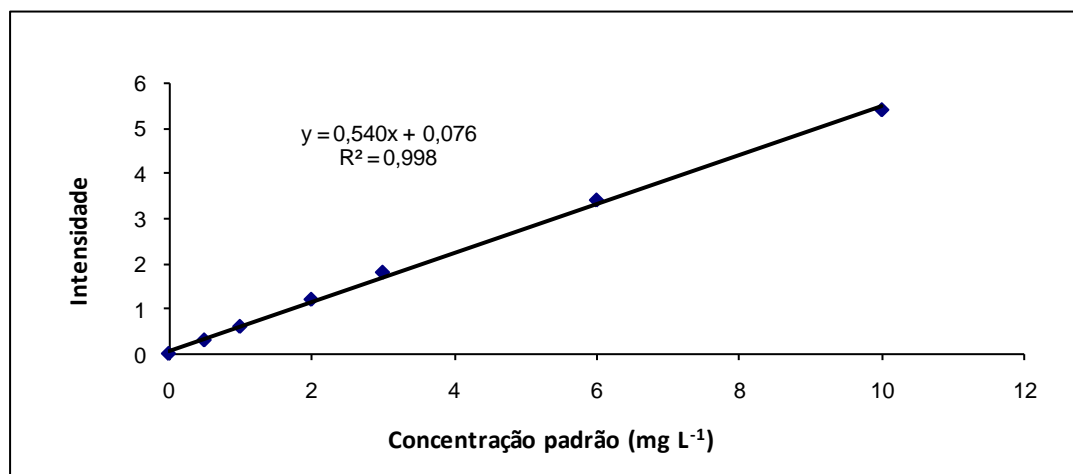


Figura 24: Curva analítica típica usada na análise de sódio em média intensidade.

A tabela 17 apresenta os volumes e soluções usados na preparação dos padrões da curva analítica e amostras para análise de sódio por fotometria de chama. Foram utilizadas 2 curvas analíticas considerando a leitura das amostras em intensidade média e alta. Padrões foram preparados em balão volumétrico de 50,0 mL.

Tabela 17: Preparação de padrões da curva analítica e amostras para análise de sódio por fotometria de chama

Solução padrão Na ⁺ (µg mL ⁻¹)	Intensidade - Leitura fotômetro	
	Intensidade - Média	Intensidade - Alta
	A partir da solução de 10 µg mL ⁻¹	A partir da solução de 1,0 µg mL ⁻¹
Branco	-	-
P-0,01	-	500 µL
P-0,05	-	2500 µL
P-0,1	-	5000 µL ou 5,0 mL
P-0,2	-	10,0 mL
P-0,5	2,5 mL ou 2500µL	25,0 mL
P-1,0	5,0 mL	-
P-2,0	10,0 mL	-
P-3,0	15,0 mL	-
P-5,0	25,0 mL	-
P-10,0	-	-
Amostra de chuva	1000 µL da amostra	1000 µL da amostra

Cálcio, Magnésio e Potássio

As análises de cálcio, magnésio e potássio foram feitas pelo laboratório da Cetrel, utilizando espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) nos seguintes comprimentos de onda:

- 1)393,366 e 422,673 nm (cálcio);
- 2)285,213 e 280,270 nm (magnésio);
- 3)588,995 e 766,491 nm (potássio).

O equipamento utilizado foi da marca Spectro Analytical Instruments, modelo Spectro Ciros CCD tipo 76004527 SN 4K/0034.

Foi utilizado o padrão ICP multi-element standard solution IV (Merck) com concentração de 1000 mg L⁻¹ para determinação dos elementos: Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn.

Os padrões foram preparados em balão volumétrico de 100,0 mL. A curva analítica foi preparada a partir do padrão de 1000 mg L⁻¹, como descrito na tabela 18.

Tabela 18: Preparação de padrões da curva analítica para análise de cálcio, magnésio e potássio por ICP-OES

Solução padrão ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	A partir da solução de 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$
Branco	-
P-1,0	0,1
P-5,0	0,5
P-10,0	1,0
P-20,0	2,0

Foram utilizados padrões de verificação de 1,0 mg L⁻¹ e 10 mg L⁻¹ como requisito de controle de qualidade do método, além de outros procedimentos.

A figura 25, disposta a seguir, apresenta um exemplo de curva analítica típica para cálcio pelo ICP-OES utilizado para análise desse elemento nas amostras de chuva.

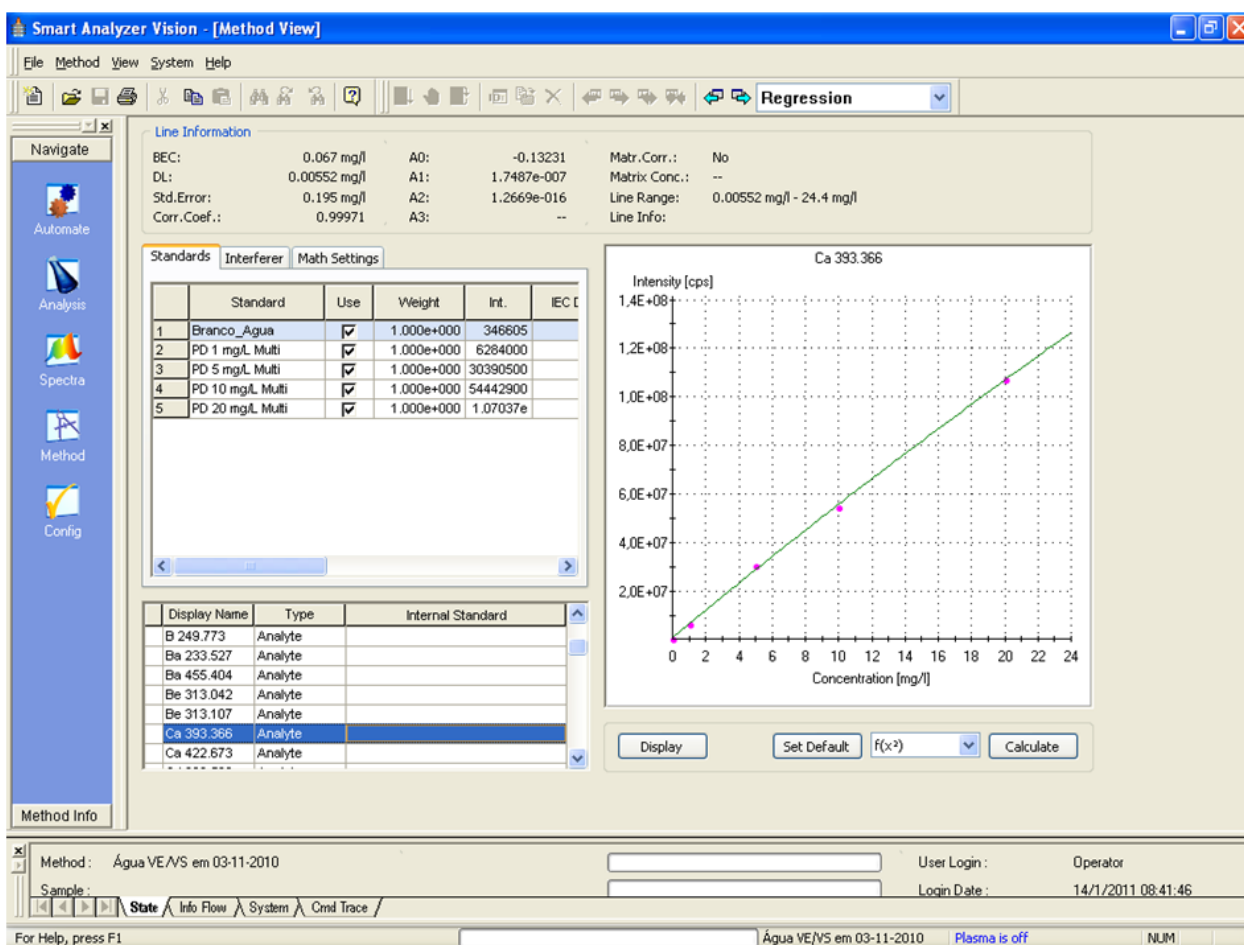


Figura 25: Curva analítica típica utilizada na análise de cálcio por ICP-OES.

Medidas de pH e condutividade

As medidas de condutividade e pH foram feitas imediatamente após a coleta das amostras de chuva. Foram utilizadas soluções padrão de referência de condutividade ($1413 \mu\text{s cm}^{-1}$) e pH (4,0; 7,0 e 9,0) para calibração dos equipamentos. As informações sobre os equipamentos estão descritas abaixo:

a) Condutímetro WTW Cond 315i

Precisão de $\pm 0,5 \%$ - $\mu\text{s cm}^{-1}$ (para faixa de temperatura de $0^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$)

Temperatura $\pm 0,1 \%$ - unidades de $^\circ\text{C}$

b)pHmetro WTW pH 315i

Precisão de $\pm 0,01$ % - unidades de pH

A calibração do condutivímetro e do pHmetro era realizada antes de cada medida de pH e condutividade das amostras de chuva.

3.3.2 Metodologia analítica para ácidos fortes, amônia e sais

Para a análise das amostras contendo espécies representativas de gases e partículas $<2 \mu\text{m}$ foram utilizadas as mesmas técnicas analíticas usadas para as amostras de chuva descritas anteriormente.

3.3.2.1 Amostras dos tubos denuder do sistema de termodifusão

Após a amostragem, as duas extremidades dos tubos foram novamente fechadas e os mesmos foram transportados para o laboratório. Recomenda-se somente eluir as espécies fixadas quando for analisá-las para que seja mantida a sua estabilidade (~ 1 mês à $\leq 25^\circ\text{C}$). Para a eluição, abre-se uma das extremidades do tubo e adiciona-se 2 mL de H_2O ultrapura para os tubos de 90 cm. Fechou-se novamente aquela extremidade e inverteu-se o tubo várias vezes de modo a extrair de suas paredes a espécie estabilizada no filme do revestimento. O extrato foi transferido para frasquinho eppendorf (volume de 1,5 mL).

Se a eluição for feita e a análise não for imediata, o extrato deve ser guardado em refrigerador a $\sim 4^\circ\text{C}$. Para os tubos de 35 cm não foi realizada eluição, pois o extrato desse denuder não foi utilizado nas determinações.

Tubos denuder não amostrados, mas transportados para o campo e de volta para o laboratório junto com aqueles amostrados, foram analisados como brancos.

Os íons Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} foram analisados por cromatografia iônica, usando-se a mesma coluna. Ajustes são necessários, principalmente por causa da grande quantidade de fluoreto presente (o revestimento do tubo é de NaF), que pode interferir na determinação de Cl^- dificultando a separação dos dois. Nesse caso, a curva analítica foi feita adicionando-se aos padrões a mesma quantidade de F^- contida no revestimento dos tubos e, portanto, no volume de 2 mL após eluição. A tabela 19 apresenta os volumes e soluções usados na preparação dos padrões da curva analítica de calibração e amostras para análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica.

Tabela 19: Preparação de padrões da curva analítica e amostras extraídas dos tubos denuders para a análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica

Padrão: Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Volumes em μL			
	NaF 0,025%	A partir da solução $10\mu\text{g mL}^{-1}$ (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})	Solução Tampão Na_2CO_3 18 mmol L^{-1} NaHCO_3 17 mmol L^{-1}	H_2O ultrapura
Branco	500	-	100	400
P-0,2	500	20	100	380
P-0,4	500	40	100	360
P-0,6	500	60	100	340
P-0,8	500	80	100	320
P-1,0	500	100	100	300
P-1,3	500	130	100	270
P-2,0	500	200	100	200
P-3,0	500	300	100	100
*P-5,0	500	50	100	350
*P-10,0	500	100	100	300
Amostra 450 μL	-	-	50	-

(*) padrões feitos a partir da solução de $100 \mu\text{g}.\text{mL}^{-1}$.

3.3.2.2 Amostras dos filtros do sistema de termodifusão

Para a análise das amostras dos filtros, contendo partículas $< 2 \mu\text{m}$ foram utilizadas as mesmas técnicas analíticas usadas para as amostras de chuva descritas anteriormente.

Cloretos, Nitratos e Sulfatos

Foi utilizada cromatografia iônica para análise de cloretos, nitratos e sulfatos nas amostras de filtros superiores (fase particulada < 2 µm) do sistema de termodifusão. Foi utilizada a mesma metodologia aplicada para as amostras de chuva, com alteração do volume de amostra para 300 µL. Os filtros foram centrifugados a 13500 rpm por 5 min em frascos tipo eppendorf (capacidade 1500 µL) e, após isso, retirada amostra para análise.

A tabela 20 apresenta os volumes (µL) e soluções usados na preparação dos padrões da curva analítica e amostras para análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica.

Tabela 20: Preparação de padrões da curva analítica e amostras de filtros para análise de cloretos, nitratos e sulfatos por cromatografia iônica

Padrão: Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ (µg mL ⁻¹)	Volumes em µL		
	A partir da solução 10µg mL ⁻¹ (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻)	Solução Tampão Na ₂ CO ₃ 18 mmol L ⁻¹ NaHCO ₃ 17 mmol L ⁻¹	H ₂ O ultrapura
Branco	-	100	900
P-0,5	50	100	850
P-0,6	60	100	840
P-0,7	70	100	830
P-0,8	80	100	820
P-1,0	100	100	800
P-1,5	150	100	750
P-2,0	200	100	700
P-3,0	300	100	600
P-5,0	500	100	400
Amostra 300µL	-	50	-

Amônia

A determinação de amônia nos extratos dos filtros do sistema de termodifusão foi realizada através do mesmo procedimento utilizado para as amostras de chuva, considerando somente uma alteração no volume da amostra para 300 μL . Permanece o volume total correspondente a 1500 μL (adaptado para tubo de reação eppendorf). A tabela 21 apresenta os volumes usados de cada reagente e a ordem de adição na preparação dos padrões da curva analítica e amostras para análise de NH_4^+ por espectrofotometria molecular visível.

Tabela 21: Preparação de padrões da curva analítica e amostras extraídas dos filtros do sistema de termodifusão para análise de amônio por espectrofotometria molecular visível

Solução Padrão	Ordem de adição dos reagentes						
	Volumes em μL						
	Fenol	H ₂ O ultrapura	NH ₄ Cl 10^{-4} mol L ⁻¹	Solução Oxidante	H ₂ O ultrapura	$\mu\text{g at N L}^{-1}$	$\mu\text{g N L}^{-1}$
Branco	60	600	-	180	660	0,0	0,0
1	60	600	15	180	645	1,0	14
2	60	600	75	180	585	5,0	70
3	60	600	150	180	510	10	140
4	60	600	300	180	360	20	280
5	60	600	450	180	210	30	420
6	60	600	525	180	135	35	490
7	60	600	600	180	60	40	560
8	60	300	900	180	60	60	630
9	60	-	1200	180	60	80	700
Amostra	60	600	300 amostra	180	360	-	-

Sódio e Pótássio

Para análise de sódio foi utilizada fotometria de chama e as amostras dos extratos dos filtros foram analisadas com a mesma metodologia aplicada para as amostras de chuva. Utilizou-se o fotômetro de chama Micronal Mod. B462. Para análise de potássio

também foi utilizada fotometria de chama, onde os volumes e soluções usados na preparação dos padrões da curva analítica e amostras estão descritos na tabela 22.

Tabela 22: Preparação de padrões da curva analítica e amostras para análise de potássio por fotometria de chama

	Intensidade - Leitura fotômetro	
	Intensidade - Média	Intensidade - Alta
Solução padrão K ⁺ (µg mL ⁻¹)	A partir da solução 10 µg mL ⁻¹	A partir da solução 1,0 µg mL ⁻¹
Branco	-	-
P-0,01	-	500 µL
P-0,05	-	2500 µL
P-0,1	-	5000 µL ou 5,0 mL
P-0,2	-	10,0 mL
P-0,5	2,5 mL ou 2500µL	25,0 mL
P-1,0	5,0 mL	-
P-2,0	10,0 mL	-
P-3,0	15,0 mL	-
P-5,0	25,0 mL	-
P-10,0	-	-
Amostra de chuva	1000 µL da amostra	1000 µL da amostra

Semelhantemente à análise de sódio, para análise de potássio, por fotometria de chama, foram utilizadas duas curvas analíticas considerando a leitura das amostras em intensidade média e alta. Os padrões foram preparados em balão volumétrico de 50,0 mL.

3.3.2.3 Amostras dos tubos denuders para amônia gasosa

A análise de amônia nos tubos denuders foi realizada através do mesmo procedimento utilizado para as amostras de chuva, considerando somente uma alteração no volume da amostra para 300 µL retirada após a eluição do tubo denuder amostrado.

Permanece o volume total correspondente a 1500 μL (adaptado para tubo de reação eppendorf). Brancos são sempre eluidos em paralelo com os tubos amostrados, e os valores das concentrações da espécie nos brancos são descontados do valor encontrado no denuder amostrado.

Foi utilizado o espectrofotômetro com as mesmas especificações e condições operacionais descritas anteriormente, quando para análise de amônio nas amostras de chuva.

A tabela 23 apresenta os volumes usados de cada reagente e a ordem de adição na preparação dos padrões da curva analítica e amostras para análise de NH_4^+ por espectrofotometria.

Tabela 23: Preparação de padrões da curva analítica e amostras extraídas dos tubos denuders para análise de amônio por espectrofotometria molecular visível

Solução Padrão	Ordem de adição dos reagentes						
	Volumes em μL						
	Fenol	H_2O ultrapura	NH_4Cl $10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$	Solução Oxidante	H_2O ultrapura	$\mu\text{g at N L}^{-1}$	$\mu\text{g N L}^{-1}$
Branco	60	600	-	180	660	0,0	0,0
1	60	600	15	180	645	1,0	14
2	60	600	75	180	585	5,0	70
3	60	600	150	180	510	10	140
4	60	600	300	180	360	20	280
5	60	600	450	180	210	30	420
6	60	600	525	180	135	35	490
7	60	600	600	180	60	40	560
8	60	300	900	180	60	60	630
9	60	-	1200	180	60	80	700
Amostra	60	600	300 amostra	180	360	-	-

3.4 CRITÉRIOS DE QUALIDADE PARA ANÁLISE DE DADOS DE CHUVA

Para garantia da qualidade dos dados de chuva foram utilizados os requisitos contidos no manual do Programa de Precipitação Química da Organização Mundial de Meteorologia.

A qualidade dos dados obtidos nas análises de chuva é avaliada através do balanço de massa iônica equivalente (soma de cátions equivalentes versus soma de ânions equivalentes) e comparação da condutividade calculada com a condutividade medida. As principais variáveis nesse critério são o balanço iônico e o balanço da condutividade.

Segundo a WMO (2004), são os seguintes requisitos a serem avaliados a partir do cálculo do somatório de íons e da condutividade calculada:

a) Critério para o balanço iônico:

Ânions + Cátions ($\mu\text{e L}^{-1}$)	Diferença aceitável (%)
≤ 50	$\leq \pm 60$
$> 50 \leq 100$	$\leq \pm 30$
$> 100 \leq 500$	$\leq \pm 15$
> 500	$\leq \pm 10$

Os somatórios de cátions e ânions foram calculados pelas equações (6) e (7) abaixo:

$$\Sigma \text{ cátions} = \Sigma ([\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+] + 2[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + 2[\text{Mg}^{2+}]) \quad (\mu\text{e L}^{-1}) \quad (6)$$

$$\Sigma \text{ ânions} = \Sigma (2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-]) \quad (\mu\text{e L}^{-1}) \quad (7)$$

$$\Delta \text{ íon } | \% | = \frac{\Sigma \text{ ânions} - \Sigma \text{ cátions}}{\Sigma \text{ ânions} + \Sigma \text{ cátions}} \times 100 \quad (8)$$

b) Critério para o balanço da condutividade:

Condutividade Medida ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Diferença aceitável (%)
≤ 5	$\leq \pm 50$
$> 5 \leq 30$	$\leq \pm 30$
> 30	$\leq \pm 20$

A condutividade das amostras foi calculada através da equação abaixo:

$$C_c = 0,001 \times (349,7 \times [\text{H}^+] + 73,5 \times [\text{NH}_4^+] + 73,5 \times [\text{K}^+] + 119 \times [\text{Ca}^{2+}] + 106 \times [\text{Mg}^{2+}] + 50,1 \times [\text{Na}^+] + 160 \times [\text{SO}_4^{2-}] + 76,3 \times [\text{Cl}^-] + 71,4 \times [\text{NO}_3^-]) \quad (9)$$

C_c = condutividade calculada, onde $C_c = \sum C_i \times \lambda_i$

$C_i = [\text{espécie } i] \rightarrow \text{mmol L}^{-1}$

$\lambda_i = \text{condutância molar iônica} \rightarrow \text{S cm}^2 \text{mol}^{-1}$

$C_c = \text{condutividade calculada} \rightarrow \mu\text{S cm}^{-1}$

$C_m = \text{condutividade medida}$

$$\Delta \text{ Cond. } |\%| = \frac{C_c - C_m}{C_m} \times 100 \quad (10)$$

Os resultados obtidos nas análises das espécies (cátions e ânions) das amostras de chuva não foram considerados somente quando os 2 critérios (de balanço iônico e de condutividade) não foram atendidos.

As tabelas 29 a 31, apresentadas no capítulo de resultados e discussão, mostram o total de amostras aceitas (após aplicação dos critérios do balanço iônico e da condutividade) neste estudo para as três estações de monitoramento considerando todo o período amostral.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no monitoramento da chuva (deposição apenas úmida) e de espécies gasosas e particuladas presentes na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari, realizado no período de 2006 a 2008, serão apresentados nos parágrafos que seguem, considerando o estudo realizado nas 3 estações localizadas nos municípios de Camaçari, Dias D'Ávila e Lamarão do Passé.

4.1 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DE CHUVA (DEPOSIÇÃO APENAS ÚMIDA)

Os resultados foram analisados para cada espécie e parâmetro envolvidos, considerando o tratamento dos dados em períodos anuais e, também, para o período total amostral (2006-2008). Isso possibilitou uma melhor caracterização da composição química da precipitação úmida, das faixas de pH dos eventos chuvosos e das possíveis correlações entre as variáveis monitoradas no período do estudo.

Nessa avaliação foram considerados somente os dados que atenderam aos requisitos dispostos nos critérios de qualidade estabelecidos para amostras de chuva descritos no Manual do Programa de Precipitação Química da Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2004). Esses requisitos foram apresentados no item 3.4 (Metodologia Aplicada aos Estudos) em capítulo anterior a este.

Valores de referência para os íons e pH medidos na deposição úmida em locais no Brasil e no mundo (incluindo áreas remotas) estão consolidados em tabelas apresentadas no capítulo de conceituação teórica e revisão bibliográfica.

As concentrações das espécies e outros parâmetros determinados na deposição apenas úmida coletada nas 3 estações (Gravatá, Escola e Lamarão) estabelecidas para o estudo são apresentados nas tabelas AP01 a AP31 dispostas no apêndice A. As tabelas 24 a 26, dispostas a seguir, mostram esses resultados de forma resumida.

Tabela 24: Dados consolidado do monitoramento de chuva (deposição apenas úmida) em $\mu\text{mol L}^{-1}$ na estação Gravatá (2006-2008)

Gravatá - Período: 2006-2007	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	75,1	3,70	11,6	7,24	23,7	5,01	1,85	7,06	72,6	5,54	6,50	16,4	-
Mediana	88,1	4,39	12,1	5,67	29,0	5,00	2,28	8,96	91,4	5,41	3,89	21,1	6,25
Média Aritimética	122	5,79	20,5	13,3	36,5	9,44	3,89	12,6	119	5,45	7,53	27,3	13,2
Desvio Padrão	110	4,81	24,6	21,8	37,3	12,0	4,20	11,9	97,0	0,611	9,52	21,1	17,6
Valor Mínimo	10,6	0,929	1,67	-4,27	4,30	0,250	0,256	0,417	6,43	4,26	0,0316	3,30	0,925
Valor Máximo	592,0	28,7	195	170	279	70,0	20,5	50,0	421	7,50	55,0	119	87,7
Gravatá - Período: 2007- 2008													
Média Ponderada Volume	88,4	6,26	15,4	11,2	19,8	17,4	2,92	9,54	69,9	5,22	12,3	21,1	-
Mediana	97,4	5,62	12,0	5,80	18,6	6,75	2,82	10,8	81,6	5,00	10,1	22,1	5,98
Média Aritimética	108	7,41	18,5	13,1	25,6	23,6	4,48	12,1	90,1	5,23	10,4	26,1	9,34
Desvio Padrão	72,4	5,90	17,6	16,5	21,2	39,0	5,44	9,04	67,0	0,59	8,59	17,4	9,07
Valor Mínimo	7,62	1,42	2,76	0,215	0,420	0,250	0,256	0,417	1,61	4,35	0,0562	2,90	1,27
Valor Máximo	445	33,8	84,7	75,8	105	198	35,9	58,3	350	7,25	44,7	117	46,7
Gravatá - Período - 2008													
Média Ponderada Volume	108	5,61	12,2	5,78	19,2	4,89	2,65	10,3	107	5,07	11,1	22,8	-
Mediana	104	5,78	12,1	5,10	20,0	5,00	2,56	10,4	109	5,06	8,71	23,5	8,45
Média Aritimética	122	6,40	12,9	5,47	22,0	6,69	3,21	11,8	124	5,09	10,7	25,3	9,41
Desvio Padrão	72,7	2,61	5,35	3,32	12,5	6,42	1,91	9,54	75,0	0,338	7,71	12,1	6,26
Valor Mínimo	21,4	1,66	4,49	0,399	7,35	0,250	0,769	0,417	8,08	4,49	1,41	7,70	1,13
Valor Máximo	340	12,3	25,1	16,6	73,1	32,5	8,72	41,7	337	5,85	32,4	57,1	27,3

Tabela 25: Dados consolidados do monitoramento de chuva (deposição apenas úmida) em $\mu\text{mol L}^{-1}$ na estação Lamarão (2006-2008)

Lamarão - Período: 2006-2007	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	72,8	3,79	24,2	19,9	39,0	5,35	2,89	7,69	72,6	5,10	16,2	23,2	-
Mediana	76,6	4,47	28,9	22,9	38,5	7,13	2,56	8,33	83,4	5,02	9,55	26,4	7,24
Média Aritimética	109	5,86	31,1	24,7	48,3	7,76	5,06	11,4	107	5,09	17,4	32,1	12,6
Desvio Padrão	114	4,45	22,9	19,5	38,5	6,23	9,83	12,0	93,7	0,644	22,1	24,1	16,7
Valor Mínimo	13,7	0,140	1,67	-7,17	0,516	0,250	0,256	0,417	6,52	3,83	0,0501	4,40	1,33
Valor Máximo	745	22,5	133	97,2	206	37,5	79,5	66,7	590	7,30	148	141	87,5
Lamarão - Período: 2007-2008													
Média Ponderada Volume	80,5	7,27	7,10	4,60	37,3	6,63	2,48	8,48	74,2	4,66	31,6	24,1	-
Mediana	98	5,67	4,36	-0,23	31,4	8,00	3,21	11,7	90,5	4,69	20,7	30,0	5,13
Média Aritimética	113,2	7,48	10,4	4,08	46,7	12,3	4,39	13,0	106	4,74	27,9	32,7	9,56
Desvio Padrão	76	4,59	17,3	16,1	37,9	11,3	4,13	9,76	77,4	0,451	23,0	19,4	13,4
Valor Mínimo	4,90	1,75	0,953	-15,4	0,374	0,250	0,256	0,417	3,36	4,04	1,66	2,20	0,941
Valor Máximo	365	24,4	96,8	76,6	180	50,0	25,6	50,0	342	5,78	91,2	99,1	80,0
Lamarão - Período: 2008													
Média Ponderada Volume	98	5,88	25,0	19,3	40,1	7,49	2,00	8,73	95,1	4,41	49,3	25,8	-
Mediana	113	5,77	31,1	24,4	48,2	8,50	2,05	10,2	113	4,54	29,2	33,0	10,3
Média Aritimética	119	6,16	30,7	24,1	49,5	8,66	2,76	10,4	111	4,48	44,7	30,5	12,0
Desvio Padrão	61	2,10	19,7	18,1	30,2	4,73	2,32	7,94	64,9	0,351	34,1	11,8	9,27
Valor Mínimo	17,5	1,61	3,71	2,43	2,57	0,250	0,513	0,417	10,6	3,90	6,61	3,90	1,68
Valor Máximo	230	12,7	74,9	67,1	122	20,8	12,3	27,1	255	5,18	126	48,8	51,0

Tabela 26: Dados consolidados do monitoramento de chuva (deposição apenas úmida) em $\mu\text{mol L}^{-1}$ na estação Escola (2006-2008)

Escola - Período: 2006-2007	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	81,6	3,80	8,36	3,61	16,2	3,61	1,91	8,42	79,1	5,46	7,73	15,9	-
Mediana	92,3	4,25	9,57	3,41	16,3	5,00	1,79	8,33	99,0	5,15	7,16	19,3	8,63
Média Aritimética	116	5,00	12,3	5,73	18,7	6,27	3,03	12,7	110	5,40	7,56	23,1	15,7
Desvio Padrão	104	3,35	9,27	7,53	13,1	7,29	3,61	13,9	93,5	0,665	6,82	19,4	18,8
Valor Mínimo	9,27	0,718	1,67	-7,65	2,70	0,250	0,256	0,417	5,93	4,43	0,0240	2,70	0,991
Valor Máximo	575	16,6	51,9	44,3	84,2	45,0	20,9	83,3	644	7,62	37,15	123	87,7
Escola - Período: 2007-2008													
Média Ponderada Volume	93,4	5,09	8,63	4,00	11,7	5,66	2,36	10,2	77,2	5,09	14,3	18,8	-
Mediana	108	5,21	10,6	4,28	11,2	6,88	3,08	12,7	104	5,03	9,33	23,2	7,05
Média Aritimética	147	6,24	13,3	5,86	17,5	9,26	4,27	16,1	124	5,18	12,1	27,9	11,0
Desvio Padrão	146	3,31	10,1	7,20	15,6	10,4	4,51	16,0	123	0,595	11,1	21,1	13,6
Valor Mínimo	6,80	1,32	1,89	-1,16	0,374	0,250	0,256	0,417	3,30	4,32	0,0794	3,60	1,07
Valor Máximo	1038	15,9	57,0	52,1	60,5	67,5	30,8	117	883	7,10	47,9	150	86,8
Escola - Período: 2008													
Média Ponderada Volume	122	5,77	11,7	4,57	12,2	7,91	3,57	12,6	120	5,00	13,0	23,2	-
Mediana	122	5,51	11,3	3,69	8,46	6,88	3,08	12,3	125	5,02	9,67	22,3	9,69
Média Aritimética	136	6,19	13,4	5,37	15,6	11,0	4,77	14,8	134	5,02	12,1	26,0	11,6
Desvio Padrão	82,6	2,95	8,55	6,89	22,9	11,0	5,04	12,6	75,4	0,307	8,92	13,0	7,72
Valor Mínimo	28,7	0,655	4,28	-0,0990	0,374	1,25	0,769	0,417	12,6	4,36	1,12	6,60	2,04
Valor Máximo	450	14,5	50,5	42,0	122	57,5	24,4	54,2	420	5,95	43,7	74,7	27,7

4.1.1 Características da chuva (deposição apenas úmida) na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari para o período de 2006 a 2008

Estação Gravatá

A avaliação dos resultados obtidos nas análises das amostras de chuva coletadas na estação Gravatá em Camaçari sinaliza a predominância dos íons Na⁺, Cl⁻ e NH₄⁺ para os três períodos considerados nesse estudo (2006-2007; 2007-2008 e 2008).

Considerando as médias ponderadas por volume, a predominância das espécies na deposição no período 2006 a 2007 pode ser relacionada nessa ordem: Cl⁻ > Na⁺ > NH₄⁺ > SO₄²⁻ > Mg²⁺ > H⁺ > Ca²⁺ > NO₃⁻ > K⁺. Observa-se características semelhantes na composição da chuva na estação Gravatá para os outros 2 períodos em relação aos íons predominantes (Na⁺, Cl⁻ e NH₄⁺). O perfil das outras espécies (SO₄²⁻, Mg²⁺, H⁺, NO₃⁻, Ca²⁺ e K⁺) no período 2006-2007 se diferencia em relação aos outros 2 períodos

como sinalizado na figura 24, sendo muito discretas as diferenças ocorridas. Em 2007 e 2008, a predominância dos íons ocorre nessa ordem: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{H}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$. E no período de junho a outubro de 2008: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$.

Essa estação apresentou os resultados mais baixos de percentual de ocorrência de eventos chuvosos ácidos, no período de 2006 a 2008, onde os valores se encontraram entre 63 a 90%.

Estação Lamarão

A avaliação dos resultados obtidos nas análises das amostras de chuva coletadas na estação Lamarão, em Lamarão do Passé, sinaliza também a predominância dos íons Na^+ , Cl^- e NH_4^+ para os 2 períodos (2006-2007; 2007-2008). Para o período de junho a novembro de 2008, a predominância é alterada para: Na^+ , Cl^- e H^+ . Isso sustenta os resultados obtidos nas medidas de pH para o mesmo período, onde 100% dos eventos chuvosos estudados foram considerados ácidos ($\text{pH} < 5,6$).

Considerando-se todos os íons, a predominância das espécies na deposição apenas úmida desta estação no período de 2006 a 2007 é relacionada nessa ordem: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$.

Observa-se, também, características semelhantes na composição da chuva na estação Lamarão para os outros 2 períodos em relação aos íons predominantes (Na^+ , Cl^- e NH_4^+). O perfil das outras espécies (SO_4^{2-} , Mg^{2+} , H^+ , NO_3^- , Ca^{2+} e K^+) no período 2006-2007 se diferencia em relação aos outros 2 períodos como sinalizado na figura 25.

Observa-se que a predominância dos íons na precipitação na estação Lamarão no período de 2007 a 2008 está relacionada nessa ordem: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$. E no período de junho a outubro de 2008, a predominância dos íons é: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$.

Estação Escola

A avaliação dos resultados obtidos das análises das amostras de chuva coletadas na estação Escola, em Dias D'Ávila, mostra a predominância dos íons Na^+ , Cl^- e NH_4^+ para o período 2006-2007 como ocorre nas 2 outras estações. Esse fato não ocorreu nos 2 outros períodos, onde a predominância muda para: Na^+ , Cl^- e H^+ , com comportamento semelhante ao da estação Lamarão no último período de monitoramento da chuva. A ocorrência de eventos chuvosos ácidos ($\text{pH} < 5,6$) variou entre 77 a 97% nos 2 últimos períodos de monitoramento nesta estação. Essa percentagem foi menor entre 2006 e 2007, quando 70% dos eventos chuvosos foram ácidos.

A predominância das espécies na deposição úmida no período 2006 a 2007 na estação Escola é relacionada nessa ordem: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{H}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$. Comportamento semelhante ocorreu na estação Gravatá em relação à predominância das espécies Cl^- , Na^+ e NH_4^+ para o mesmo período, ratificando os resultados encontrados para valores (63% em Gravatá e 70% em Escola) de ocorrência de eventos chuvosos ácidos nessas estações.

Observa-se, características diferentes na composição da chuva desta estação para os 2 últimos períodos em relação aos íons predominantes (Na^+ , Cl^- e NH_4^+). O perfil das outras espécies (SO_4^{2-} , Mg^{2+} , H^+ , NO_3^- , Ca^{2+} e K^+) no período 2006-2007 se diferencia em relação aos outros 2 períodos como sinalizado na figura 26. Observa-se que a predominância dos íons, de 2007 para 2008, na precipitação na estação Escola está relacionada nessa ordem: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$. No período de junho a outubro de 2008 a predominância dos íons é: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$.

As figuras 26 a 28, descritas nas próximas páginas, apresenta a distribuição dos cátions e ânions analisados na deposição apenas úmida nas 3 estações para os períodos amostrais.

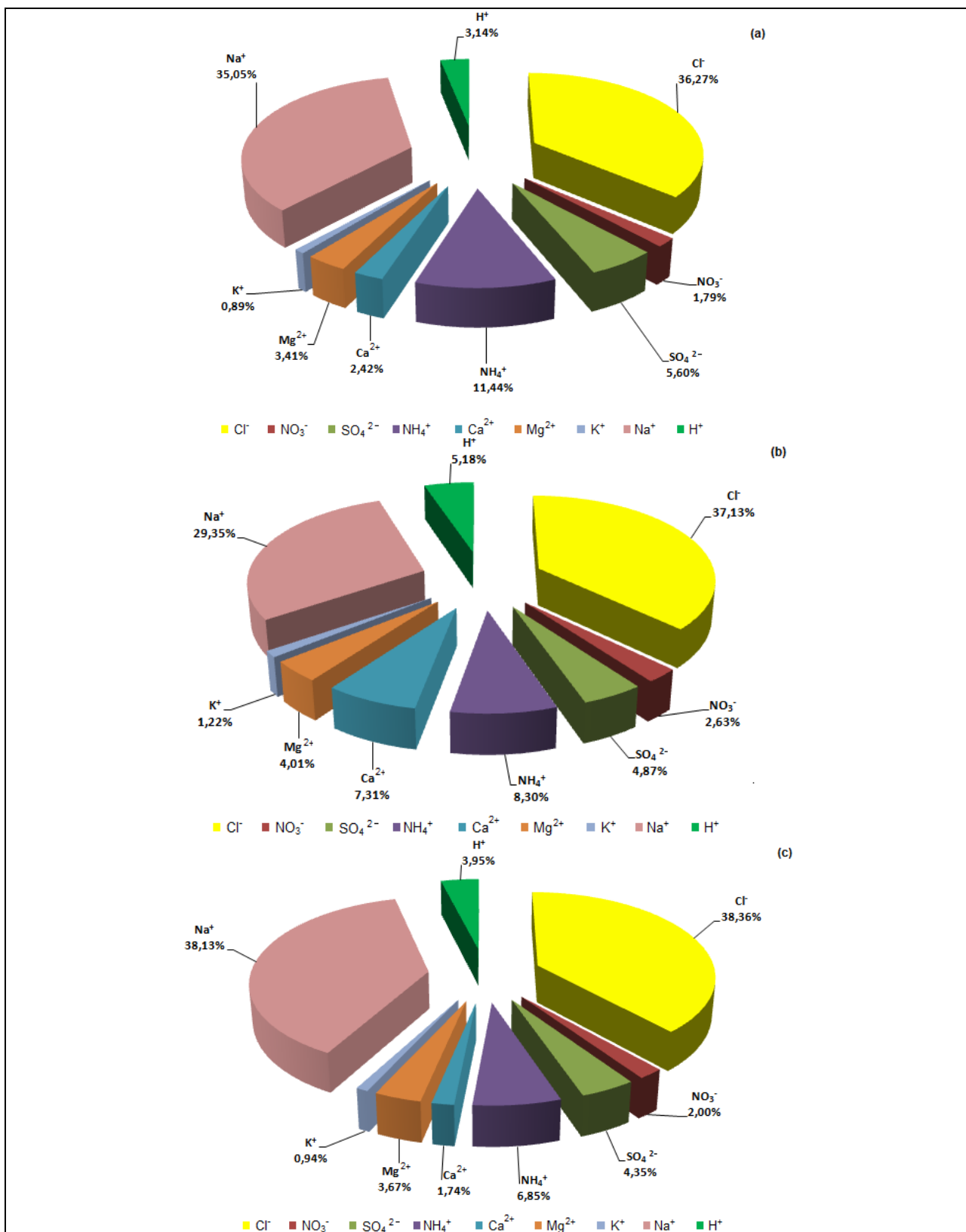


Figura 26: Distribuição dos íons em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na deposição apenas úmida na estação Gravata entre 2006 e 2008: a)2006-2007; b)2007-2008 e c)2008

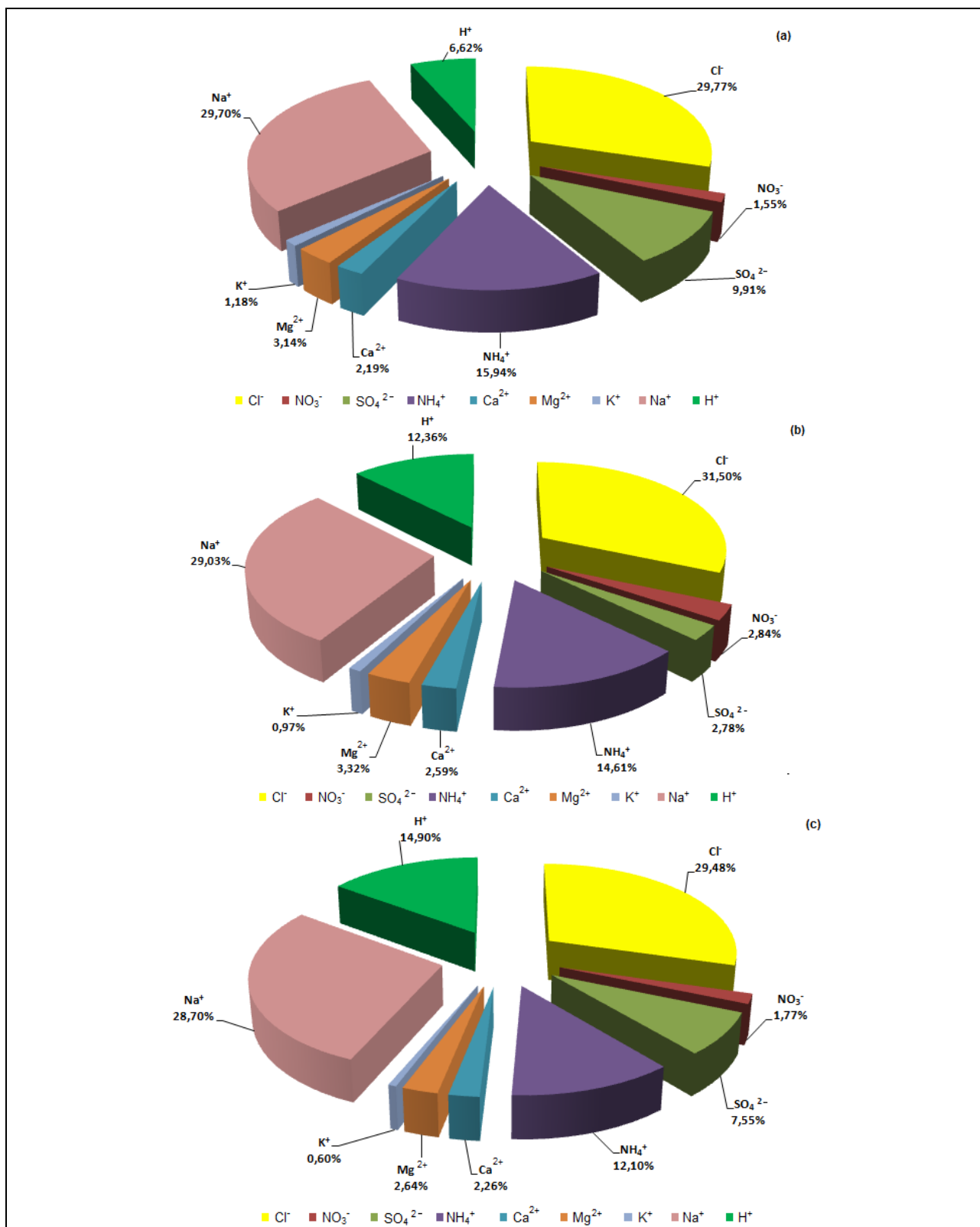


Figura 27: Distribuição dos íons em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na deposição apenas úmida na estação Lamarão entre 2006 e 2008: a)2006-2007; b)2007-2008 e c)2008

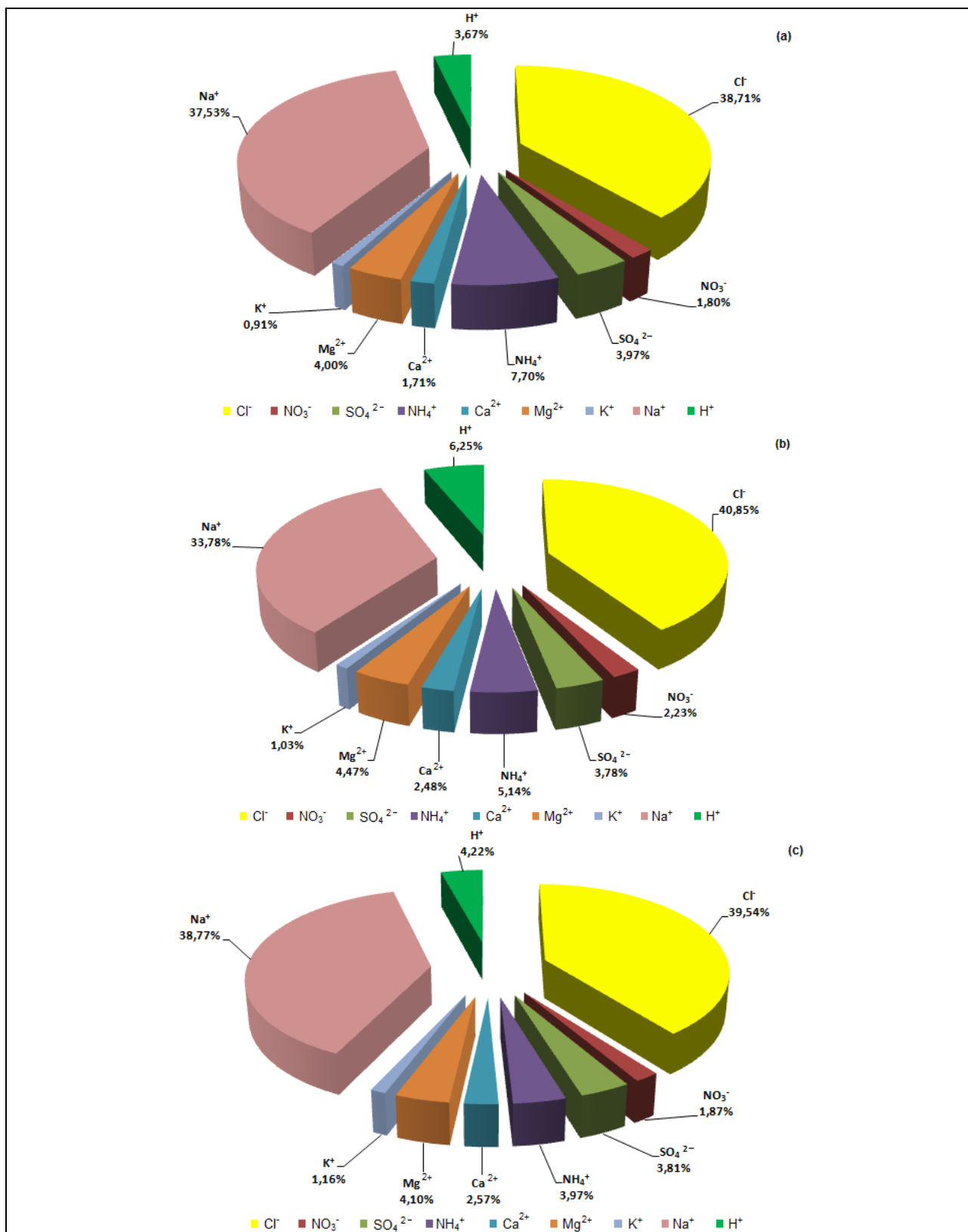


Figura 28: Distribuição dos íons em média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) na deposição apenas úmida na estação Escola entre 2006 e 2008: a)2006-2007; b)2007-2008 e c)2008

Sódio e Cloretos

A relação entre os íons cloreto e sódio Cl^-/Na^+ nas amostras de chuva, calculada a partir das médias ponderadas por volume, foi próxima do valor 1 em todas as estações, indicando a influência da brisa oceânica na região. Considerando-se que não existam outras fontes de sódio na área do estudo, além do spray marinho, assume-se que o sódio (e a maior parte dos íons cloretos) tem origem nas massas de ar carregadas da região oceânica para a área de influência do Pólo Industrial de Camaçari. Outra possível fonte para os íons cloretos na chuva daquelas estações são as emissões de HCl gasoso oriundas de empresas do Pólo Industrial de Camaçari.

A tabela 27, disposta abaixo, apresenta a razão Cl^-/Na^+ para as 3 estações em todos os períodos amostrais. Pode-se observar que apenas no período 2007-2008 nas estações mais próximas do Pólo, Gravatá e Escola, a relação Cl^-/Na^+ se apresenta ligeiramente maior do que 1,0. Isso será discutido, com maior detalhamento, juntamente com a avaliação dos resultados obtidos para ácidos fortes.

Tabela 27: Razão Cl^-/Na^+ na chuva (deposição apenas úmida) das estações localizadas na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari (2006-2008)

Períodos e Estações	Médias Ponderadas e (faixas) em $\mu\text{mol L}^{-1}$		Razão Cl^-/Na^+
	Cl^-	Na^+	Cl^-/Na^+
2006 - 2007			
Gravatá	75,1 (10,6 - 592)	72,6 (6,43 - 421)	1,03
Lamarão	72,8 (13,6 - 745)	72,6 (6,52 - 590)	1,00
Escola	81,6 (9,27 - 575)	79,1 (5,93 - 644)	1,03
2007 - 2008			
Gravatá	88,4 (7,62 - 445)	69,9 (1,61 - 350)	1,26
Lamarão	80,5 (4,90 - 365)	74,2 (3,36 - 342)	1,08
Escola	93,4 (6,80 - 1038)	77,2 (3,30 - 883)	1,21
2008			
Gravatá	108 (21,4 - 340)	107 (8,08 - 337)	1,01
Lamarão	98,0 (17,5 - 230)	95,1 (10,6 - 255)	1,03
Escola	122 (28,7 - 450)	120 (12,6 - 420)	1,02

Estudos realizados no Brasil e outras partes no mundo (Migliavacca *et al.*, 2005; Das, *et al.*, 2005; Migliavacca *et al.*, 2004; Kulshrestha *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2003; Flues *et al.*, 2002; Harrison e Allen, 1991) avaliaram as características da deposição apenas úmida em vários locais e especificamente a razão Cl^-/Na^+ e as possíveis contribuições. Outras fontes antropogênicas (além do spray marinho) foram consideradas nessas avaliações, quando os valores da razão Cl^-/Na^+ foram muito superiores a 1,0 como verificado por Kulshrestha *et al.* (2003) nas medidas encontradas na chuva na cidade de Hyderabad na Índia ($\text{Cl}^-/\text{Na}^+ = 2,32$).

Outros resultados da razão Cl^-/Na^+ muito inferiores a 1,0 indicaram uma pequena influência do spray marinho na composição da chuva local como sinalizado no estudo realizado por Zhang *et al.* (2003) na cidade de Lhasa no Tibet ($\text{Cl}^-/\text{Na}^+ = 0,34$). No Brasil, em Candiota, no Rio Grande do Sul, os estudos realizados por Migliavacca *et al.* (2005, 2004) apresenta valor de 1,09 para a razão Cl^-/Na^+ , indicando a contribuição de cloretos e sódio oriundos do spray marinho para a chuva da região.

Sulfatos, Nitratos e Amônio

Os íons SO_4^{2-} e NO_3^- na chuva têm origem nas transformações de SO_2 e NO_2 que são lançados para a atmosfera da área de influência do Pólo, principalmente por fontes antropogênicas, podendo uma parcela do sulfato também vir do spray marinho através do transporte de massas de ar oceânicas para a região.

A identificação de íons amônio como uma das espécies de maior percentual na chuva está ratificada pela presença de fontes de emissões antropogênicas de amônia gasosa para atmosfera de influência do Pólo. Parte dessa amônia presente na atmosfera reage com ácidos (como sulfúrico, nítrico e clorídrico) e outra parte presente nas nuvens e/ou na atmosfera pode ser carregada pelas chuvas.

O íon amônio contribui com a neutralização da acidez da atmosfera, favorecendo a redução dos eventos de chuva considerada ácida ($\text{pH} < 5,6$) na região. Uma avaliação específica sobre a neutralização da acidez da chuva pelo amônio será apresentada posteriormente.

Existindo apenas o spray marinho como a única fonte de íons sódio na atmosfera da região e utilizando-se o sódio como espécie de referência, foi possível calcular a parcela de SO_4^{2-} não originada por esta fonte, SO_4^{2-} nss (*non sea salt*). Isso foi feito usando-se a expressão descrita em Campos (1995):

$$[\text{SO}_4^{2-} \text{ nss}] = [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{T}} - 0,06 \times [\text{Na}^+] \quad (11)$$

Onde, $[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{T}}$ é igual ao sulfato analisado nas amostras de chuva e 0,06 corresponde à razão molar $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$ na água do mar.

Outros estudos realizados para avaliação da composição química da chuva também fazem uso da expressão mencionada anteriormente (Campos *et al.*, 2007; Hu *et al.*, 2003; Kulshrestha *et al.*, 2003; Mello, 2001; Bravo *et al.*, 2000; Dikaiakos *et al.*, 1990).

A tabela 28 apresenta valores das duas formas de sulfato (SO_4^{2-} e SO_4^{2-} nss), onde observa-se que a estação Lamarão apresenta o maior percentual de SO_4^{2-} nss (82%) no período de 2006-2007. Isto ratifica a possibilidade de maior carga de emissão de compostos de enxofre originada de metalurgia nas suas proximidades, além de outras fontes à jusante.

Em Gravatá observa-se para o período seguinte (2007-2008) o maior percentual de SO_4^{2-} nss (73%), podendo estar associado às emissões de tráfego urbano além das emissões oriundas do Pólo.

Tabela 28: Concentrações de SO_4^{2-} e $\text{SO}_4^{2-}\text{nss}$ na chuva (deposição apenas úmida) das estações localizadas na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari (2006-2008)

Períodos e Estações	Médias Ponderadas e (faixas) em $\mu\text{mol L}^{-1}$		Razão $\text{SO}_4^{2-}\text{nss}/\text{SO}_4^{2-}$
2006 - 2007	SO_4^{2-}	$\text{SO}_4^{2-}\text{nss}$	$\text{SO}_4^{2-}\text{nss}/\text{SO}_4^{2-}$
Gravatá	11,6 (1,67 - 195)	7,24 (-4,27 - 170)	0,624
Lamarão	24,2 (1,67 - 133)	19,9 (-7,17 - 97,2)	0,822
Escola	8,36 (1,67 - 51,9)	3,61 (-7,65 - 44,3)	0,432
2007 - 2008	SO_4^{2-}	$\text{SO}_4^{2-}\text{nss}$	$\text{SO}_4^{2-}\text{nss}/\text{SO}_4^{2-}$
Gravatá	15,4 (2,76 - 84,7)	11,2 (0,210 - 75,8)	0,727
Lamarão	7,10 (0,953 - 96,8)	4,60 (-15,4 - 76,6)	0,648
Escola	8,63 (1,89 - 57,0)	4,00 (-1,16 - 52,1)	0,463
2008	SO_4^{2-}	$\text{SO}_4^{2-}\text{nss}$	$\text{SO}_4^{2-}\text{nss}/\text{SO}_4^{2-}$
Gravatá	12,2 (4,49 - 25,1)	5,78 (0,399 - 16,6)	0,474
Lamarão	25,0 (3,71 - 74,9)	19,3 (2,43 - 67,1)	0,772
Escola	11,7 (4,28 - 50,5)	4,57 (-0,0990 - 42,0)	0,391

Os valores de média ponderada por volume para nitratos medidos na chuva da área de influência do Pólo, no período de 2006 a 2008, são 6 a 9 vezes inferiores àqueles encontrados em estudos realizados no Brasil e outros locais no mundo (Huang *et al.*, 2008; Pelicho *et al.*, 2006; Al-Khashman *et al.*, 2005; Tresmondi *et al.*, 2005; Leal *et al.*, 2004; Migliavacca *et al.*, 2004; Kulshrestha *et al.*, 2003) e aproximadamente 2 a 3 vezes superiores àqueles reportados em estudos realizados em outros locais no Brasil e áreas remotas no mundo (Migliavacca *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2003; Mello *et al.*, 2001; Campos, 1995).

Em relação aos valores de média ponderada por volume para sulfatos, os valores encontrados nesse estudo são ligeiramente inferiores àqueles encontrados em estudos realizados no Brasil e outros locais no mundo (Pelicho *et al.*, 2006; Das *et al.*, 2005; Tresmondi *et al.*, 2005; Leal *et al.*, 2004; Kulshrestha *et al.*, 2003; Jain *et al.*, 2000; Campos, 1995) e aproximadamente 4 vezes menores do que aqueles reportados por estudos realizados na Ásia (Huang *et al.*, 2008; Al-Khashman *et al.*, 2005). Esses mesmos valores de média para sulfatos encontrados na área de influência do Pólo são,

aproximadamente, 2 a 3 vezes superiores àqueles reportados em estudos realizados em áreas remotas no mundo (Zhang *et al.*, 2003).

Cálcio, Magnésio e Potássio

As possíveis fontes de Ca^{2+} e Mg^{2+} na chuva são o solo, por ressuspensão, além da influência das massas de ar oceânicas. Quanto ao potássio, a mais provável fonte de K^+ para a atmosfera é a queima de biomassa (possíveis queimadas ocorridas na própria região) e também a contribuição das massas de ar oceânicas.

Os valores de média ponderada por volume para cálcio, magnésio e potássio medidos na chuva da área de influência do Pólo, no período de 2006 a 2008, estão dentro de uma faixa de valores encontrados no Brasil e outros locais no mundo para áreas urbanas e industriais. Observa-se que os maiores valores de média ponderada de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ encontrados nesse estudo são inferiores (exceto para K^+) àqueles encontrados em área remota no Tibet (Zhang *et al.*, 2003) e superiores aos encontrados, também em área remota, na Amazônia (Williams *et al.*, 1997).

Níveis de pH

Os dados condensados de espécies e parâmetros na chuva das 3 estações foram apresentados anteriormente nas tabelas 24 a 26, onde se pode observar pelos valores mínimos e máximos, ali reportados, que as faixas de valores de pH da chuva nas três estações na área de influência do Pólo se encontram entre 3,8 e 7,6 (estação Gravatá, Camaçari: 4,3 a 7,5; estação Lamarão, Lamarão do Passé: 3,8 a 7,3 e estação Escola, Dias D'Ávila: 4,3 a 7,6), sendo a frequência de valores de pH maiores do que 5,6 na chuva, no período monitorado, em média de: 23% (Gravatá); 8% (Lamarão) e 16% (Escola).

A figura 29 apresenta a frequência de pH para as 3 estações nos 3 períodos. Essa figura mostra a grande maioria de ocorrência de eventos chuvosos ácidos ($\text{pH} < 5,6$) nas 3 áreas monitoradas no período de 2006 a 2008.

A presença de ácidos inorgânicos na chuva, poluentes secundários formados a partir das reações de SO_2 e NO_2 e poluentes emitidos diretamente nas fontes geradoras, identificados na atmosfera local, podem ser considerados a principal contribuição para ocorrência dos eventos chuvosos ácidos.

Os percentuais de ocorrência de eventos chuvosos ácidos ($\text{pH} < 5,6$), apresentados na figura 29, variaram nas estações e nos períodos monitorados, onde a estação Lamarão, em Lamarão do Passé, mostra os maiores valores variando entre 82 e 100% de ocorrência de eventos chuvosos ácidos. Esses resultados indicam a associação com as fontes antropogênicas de emissões gasosas presentes na atmosfera dessa área. Em contrapartida, a estação Gravatá, em Camaçari, apresenta menores percentuais, ao longo de todo o período amostral, variando entre 63% e 71%.

Na estação Escola, em Dias D'Ávila, os valores de ocorrência de eventos chuvosos ácidos variaram entre 70 e 97%. As reações para transformação de uma parte do SO_2 e do NO_2 em H_2SO_4 e HNO_3 e destes para os sais de amônio (NH_4HSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e NH_4NO_3), em conjunto com outros fatores, são variáveis que podem influenciar na formação de eventos chuvosos ácidos nas áreas estudadas.

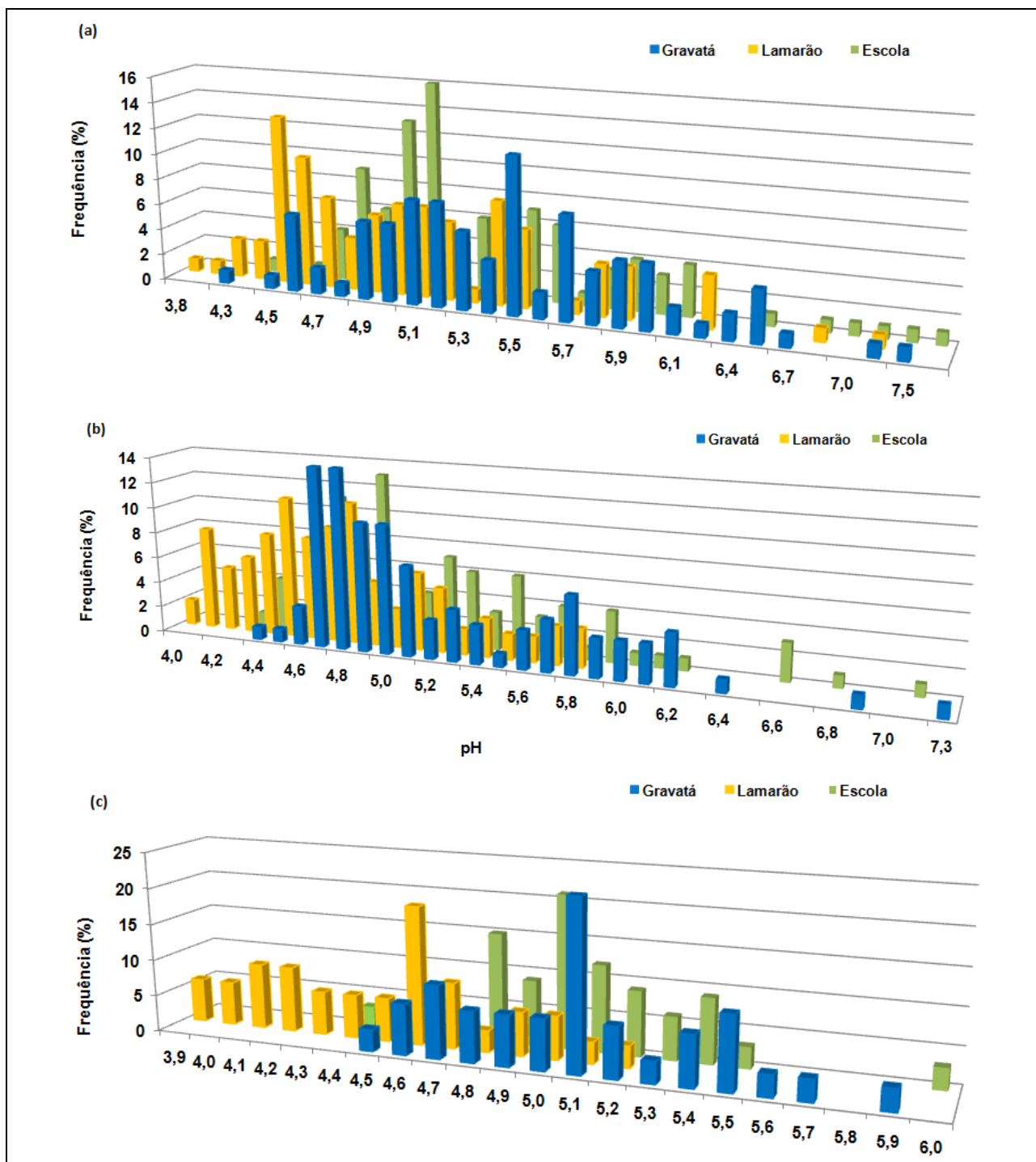


Figura 29: Frequência de valores de pH na deposição apenas úmida nas estações de monitoramento na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari nos períodos: (a)2006-2007; (b)2007-2008 e (c)2008

Avaliação de correlações entre íons na chuva (deposição apenas úmida) na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari

A avaliação de possíveis correlações entre os íons medidos na chuva foi realizada através do uso do coeficiente de correlação de Pearson, Produto Momento de Pearson, onde o objetivo foi verificar a existência de possíveis correlações entre as variáveis estudadas. Para isso, foram construídas matrizes de correlações para os pares de íons em cada estação em todos os períodos amostrais.

Estudos realizados no Brasil e outros locais no mundo visando a caracterização da deposição apenas úmida utilizaram essa técnica de avaliação de correlações entre os pares de íons através da matriz de Pearson (Huang *et al.*, 2008; Garcia *et al.*, 2006; Al-Khashman, 2005; Tresmondi *et al.*, 2005; Tu *et al.*, 2005; Flues *et al.*, 2004; Leal *et al.*, 2004; Mello, 2004; Hu *et al.*, 2003; Flues *et al.*, 2002; Mello, 2001; Bravo *et al.*, 2000; McCurdy *et al.*, 1999; Dikaiakos *et al.*, 1990). Esses estudos apresentaram análises e conclusões relevantes para os locais monitorados quanto à caracterização da composição da deposição apenas úmida, contribuições antropogênicas e naturais e possíveis associações com eventos chuvosos ácidos.

Uma das grandes aplicações no uso dessa função estatística está relacionada com a avaliação de correlações entre os íons e as possíveis fontes de contribuição dessas espécies para a chuva local. Essas informações servem como elementos para melhorar o conhecimento sobre a formação e as características da precipitação local.

As matrizes, dispostas nas tabelas 29 a 31, mostram resultados significativos de correlações entre os íons medidos nas amostras de chuva coletadas no período de 2006 a 2008 na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari. Os resultados estão dispostos de forma consolidada naquelas tabelas, nas quais são apresentadas as matrizes de Pearson obtidas para os pares de íons em cada estação para os períodos amostrais (2006-2007; 2007-2008 e 2008).

Tabela 29: Coeficientes de correlação de Pearson para íons na deposição apenas úmida na área de influência do Pólo para 2006-2007

Período:2006-2007		Matriz de Correlação de íons - Coeficiente Pearson								
		H ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Gravatá	Na ⁺	-0,10								
	Ca ²⁺	-0,14	0,62							
	Mg ²⁺	-0,05	0,76	0,53						
	K ⁺	-0,16	0,70	0,62	0,82					
	NH ₄ ⁺	0,04	0,47	0,63	0,34	0,51				
	Cl ⁻	-0,11	0,83	0,51	0,89	0,72	0,44			
n = 83	NO ₃ ⁻	0,07	0,47	0,70	0,38	0,53	0,76	0,38		
	SO ₄ ²⁻	0,04	0,58	0,78	0,47	0,58	0,92	0,54	0,79	
	SO ₄ ²⁻ nss	0,07	0,39	0,72	0,33	0,47	0,91	0,39	0,77	0,98
Lamarão	H ⁺									
	Na ⁺	0,44								
	Ca ²⁺	0,11	0,60							
	Mg ²⁺	0,37	0,87	0,71						
	K ⁺	-0,03	0,21	0,38	0,37					
	NH ₄ ⁺	0,08	0,32	0,39	0,26	0,11				
n = 72	Cl ⁻	0,45	0,89	0,61	0,95	0,26	0,26			
	NO ₃ ⁻	0,11	0,29	0,66	0,32	0,17	0,18	0,27		
	SO ₄ ²⁻	0,52	0,67	0,65	0,67	0,44	0,52	0,63	0,33	
	SO ₄ ²⁻ nss	0,49	0,50	0,59	0,53	0,46	0,52	0,48	0,31	0,98
Escola	H ⁺									
	Na ⁺	-0,10								
	Ca ²⁺	-0,14	0,60							
	Mg ²⁺	-0,09	0,85	0,60						
	K ⁺	-0,07	0,70	0,55	0,79					
	NH ₄ ⁺	0,09	0,18	0,14	0,11	0,22				
n = 70	Cl ⁻	-0,10	0,85	0,60	0,98	0,75	0,14			
	NO ₃ ⁻	0,35	0,23	0,51	0,16	0,24	0,14	0,14		
	SO ₄ ²⁻	-0,02	0,58	0,85	0,69	0,63	0,24	0,69	0,49	
	SO ₄ ²⁻ nss	0,05	-0,03	0,59	0,21	0,26	0,16	0,22	0,44	0,80

Simbologia utilizada:

valores em itálico são estatisticamente significantes com $p < 0,01$

valores em itálico e negrito são estatisticamente significantes com $p < 0,001$

Tabela 30: Coeficientes de correlação de Pearson para íons na deposição apenas úmida na área de influência do Pólo para 2007-2008

Período:2007-2008		Matriz de Correlação de íons - Coeficiente Pearson								
		H ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Gravatá	Na ⁺	-0,10								
	Ca ²⁺	-0,42	0,28							
	Mg ²⁺	-0,19	0,85	0,61						
	K ⁺	-0,26	0,60	0,70	0,81					
	NH ₄ ⁺	-0,26	0,37	0,40	0,53	0,59				
	Cl ⁻	-0,14	0,93	0,46	0,95	0,77	0,46			
n = 72	NO ₃ ⁻	-0,25	0,36	0,74	0,62	0,68	0,46	0,48		
	SO ₄ ²⁻	-0,30	0,39	0,74	0,61	0,67	0,60	0,52	0,73	
	SO ₄ ²⁻ nss	-0,30	0,17	0,72	0,45	0,57	0,55	0,33	0,70	0,97
Lamarão	H ⁺									
	Na ⁺	0,26								
	Ca ²⁺	0,13	0,50							
	Mg ²⁺	0,31	0,87	0,73						
	K ⁺	0,08	0,56	0,64	0,74					
	NH ₄ ⁺	0,40	0,43	0,14	0,34	0,06				
n = 64	Cl ⁻	0,25	0,87	0,66	0,97	0,71	0,33			
	NO ₃ ⁻	0,03	0,09	0,49	0,46	0,68	-0,22	0,34		
	SO ₄ ²⁻	-0,03	0,39	0,05	0,29	0,12	0,26	0,35	0,10	
	SO ₄ ²⁻ nss	-0,11	0,13	-0,09	0,06	-0,03	0,16	0,12	0,08	0,96
Escola	H ⁺									
	Na ⁺	-0,15								
	Ca ²⁺	-0,01	0,44							
	Mg ²⁺	-0,04	0,96	0,55						
	K ⁺	-0,06	0,82	0,63	0,86					
	NH ₄ ⁺	-0,18	0,43	0,11	0,33	0,34				
n = 70	Cl ⁻	-0,09	0,96	0,47	0,98	0,85	0,37			
	NO ₃ ⁻	0,13	0,17	0,66	0,23	0,36	0,16	0,19		
	SO ₄ ²⁻	-0,04	0,70	0,73	0,76	0,72	0,46	0,72	0,49	
	SO ₄ ²⁻ nss	0,09	-0,03	0,58	0,09	0,18	0,21	0,03	0,52	0,69

Simbologia utilizada:

valores em itálico são estatisticamente significantes com $p < 0,01$

valores em itálico e negrito são estatisticamente significantes com $p < 0,001$

Tabela 31: Coeficientes de correlação de Pearson para íons na deposição apenas úmida na área de influência do Pólo para 2008

Período: 2008		Matriz de Correlação de íons - Coeficiente Pearson								
		H ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Gravatá	Na ⁺	-0,25								
	Ca ²⁺	0,09	<i>0,71</i>							
	Mg ²⁺	-0,26	<i>0,94</i>	<i>0,79</i>						
	K ⁺	-0,11	<i>0,81</i>	<i>0,73</i>	<i>0,91</i>					
	NH ₄ ⁺	-0,16	0,40	0,47	0,37	0,50				
	Cl ⁻	-0,28	<i>0,96</i>	<i>0,72</i>	<i>0,96</i>	<i>0,83</i>	0,41			
n = 30	NO ₃ ⁻	0,04	<i>0,62</i>	<i>0,59</i>	<i>0,72</i>	<i>0,69</i>	0,47	0,55		
	SO ₄ ²⁻	0,00	<i>0,79</i>	<i>0,73</i>	<i>0,77</i>	<i>0,73</i>	0,54	<i>0,78</i>	0,53	
	SO ₄ ²⁻ nss	0,33	-0,09	0,18	-0,05	0,08	0,32	-0,05	0,01	<i>0,55</i>
Lamarão	Na ⁺	-0,29								
	Ca ²⁺	-0,21	<i>0,72</i>							
	Mg ²⁺	-0,39	<i>0,82</i>	<i>0,71</i>						
	K ⁺	-0,42	<i>0,62</i>	<i>0,72</i>	<i>0,70</i>					
	NH ₄ ⁺	0,24	0,39	<i>0,58</i>	0,20	0,25				
	Cl ⁻	-0,48	<i>0,71</i>	<i>0,59</i>	<i>0,82</i>	<i>0,60</i>	0,20			
n = 32	NO ₃ ⁻	-0,03	0,34	0,36	0,44	0,23	0,21	0,25		
	SO ₄ ²⁻	-0,06	0,49	<i>0,63</i>	0,47	0,45	<i>0,77</i>	0,36	0,11	
	SO ₄ ²⁻ nss	0,00	0,31	0,54	0,32	0,35	<i>0,75</i>	0,24	0,04	<i>0,98</i>
Escola	Na ⁺	-0,24								
	Ca ²⁺	0,09	0,45							
	Mg ²⁺	-0,03	<i>0,73</i>	0,53						
	K ⁺	-0,01	0,31	0,37	<i>0,90</i>					
	NH ₄ ⁺	0,18	0,14	0,34	0,12	0,01				
	Cl ⁻	-0,28	<i>0,97</i>	0,43	<i>0,76</i>	0,33	0,14			
n = 34	NO ₃ ⁻	-0,28	0,25	<i>0,55</i>	0,17	0,14	0,33	0,22		
	SO ₄ ²⁻	-0,11	<i>0,60</i>	<i>0,88</i>	0,42	0,16	0,34	<i>0,59</i>	<i>0,56</i>	
	SO ₄ ²⁻ nss	0,02	0,08	<i>0,79</i>	0,05	0,00	0,32	0,09	0,53	<i>0,85</i>

Simbologia utilizada:

valores em itálico são estatisticamente significantes com $p < 0,01$

valores em itálico e negrito são estatisticamente significantes com $p < 0,001$

Correlações entre íons nas estações para o período 2006 a 2007

As matrizes de Pearson obtidas para os íons medidos na chuva na área de influência do Pólo, no período de 2006 a 2007, apresentaram correlações significativas e comuns a todas as estações entre os pares: $\text{Na}^+ \times \text{Mg}^{2+}$; $\text{Na}^+ \times \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Mg}^{2+} \times \text{Cl}^-$. Isso indica a possibilidade de que os íons Na^+ , Mg^{2+} e Cl^- possuam a mesma origem e associada às massas de ar oceânicas transportadas para a região, principalmente quando a predominância de ventos era de Leste e Sudeste. A frequência da direção dos ventos nos meses do período amostral para todas as estações são apresentadas nas tabelas AN01 a AN09 dispostas no anexo B. Outras correlações podem indicar origem comum ao solo da região como aquelas entre Ca^{2+} e SO_4^{2-} .

Outras correlações significativas, não comuns a todas as estações no mesmo período monitorado, foram observadas entre os pares: $\text{Ca}^{2+} \times \text{NO}_3^-$ (Gravatá e Lamarão); $\text{Mg}^{2+} \times \text{K}^+$ e $\text{K}^+ \times \text{Cl}^-$ (Gravatá e Escola); $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}$ e $\text{NH}_4^+ \times \text{NO}_3^-$ (Gravatá) e $\text{SO}_4^{2-} \times \text{Cl}^-$ (Escola).

As correlações obtidas entre os íons $\text{Mg}^{2+} \times \text{K}^+$ e $\text{K}^+ \times \text{Cl}^-$ sinalizam a possível influência do spray marinho nessas áreas pelo transporte das massas de ar do oceano para as estações Gravatá e Escola, principalmente quando a predominância dos ventos era de Leste (como descrito nas tabelas AN01, AN02, AN07 e AN08, anexo B).

As correlações apresentadas nas matrizes entre $\text{Ca}^{2+} \times \text{NO}_3^-$ indicam a origem comum ao solo da região (poeira ressuspensa). E para os pares $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}$, $\text{NH}_4^+ \times \text{NO}_3^-$ e $\text{SO}_4^{2-} \times \text{Cl}^-$ indicam a origem associada às emissões antropogênicas, possivelmente, oriundas de fontes locais como o Pólo. Observa-se que os íons sulfato e amônio (estação Gravatá em Camaçari) estão significativamente correlacionados, o que pode ter origem no particulado fino (produto da transformação atmosférica, neutralização, dos ácidos inorgânicos presentes na atmosfera da região). Quando os ventos sopravam, principalmente, com predominância de Norte e Nordeste (tabelas AN01, AN02, anexo B), favorecia o transporte de massas de ar do Pólo para Camaçari.

Correlações entre íons nas estações para o período 2007 a 2008

As matrizes de Pearson obtidas para os íons medidos na chuva na área de influência do Pólo, no período de 2007 a 2008, apresentaram correlações significativas e comuns a todas as estações entre os pares $\text{Na}^+ \times \text{Mg}^{2+}$; $\text{Na}^+ \times \text{Cl}^-$; $\text{Mg}^{2+} \times \text{K}^+$; $\text{Mg}^{2+} \times \text{Cl}^-$ e $\text{K}^+ \times \text{Cl}^-$, indicando a possibilidade de que os íons Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Cl^- possuam a mesma origem e associada às massas de ar oceânicas transportadas para a região, quando a predominante de ventos era de Leste e Sudeste. A frequência da direção dos ventos nos meses do período amostral para todas as estações são apresentadas nas tabelas (AN02-AN03; AN05-AN06 e AN08-AN09, dispostas no anexo B).

Outras correlações significativas, não comuns a todas as estações no mesmo período monitorado, foram observadas entre os pares: $\text{Na}^+ \times \text{K}^+$ e $\text{Na}^+ \times \text{SO}_4^{2-}$ (Escola); $\text{Ca}^{2+} \times \text{K}^+$ e $\text{Ca}^{2+} \times \text{NO}_3^-$ (Gravatá); $\text{Ca}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Mg}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Cl}^- \times \text{SO}_4^{2-}$ (Lamarão).

As correlações obtidas entre os íons $\text{Na}^+ \times \text{K}^+$ e $\text{Ca}^{2+} \times \text{K}^+$ indicam a possibilidade de mesma origem para os íons Na^+ e K^+ e Ca^{2+} (spray marinho), principalmente quando a predominante dos ventos na região era de Leste e Sudeste.

As correlações apresentadas nas matrizes entre $\text{Na}^+ \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+} \times \text{NO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Mg}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$ indicam a origem comum ao solo da região (poeira ressuspensa). A correlação observada entre $\text{Cl}^- \times \text{SO}_4^{2-}$ indicam a origem associada a fontes antropogênicas, possivelmente oriundas de emissões do Pólo, quando a direção predominante dos ventos era principalmente de Sudeste.

Correlações entre íons nas estações para 2008

As matrizes de Pearson obtidas para os íons medidos na chuva na área de influência do Pólo, no período de junho a novembro de 2008, apresentaram correlações significativas e comuns a todas as estações entre os pares: $\text{Na}^+ \times \text{Mg}^{2+}$; $\text{Na}^+ \times \text{Cl}^-$; $\text{Mg}^{2+} \times \text{K}^+$ e $\text{Mg}^{2+} \times \text{Cl}^-$. Isso indica a possibilidade de que os íons Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Cl^- possuam

a mesma origem e associada às massas de ar oceânicas transportadas para a região, quando a predominante de ventos era de Leste e Sudeste. A frequência da direção dos ventos nos meses do período amostral para todas as estações são apresentadas nas tabelas (AN03; AN06 e AN09, dispostas no anexo B).

Outras correlações significativas, não comuns a todas as estações no mesmo período monitorado, foram observadas entre os pares: $\text{Na}^+ \times \text{K}^+$, $\text{Na}^+ \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+} \times \text{Cl}^-$, $\text{Ca}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Mg}^{2+} \times \text{NO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{K}^+ \times \text{Cl}^-$, $\text{K}^+ \times \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Cl}^- \times \text{SO}_4^{2-}$ (Gravatá); $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2- \text{ nss}}$ (Lamarão); $\text{Ca}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Ca}^{2+} \times \text{SO}_4^{2- \text{ nss}}$; $\text{Na}^+ \times \text{Ca}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+} \times \text{Mg}^{2+}$ e $\text{Ca}^{2+} \times \text{K}^+$ (Gravatá e Lamarão).

As correlações obtidas entre $\text{Na}^+ \times \text{K}^+$, $\text{Ca}^{2+} \times \text{Cl}^-$, $\text{K}^+ \times \text{Cl}^-$, $\text{Na}^+ \times \text{Ca}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+} \times \text{Mg}^{2+}$ e $\text{Ca}^{2+} \times \text{K}^+$ indicam a possibilidade de mesma origem para os íons Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Cl^- (spray marinho), principalmente quando a predominante dos ventos na região era de Leste e Sudeste.

As correlações entre $\text{Na}^+ \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Mg}^{2+} \times \text{NO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{K}^+ \times \text{SO}_4^{2-}$ indicam a origem comum ao solo da região (poeira ressuspensa). E as correlações entre $\text{Cl}^- \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2-}$, $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2- \text{ nss}}$ indicam a origem associada a fontes antropogênicas, possivelmente, oriundas de emissões do Pólo. O transporte das massas de ar do Pólo para Camaçari (estação Gravatá) e Lamarão do Passé (estação Lamarão) era favorecido quando a direção predominante dos ventos era, principalmente, de Norte/Nordeste e Sudeste (respectivamente). Isso pode ser observado nas tabelas AN03 e AN06 dispostas no anexo B.

Observa-se que os íons sulfato e amônio (na estação Lamarão) estão significativamente correlacionados, o que pode ter origem no particulado fino (produto da transformação atmosférica, neutralização, dos ácidos inorgânicos presentes na atmosfera da região).

4.1.2 Avaliação da neutralização da acidez da chuva na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari pelo spray marinho

Segundo McCune (1991 *apud* Campos, 1995, p.170), o spray marinho, formado originalmente por componentes da água do mar poderia manter, até certo ponto, sua capacidade tamponante. Ao serem transportadas na atmosfera, as partículas de spray marinho podem perder parte do seu conteúdo de água e concentrar seus componentes. O efeito determinante do grau de hidratação das partículas salinas é a umidade relativa do ar. Compostas primordialmente de NaCl, cujo ponto de deliquescência é 75% UR, tornam-se cristais sólidos a 50% UR e são gotículas a 80% UR (abaixo e acima daquele ponto, respectivamente).

A quantidade de componentes ácidos na precipitação é controlada pela trajetória das massas de ar e existe uma interação entre esses componentes e o sal marinho (Jickell *et al.*, 1982 *apud* Campos, 1995, p.170; Galloway *et al.*, 1993).

Para quantificar a parcela da acidez da chuva neutralizada pelo spray marinho, foi utilizada a expressão proposta por Galloway *et al.* (1983) e adaptada para a região do Recôncavo como descrito em Campos *et al.* (2007).

A acidez total da precipitação é definida como a soma da concentração de H⁺ medido na chuva (H⁺ med.) e a sua fração de alcalinidade oriunda do spray marinho (Alk_{SS}), sendo expressa por:

$$H^+_{T} = H^+_{med.} + Alk_{SS} \quad (11)$$

Nesse caso, a alcalinidade do spray marinho é calculada considerando a alcalinidade da água do mar (Alk_{SS}) e o sódio como traçador marinho:

$$\text{AlK}_{\text{ss}} = [\text{Na}^+]_{\text{ppt}} \times [\text{Alk}]_{\text{sw}} / [\text{Na}^+]_{\text{sw}} \quad (12)$$

Segundo Galloway *et al.* (1983), a expressão descrita abaixo pode ser utilizada para calcular a alcalinidade do spray marinho (AlK_{ss}):

$$[\text{Alk}]_{\text{ss}} = 0,0048 [\text{Na}^+]_{\text{ppt}} \quad (13)$$

Para a relação $[\text{Alk}]_{\text{sw}} / [\text{Na}^+]_{\text{sw}}$ corresponder a 0,0048, foi considerado que:

$$[\text{Alk}]_{\text{sw}} = 2,30 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ e } [\text{Na}^+]_{\text{sw}} = 4,68 \text{ mol} \times 10^{-1} \text{ L}^{-1}$$

Estudos realizados por Campos (1995) e outros reportados em Campos *et al.* (2007) apresentam a expressão proposta por Galloway com as adaptações para considerar as condições ambientais mais próximas da realidade da região do Recôncavo (para temperatura 25°C e salinidade correspondente a 34‰). Assim, os valores de $[\text{Alk}]_{\text{sw}}$ e $[\text{Na}^+]_{\text{sw}}$ passam a ser:

$$[\text{Alk}]_{\text{sw}} = 2,80 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ e } [\text{Na}^+]_{\text{sw}} = 4,65 \text{ mol} \times 10^{-1} \text{ L}^{-1}$$

E nesse caso a relação $[\text{Alk}]_{\text{sw}} / [\text{Na}^+]_{\text{sw}}$ fica igual a 0,00602.

Assim, o cálculo da $[\text{Alk}]_{\text{ss}}$ fica expresso como:

$$[\text{Alk}]_{\text{ss}} = 0,00602 [\text{Na}^+]_{\text{ppt}} \quad (14)$$

Para esse estudo foi utilizada a expressão (14), considerando que a área estudada está inserida na área amostral realizada no estudo para caracterização da chuva (deposição apenas úmida) descrito em Campos (1995). Logo, a acidez total nesse estudo foi calculada através da expressão descrita abaixo:

$$H^+_{\text{T}} = H^+_{\text{med.}} + 0,00602 [\text{Na}^+]_{\text{ppt}} \quad (15)$$

A tabela AP32, descrita no apêndice B, representa um exemplo de tabela com dados de alcalinidade do spray marinho, percentual de neutralização e acidez total na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de junho a agosto de 2006.

O apêndice B, também, apresenta a memória de cálculo utilizada para encontrar os valores de percentual de neutralização, alcalinidade do spray marinho e da acidez total. Essa memória de cálculo considera todas as equações explicadas nos parágrafos anteriores.

A figura 30, disposta a seguir, apresenta o percentual de neutralização (versus a relação $\text{Na}^+/\text{H}^+_{\text{med.}}$) de forma consolidada e também individual para todas as estações em todo o período amostral. Observa-se nessa figura a faixa de percentuais de neutralização da acidez da chuva pelo spray marinho e a ocorrência pontual de altos valores.

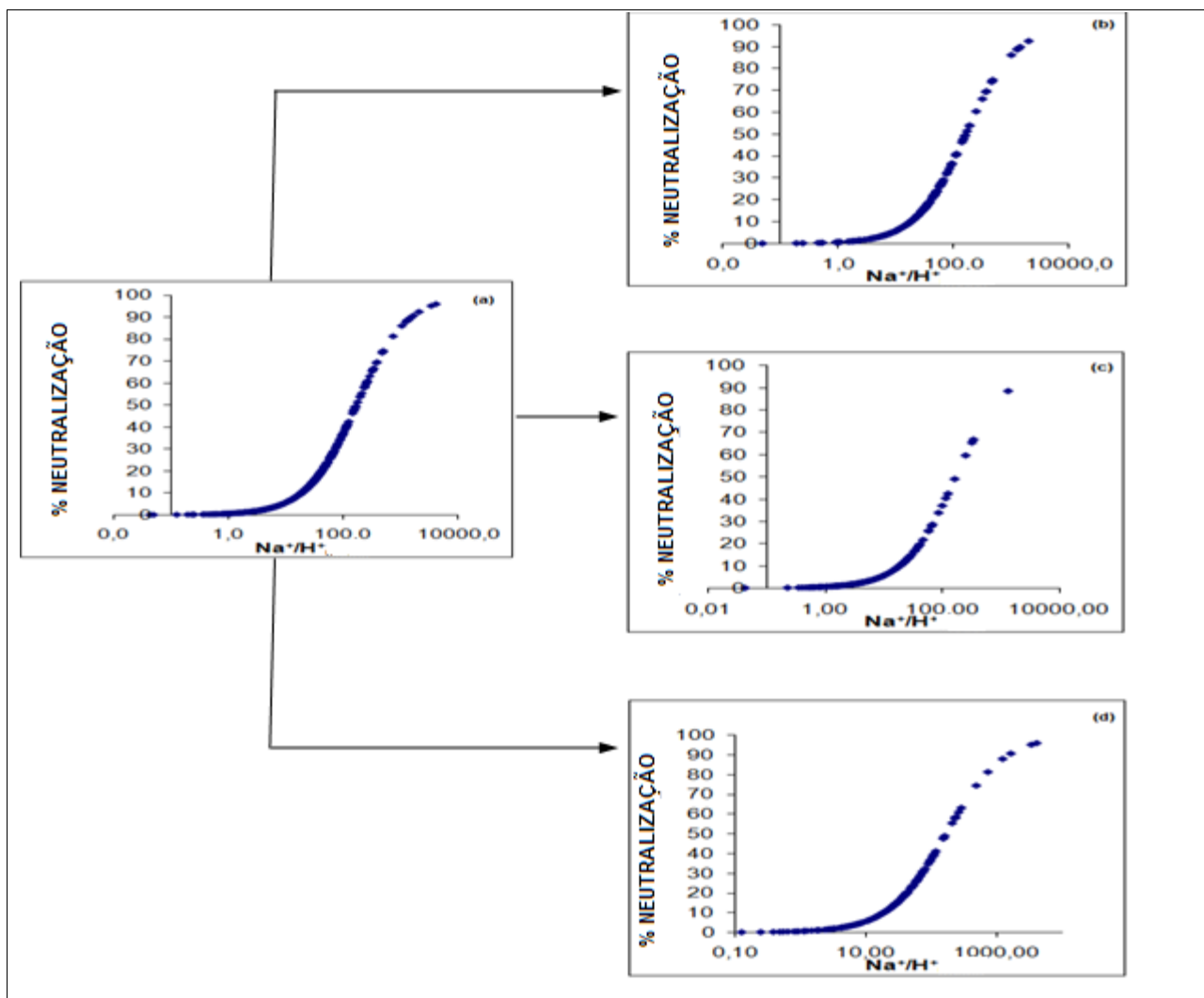


Figura 30: Quantificação da neutralização da acidez dos eventos chuvosos na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari pelo spray marinho (2006-2008): a) todas as estações; b) estação Gravatá; c) estação Lamarão e d) estação Escola

A figura 31 representa a frequência de ocorrência dos percentuais de neutralização acima referidos. Nesta figura visualiza-se melhor que os percentuais de neutralização mais altos ocorrem com frequência muito baixa em todas as estações e períodos. Os percentuais de neutralização mais altos foram muito esporádicos, ocorrendo normalmente uma única vez, como pode ser visto na referida figura.

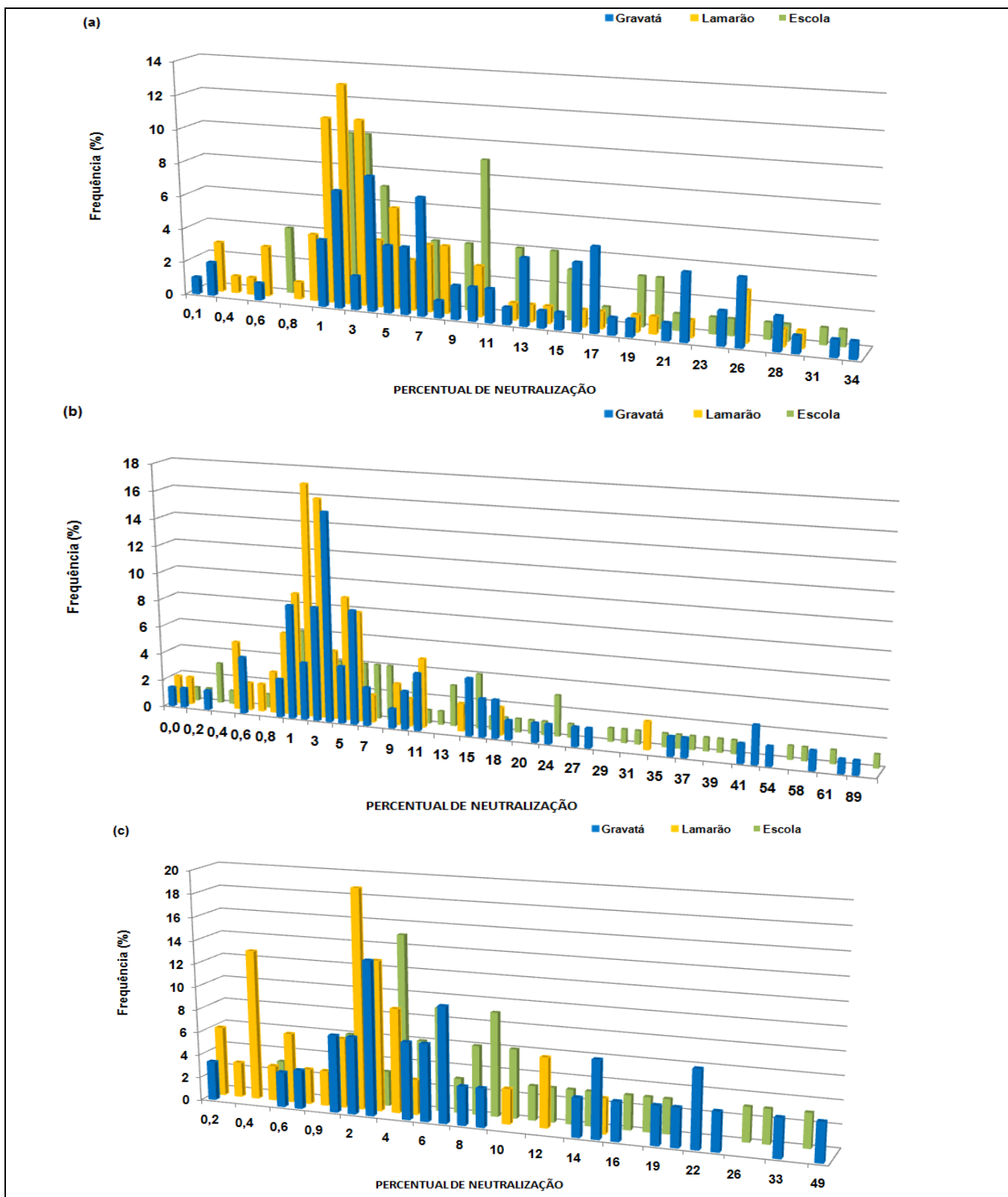


Figura 31: Frequência de percentagens de neutralização da acidez da chuva pelo spray marinho nas estações monitoradas: a)2006-2007; b)2007-2008 e c)2008

4.1.3 Avaliação da neutralização da acidez da chuva na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari pelo amônio

A avaliação dos resultados mostra que existe uma correlação entre os íons sulfatos e amônio determinados na chuva (deposição apenas úmida) nas estações da área de influência do Pólo. A tabela 32, descrita abaixo, apresenta os valores de média ponderada por volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de SO_4^{2-} nss (origem *non sea salt*) e amônio e a razão $[\text{SO}_4^{2-}\text{ nss}]/[\text{NH}_4^+]$ na chuva das áreas monitoradas no período de 2006 a 2008.

Tabela 32: Concentrações de NH_4^+ e SO_4^{2-} nss na chuva (deposição apenas úmida) da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari (2006-2008).

Períodos e Estações	Médias Ponderadas e (faixas) em $\mu\text{mol L}^{-1}$		Razão $\text{SO}_4^{2-}\text{ nss}/\text{NH}_4^+$
	NH_4^+	$\text{SO}_4^{2-}\text{ nss}$	$\text{SO}_4^{2-}\text{ nss}/\text{NH}_4^+$
2006 - 2007			
Gravatá	23,7 (4,30 - 279)	7,24 (-4,27 - 170)	0,305
Lamarão	39,0 (0,516 - 206)	19,9 (-7,17 - 97,2)	0,510
Escola	16,22 (2,70 - 84,2)	3,61 (-7,65 - 44,3)	0,223
2007 - 2008			
Gravatá	19,8 (0,420 - 105)	11,2 (0,215 - 75,8)	0,566
Lamarão	37,3 (0,374 - 180)	4,60 (-15,4 - 76,6)	0,123
Escola	11,7 (0,374 - 60,5)	4,00 (-1,16 - 52,1)	0,342
2008			
Gravatá	19,2 (7,35 - 73,1)	5,78 (0,399 - 16,6)	0,301
Lamarão	40,1 (2,57 - 122)	19,3 (2,43 - 67,1)	0,481
Escola	12,2 (0,374 - 122)	4,57 (-0,0990 - 42,0)	0,375

Os níveis mais elevados de concentração de íons NH_4^+ na chuva foram encontrados na estação Lamarão, em Lamarão do Passé, onde os valores de média se encontraram na faixa entre 37,3 e 40,1 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Enquanto que nas outras duas estações (Gravatá em Camaçari; Escola em Dias D'Ávila) os valores de amônio se encontram na faixa entre 11,7 e 23,7 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Esses valores de amônio na chuva estão na mesma ordem de grandeza de vários encontrados em outros locais no Brasil e no mundo (como descrito nas tabelas 7 e 11-13 apresentadas no capítulo de conceituação teórica e revisão bibliográfica). Nessa comparação, observa-se que os valores de NH_4^+ da estação

Lamarão são superiores, por exemplo, àqueles encontrados na chuva (deposição apenas úmida) na região de Candiota-RS em 2001 (Migliavacca *et al.*, 2004), na cidade de Londrina-PR em 2002 (Pelicho *et al.*, 2006), na região central da Amazônia entre 1989 e 1990 (Williams *et al.*, 1997) e inferiores a valores encontrados na cidade de Paulínia-SP em 2002 (Tresmondi *et al.*, 2005).

As concentrações de amônio encontradas na chuva da área de influência do Pólo podem ser atribuídas às emissões locais de amônia oriundas de empresas do Pólo, onde o transporte das massas de ar do Pólo para estação Lamarão é favorecido quando a direção predominante dos ventos é, principalmente, de Sudeste. Isso justifica a maior faixa de valores de concentração encontrados nesta estação.

A razão $[\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}]/[\text{NH}_4^+]$ na estação Lamarão, em Lamarão do Passé, variou entre 0,123 e 0,510, onde foram encontrados os maiores valores de concentração de $\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}$ (4,60 – 19,9). Isso significa que o amônio foi capaz de neutralizar uma quantidade significativa da acidez da chuva, remanescendo, ainda, uma parcela de sulfato não neutralizado.

Nas outras duas estações, a razão $[\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}]/[\text{NH}_4^+]$ variou entre 0,223 e 0,566. Observa-se que a maior concentração de $\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}$ foi encontrada na estação Gravatá, em Camaçari, no período 2007-2008, quando as emissões de amônia (toneladas/ano) do Pólo praticamente dobraram em relação ao ano de 2006 (como pode ser visto na tabela 37, que será apresentada posteriormente).

O íon amônio foi capaz de neutralizar uma quantidade moderada da acidez da chuva nas estações Gravatá e escola; com exceção do período 2007-2008, onde a neutralização da acidez da chuva foi significativa na estação Gravatá ($[\text{SO}_4^{2-}_{\text{nss}}]/[\text{NH}_4^+]$ igual a 0,566).

4.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DE ÁCIDOS FORTES, AMÔNIA E SAIS

Os resultados obtidos no monitoramento de ácidos fortes e sais presentes na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari, de janeiro a setembro de 2008, serão apresentados nos parágrafos que seguem. O estudo foi realizado em paralelo ao monitoramento de amônia gasosa e de chuva (deposição apenas úmida) nas três estações localizadas nos municípios de Camaçari, Dias D'Ávila e Lamarão do Passé. Nessa avaliação foram considerados os dados de monitoramento de SO₂ e NO₂ e de parâmetros meteorológicos registrados nas estações da RMA da Cetrel utilizadas para essa pesquisa.

As campanhas de amostragem foram realizadas em períodos diferentes em cada estação entre os meses de janeiro e setembro de 2008. Para algumas campanhas foram realizadas medidas em paralelo em duas estações.

Uma parte dos poluentes atmosféricos emitidos diretamente das fontes é transportada e sofrem transformações químicas ao longo do percurso para outros locais. As áreas monitoradas nesse estudo podem ser consideradas como receptoras, pois estão mais susceptíveis às influências das emissões do Pólo Industrial de Camaçari em função da localização em relação às fontes emissoras, das condições meteorológicas e da topografia que podem influenciar na abrangência da dispersão dos poluentes.

Observa-se que na área do estudo quando os ventos sopram das direções compreendidas entre Nordeste (NE) e Noroeste (NW), ocorre o transporte de espécies emitidas do Pólo para a área urbana de Camaçari. Em relação à Dias D'Ávila, a área é mais impactada quando os ventos sopram principalmente de Sudoeste (SW). A região de Lamarão do Passé é mais impactada quando o vento é de Sudeste (SE). Em relação à velocidade dos ventos, aqueles mais fortes podem transportar maiores quantidades do aerosol composto por espécies oriundas das fontes antropogênicas (poluentes primários e/ou produtos de transformação) e também naturais como o spray marinho e poeira resuspensa do solo.

Fase gasosa e particulada – ácidos, amônia e sais

Os resultados do monitoramento atmosférico de ácidos fortes, amônia, sais e precursores estão dispostos nas tabelas 33 a 35, onde são apresentados os dados das medidas diárias e os resultados consolidados (mínimo, média e máximo) para o período de janeiro a setembro de 2008.

Tabela 33: Concentrações (nmol m^{-3}) de ácidos fortes, amônia, sais e precursores na atmosfera da estação Gravatá em Camaçari (março-setembro, 2008)

Data de coleta	HCl	HNO₃	H₂SO₄	NH₃	NH₄Cl	NH₄NO₃	SO₂	NO₂
04-05-03-08	46,0	7,80	0,797	465	12,8	0,162	120	172
05-06-03-08	57,4	10,4	3,23	47,6	136	7,20	58,9	182
06-07-03-08	68,3	6,86	0,794	375	46,2	2,14	6,38	92,7
07-08-03-08	27,0	17,1	0,762	168	16,5	0,155	64,1	67,4
08-09-03-08	109	11,2	0,994	428	17,1	2,50	8,78	125
09-10-03-08	70,7	12,5	0,709	54,0	17,5	1,28	17,0	52,1
10-11-03-08	70,8	7,22	0,951	396	223	0,158	153	137
11-12-07-08	173	18,0	0,854	9,19	12,3	1,25	13,6	157
12-13-07-08	120	19,2	0,806	280	16,1	1,99	80,7	135
13-14-07-08	128	10,8	0,725	14,0	5,03	1,87	26,9	129
14-15-07-08	176	16,0	0,672	3,20	8,35	1,31	4,46	173
15-16-07-08	237	11,3	1,29	37,6	28,1	1,73	2,10	246
16-17-07-08	122	8,40	0,759	42,1	10,6	0,154	67,4	203
17-18-07-08	74,5	6,72	0,755	233	9,16	0,638	4,40	278
18-19-08-08	212	19,1	0,779	5,50	5,45	1,36	28,6	137
19-20-08-08	97,1	14,8	1,09	18,0	12,7	1,25	22,5	112
20-21-08-08	94,1	15,6	0,915	5,41	13,0	1,68	52,4	162
21-22-08-08	242	21,6	1,94	277	14,8	4,49	35,2	237
22-23-08-08	167	10,7	0,755	20,2	10,7	1,81	8,28	166
23-24-08-08	101	15,5	1,38	10,6	7,33	1,62	86,9	102
24-25-08-08	108	12,9	0,760	17,8	16,9	1,85	76,0	166
22-23-09-08	91,4	11,5	0,767	143	42,4	2,41	115	118
23-24-09-08	101	14,7	1,83	244	17,3	2,20	395	130
24-25-09-08	100	15,6	0,938	4,14	12,7	2,54	270	135
25-26-09-08	165	18,3	1,25	106	6,30	1,18	163	118
26-27-09-08	218	25,3	1,74	242	14,7	2,47	113	238
27-28-09-08	168	22,0	2,84	183	85,8	9,09	267	186
28-29-09-08	169	20,0	1,94	383	196	3,86	218	165
Média Aritimética	125	14,3	1,18	150	36,2	2,16	88,5	154
Mediana	109	14,7	0,884	80	14,8	1,77	61,5	147
Desvio padrão	58,3	4,99	0,65	154	56,2	1,99	97,5	52,9
Valor Máximo	242	25,3	3,23	465	223	9,09	395	278
Valor Mínimo	27,0	6,72	0,672	3,20	5,03	0,154	2,10	52,1

Períodos amostrados simultaneamente com a estação Lamarão

Tabela 34: Concentrações (nmol m⁻³) de ácidos fortes, amônia, sais e precursores na atmosfera da estação Lamarão em Lamarão do Passé (janeiro-setembro, 2008)

Data de coleta	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄	NH ₃	NH ₄ Cl	NH ₄ NO ₃	SO ₂	NO ₂
17-18-01-08	294	3,48	3,48	67,5	287	2,76	36,3	471
18-19-01-08	14,4	0,320	1,04	195	7,32	0,106	25,8	214
19-20-01-08	26,9	0,287	1,25	92,4	29,1	0,948	37,3	251
20-21-01-08	19,8	0,265	0,435	249	10,9	0,768	29,5	227
21-22-01-08	67,7	3,66	0,159	121	9,10	0,590	12,4	176
22-23-01-08	75,9	7,41	0,651	130	9,32	0,811	25,1	263
23-24-01-08	104	97,6	1,22	239	9,82	1,06	52,5	280
24-25-01-08	41,0	10,0	0,668	415	5,15	4,26	17,4	(*)
25-26-01-08	38,2	7,41	0,811	301	11,7	2,04	148	
25-26-02-08	34,1	7,82	0,452	353	9,40	1,11	7,39	63,0
26-27-02-08	51,8	3,98	0,594	516	6,99	0,530	44,6	96,3
27-28-02-08	36,0	5,20	0,281	217	7,80	0,377	73,8	120
28-29-02-08	106	25,3	0,451	47,3	10,1	0,0945	134	109
29-02-01-03-08	27,8	5,99	0,547	96,6	8,94	1,72	85,0	110
01-02-03-08	33,5	3,99	0,181	413	7,12	1,13	128	102
02-03-03-08	51,5	4,78	0,427	284	6,99	1,14	193	103
11-12-03-08	212	18,7	0,971	141	14,2	2,00	122	135
12-13-03-08	280	21,3	1,13	359	18,6	1,63	3,10	126
13-14-03-08	230	25,3	4,33	395	13,9	2,03	11,7	141
14-15-03-08	382	36,3	2,17	53,2	19,3	2,17	55,7	131
15-16-03-08	297	25,8	0,794	42,2	5,56	1,36	24,1	99,2
16-17-03-08	248	16,9	1,47	82,4	16,7	2,36	113	123
17-18-03-08	198	18,6	3,95	378	11,4	2,21	58,5	169
18-19-03-08	113	20,4	9,74	348	16,3	2,27	172	310
23-24-04-08	166	26,5	1,81	46,6	12,4	1,92	131	106
24-25-04-08	278	36,4	0,645	150	5,64	0,885	22,6	83,6
25-26-04-08	290	20,5	2,06	298	276	1,61	161	74,2
10-11-07-08	35,9	2,46	0,0835	170	10,5	0,341	114	161
11-12-07-08	39,6	0,369	0,417	239	14,2	1,15	59,3	106
12-13-07-08	36,3	4,95	0,682	176	4,78	1,18	101	119
13-14-07-08	29,2	5,37	0,517	49,0	10,1	1,06	56,7	98,7
14-15-07-08	32,9	2,91	1,84	74,4	8,44	0,784	81,6	128
15-16-07-08	42,9	0,396	1,16	263	10,6	1,18	61,3	102
16-17-07-08	59,8	3,10	0,940	205	11,8	0,723	61,0	119
18-19-08-08	54,4	7,76	0,722	137	19,6	0,146	48,3	82,1
19-20-08-08	70,9	11,2	0,679	6,04	4,75	0,138	181	131
20-21-08-08	68,2	7,89	0,662	87,8	4,63	0,134	81,7	103
21-22-08-08	97,9	10,5	0,742	172	6,04	0,923	99,4	153
22-23-08-08	57,9	6,63	1,16	75,5	14,9	1,03	28,6	113
23-24-08-08	50,4	7,13	0,683	99,5	17,2	0,138	154	122
24-25-08-08	97,4	7,14	0,602	169	4,22	0,122	111	95,8
22-23-09-08	56,4	7,56	0,566	189	3,97	0,895	40,9	53,2
23-24-09-08	60,4	7,72	0,785	165	10,3	1,35	37,2	74,2
24-25-09-08	89,5	7,81	0,299	163	18,7	1,27	21,7	74,1
25-26-09-08	58,2	6,82	0,469	105	5,58	0,700	78,5	77,3
26-27-09-08	76,8	6,54	1,62	135	15,4	2,08	94,0	150
27-28-09-08	50,3	8,31	0,752	277	10,8	1,51	34,9	104
28-29-09-08	58,9	6,35	0,515	262	10,8	1,16	81,6	76,5
Média Aritimética	103	12,1	1,20	193	22,2	1,21	74,0	138
Mediana	59,4	7,41	0,702	169	10,4	1,12	60,1	116
Desvio padrão	93,1	15,4	1,53	119	54,3	0,818	50,1	75,7
Valor Máximo	382	97,6	9,74	516	287	4,26	193	471
Valor Mínimo	14,4	0,265	0,0835	6,04	3,97	0,0945	3,10	53,2

(*) analisador em manutenção na Cetrel

Períodos amostrados simultaneamente com a estação Escola

Períodos amostrados simultaneamente com a estação Gravatá

Tabela 35: Concentrações (nmol m^{-3}) de ácidos fortes, amônia, sais e precursores na atmosfera da estação Escola em Dias D'Ávila (janeiro-julho, 2008)

Data de coleta	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄	NH ₃	NH ₄ Cl	NH ₄ NO ₃	SO ₂	NO ₂
17-18-01-08	7,25	3,76	1,01	48,8	5,18	0,735	38,9	93,7
18-19-01-08	7,57	0,958	1,07	326	7,52	0,109	48,4	138
19-20-01-08	25,7	5,42	1,02	123	5,68	6,43	105	139
20-21-01-08	16,2	7,90	0,796	74,0	65,7	1,38	26,8	104
21-22-01-08	17,8	13,4	1,66	8,73	15,7	1,57	44,4	101
22-23-01-08	16,2	4,60	0,663	83,0	6,39	0,425	56,8	172
23-24-01-08	18,9	1,25	0,813	219	10,0	0,963	92,0	177
12-13-03-08	13,5	6,08	1,17	112	5,46	1,23	4,09	142
13-14-03-08	23,1	6,23	1,68	250	219	1,64	4,99	119
14-15-03-08	21,1	8,63	0,727	177	13,4	1,42	10,4	131
15-16-03-08	19,2	5,94	1,79	399	211	1,40	13,2	168
16-17-03-08	14,3	5,02	0,718	47,7	5,54	1,06	25,5	179
17-18-03-08	17,8	6,71	0,789	8,59	21,9	1,72	16,3	189
18-19-03-08	37,4	6,24	0,736	16,8	5,85	1,09	16,5	174
23-24-04-08	82,5	6,69	1,31	54,3	7,43	5,60	31,3	148
24-25-04-08	10,0	4,05	1,15	104	16,2	2,09	6,24	99,0
25-26-04-08	18,9	7,44	1,33	298	17,0	2,21	44,8	90,3
26-27-04-08	25,9	6,53	1,01	239	14,3	1,97	26,7	92,7
27-28-04-08	15,9	4,54	1,52	158	30,1	1,45	4,65	93,5
28-29-04-08	9,71	4,40	0,764	16,9	11,4	1,52	7,79	95,6
29-30-04-08	14,1	6,58	1,98	215	11,6	2,25	127	155
03-04-07-08	12,1	2,74	0,769	259	12,9	2,17	30,7	278
04-05-07-08	10,4	8,06	0,787	168	10,9	2,12	61,9	299
05-06-07-08	17,0	7,71	0,809	128	9,39	1,36	48,3	203
06-07-07-08	9,43	5,68	2,64	5,28	51,2	7,59	23,0	133
07-08-07-08	11,1	6,44	1,11	24,7	10,0	1,44	5,71	162
08-09-07-08	10,2	5,16	0,741	147	12,7	3,54	42,8	271
09-10-07-08	7,88	2,86	0,627	9,87	7,55	0,615	33,4	222
Média Aritimética	18,3	5,75	1,11	133	29,3	2,04	35,6	156
Mediana	16,0	6,01	1,01	117	11,5	1,48	28,8	145
Desvio padrão	14,3	2,44	0,479	109	54,2	1,74	30,8	57,7
Valor Máximo	82,5	13,4	2,64	399	219	7,59	127	299
Valor Mínimo	7,25	0,958	0,627	5,28	5,18	0,109	4,09	90,3

Períodos amostrados simultaneamente com a estação Lamarão

Observa-se pelas tabelas 33 a 35 que os níveis de concentração de SO₂, precursor de H₂SO₄, são mais elevados na estação Gravatá seguido das estações Lamarão e Escola. A primeira estação recebe, além de emissões de influência industrial, emissões veiculares oriundas da cidade de Camaçari, que contribui para que esses valores sejam superiores a valores encontrados em outros locais no Brasil e no mundo (Cetesb, 2010;

Nguyen e Kim, 2006; Walker *et al.*, 2004; McCulloch *et al.*, 1998; Brook *et al.*, 1997; Matsumoto e Okita, 1998; Campos, 1995).

A estação Lamarão, além de receber o aporte do Pólo, é bastante influenciada por contribuições de possíveis emissões locais. Isso também justifica as concentrações mais elevadas de NO₂ encontradas nesta estação em relação a outras duas, que são inferiores aos valores encontrados em outros locais no Brasil e no mundo (Meng *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2010; Cetesb, 2010; McCurdy *et al.*, 1999).

Na estação Lamarão os níveis de concentração de H₂SO₄ se apresentam mais altos, embora a estação Gravatá seja o local que apresenta as concentrações mais altas do precursor (SO₂). Isso pode ser explicado, além da existência das possíveis emissões locais de H₂SO₄, como já foi discutido anteriormente, pois esta atmosfera da área de Lamarão é enriquecida com partículas de ferro (Cetrel, 2008) que favorece por ação catalítica a reação de formação de H₂SO₄ na atmosfera.

Entre os ácidos fortes medidos na atmosfera da área de influência do Pólo, o ácido clorídrico predomina, como já esperado, em função das emissões desse ácido como poluente primário, encontrando-se a faixa de concentração nas 3 estações com valores muito superiores àqueles reportados para outros locais no Brasil e no mundo. Esse comportamento também ocorre de forma semelhante para o ácido nítrico e em menor escala para o ácido sulfúrico (Walker *et al.*, 2004; MacCulloch *et al.*, 1998; Brook *et al.*, 1997; Aneja *et al.*, 1997; Matsumoto e Okita, 1998; Couto, 1996; Campos, 1995). Em todos os casos, a estação Lamarão apresenta valores mais altos para os ácidos medidos.

Os valores de concentração, em nmol m⁻³, obtidos nas medidas de ácidos nas estações nos períodos secos e chuvosos são apresentados de forma consolidada na tabela 36. Considera-se, nesse estudo para região, o período seco como o intervalo entre os meses de setembro a fevereiro e o chuvoso entre os meses de março e agosto.

Tabela 36: Concentrações (nmol m^{-3}) mínimas e máximas de ácidos na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari (janeiro a setembro de 2008)

Período Seco		HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄
Estação Gravatá	Mínimo	91,4	11,5	0,767
	Máximo	218	25,3	2,84
Estação Lamarão	Mínimo	14,4	0,265	0,159
	Máximo	294	97,6	3,48
Estação Escola	Mínimo	7,25	0,958	0,663
	Máximo	25,7	13,4	1,66
Período Úmido		HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄
Estação Gravatá	Mínimo	27,0	6,72	0,672
	Máximo	242	21,6	3,23
Estação Lamarão	Mínimo	29,2	0,369	0,0835
	Máximo	382	36,4	9,74
Estação Escola	Mínimo	7,88	2,74	0,627
	Máximo	82,5	8,63	2,64

Em relação às medidas de amônia na atmosfera das áreas monitoradas, as estações Lamarão e Gravatá, seguido da estação Escola, apresentaram os valores mais elevados de concentração, onde os níveis de NH₃ medidos são inferiores a valores encontrados em outros locais no Brasil e no mundo (Meng *et al.*, 2010; Cetesb, 2009; McCulloch *et al.*, 1998; Brook *et al.*, 1997; Campos, 1995).

As figuras 32 a 34, dispostas a seguir, apresentam o comportamento das espécies medidas, que podem se relacionar em termos de reatividade na atmosfera, através de suas concentrações determinadas no período de julho a setembro de 2008. Essas figuras apresentam características que se referem a datas de amostragens simultâneas (vide tabelas 33 a 35) realizadas nas estações Gravatá e Lamarão. Figuras semelhantes foram omitidas para as medidas simultâneas realizadas nas áreas de Escola e Lamarão, no período de janeiro a março de 2008, em função da similaridade do comportamento das espécies monitoradas.

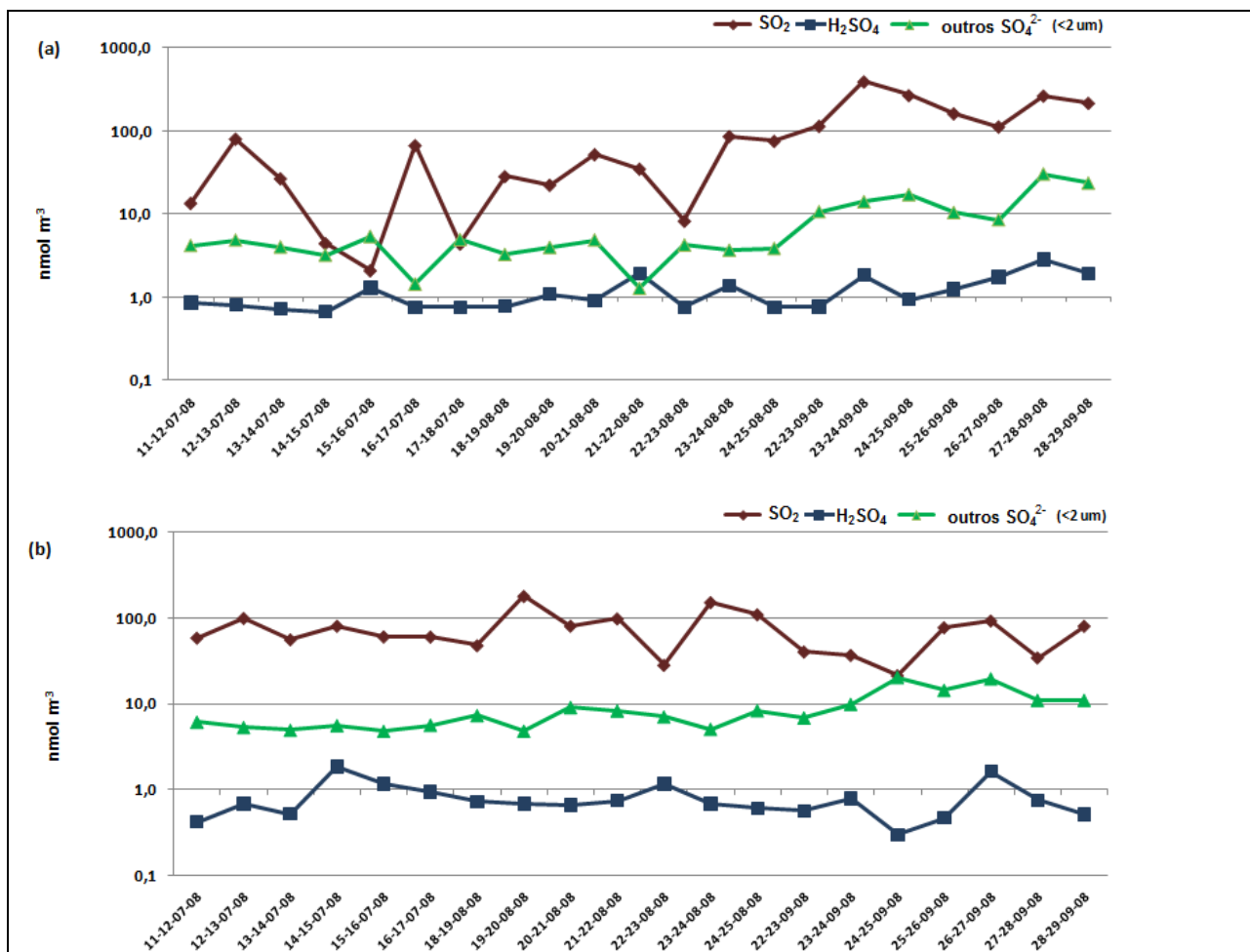


Figura 32: Níveis de SO_2 e de produtos de sua transformação (H_2SO_4 e outros sulfatos $<2\mu\text{m}$) determinados simultaneamente na atmosfera: a)Gravatá e b)Lamarão

Observa-se claramente pela figura 32 em algumas datas (15-16/07, 19-20 e 21-22/08 e 26-27/09 em Gravatá; 14-15/07, 19-20 e 22-23/08 e 22-23/09 em Lamarão) o comportamento correspondente ao consumo de SO_2 na atmosfera (diminuição da concentração) associado ao aumento da concentração de H_2SO_4 .

Esta figura mostram também apenas uma discreta flutuação nas concentrações de outros $\text{SO}_4^{2-} < 2\mu\text{m}$. Estes, que serão discutidos mais detalhadamente em próximo item, que trata da avaliação da fase particulada atmosférica $< 2\mu\text{m}$, são produtos de reações gás - partícula e partícula - partícula ($\text{SO}_2 - \text{H}_2\text{SO}_4$; $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{SO}_4^{2-} < 2\mu\text{m}$).

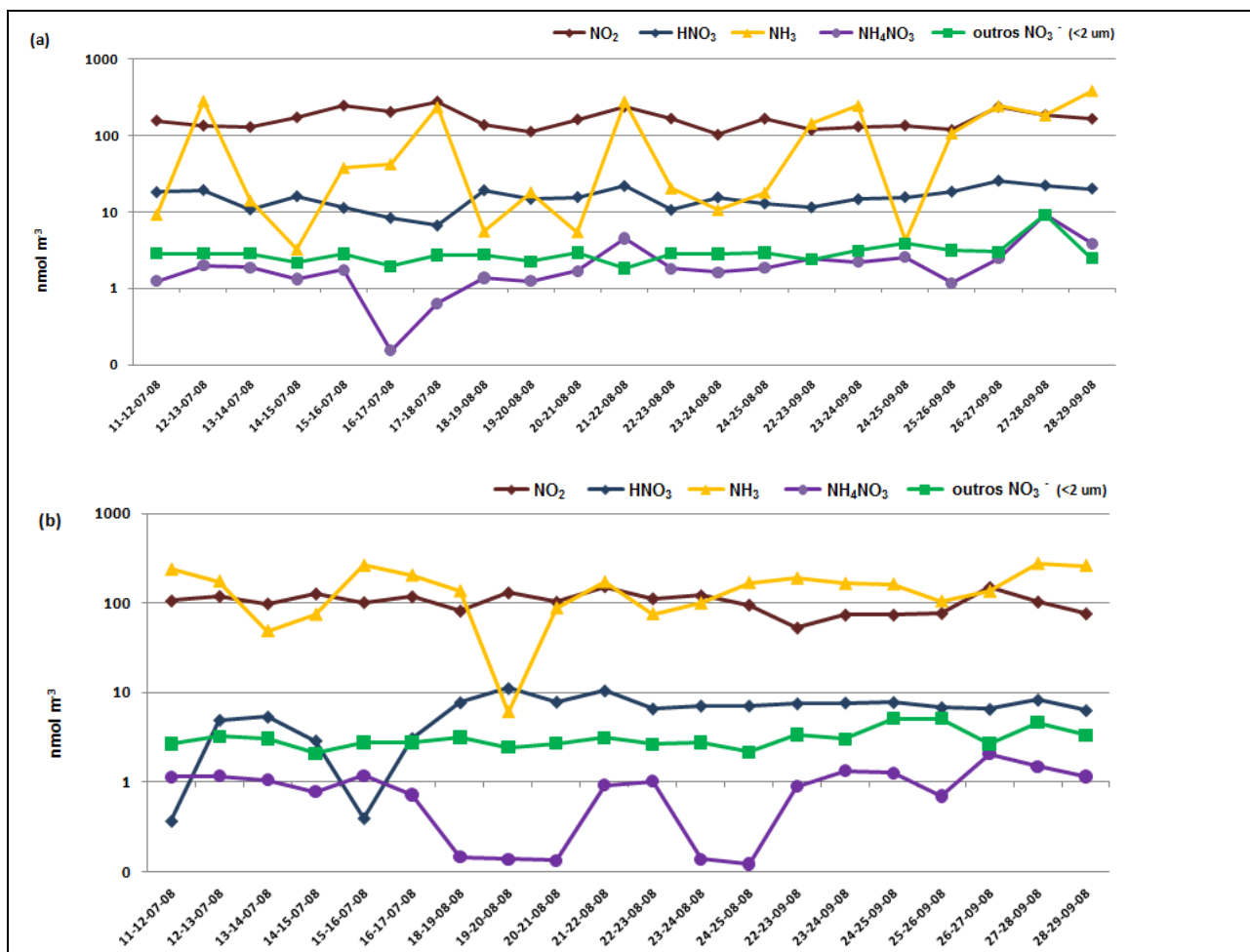


Figura 33: Níveis de NH_3 , NO_2 e de seus produtos de transformação (HNO_3 , NH_4NO_3 e outros nitratos $<2\mu\text{m}$) determinados simultaneamente na atmosfera: a)Gravatá e b)Lamarão

A figura 33 mostra o comportamento de espécies de nitrogênio que pode reagir entre si e alguns produtos de suas transformações. Observa-se grande oscilação nas concentrações atmosféricas de amônia quase sempre acompanhada pelo NH_4NO_3 . Por esta figura pode-se observar o comportamento de HNO_3 , cujas concentrações diminuem (consumo) com o aumento das concentrações de NH_3 . Observa-se, também, em consequência uma maior produção de NH_4NO_3 na atmosfera.

Não é possível observar o comportamento do NO_2 em relação ao HNO_3 , uma vez que os níveis do primeiro praticamente se mantém constantes ao longo do período monitorado.

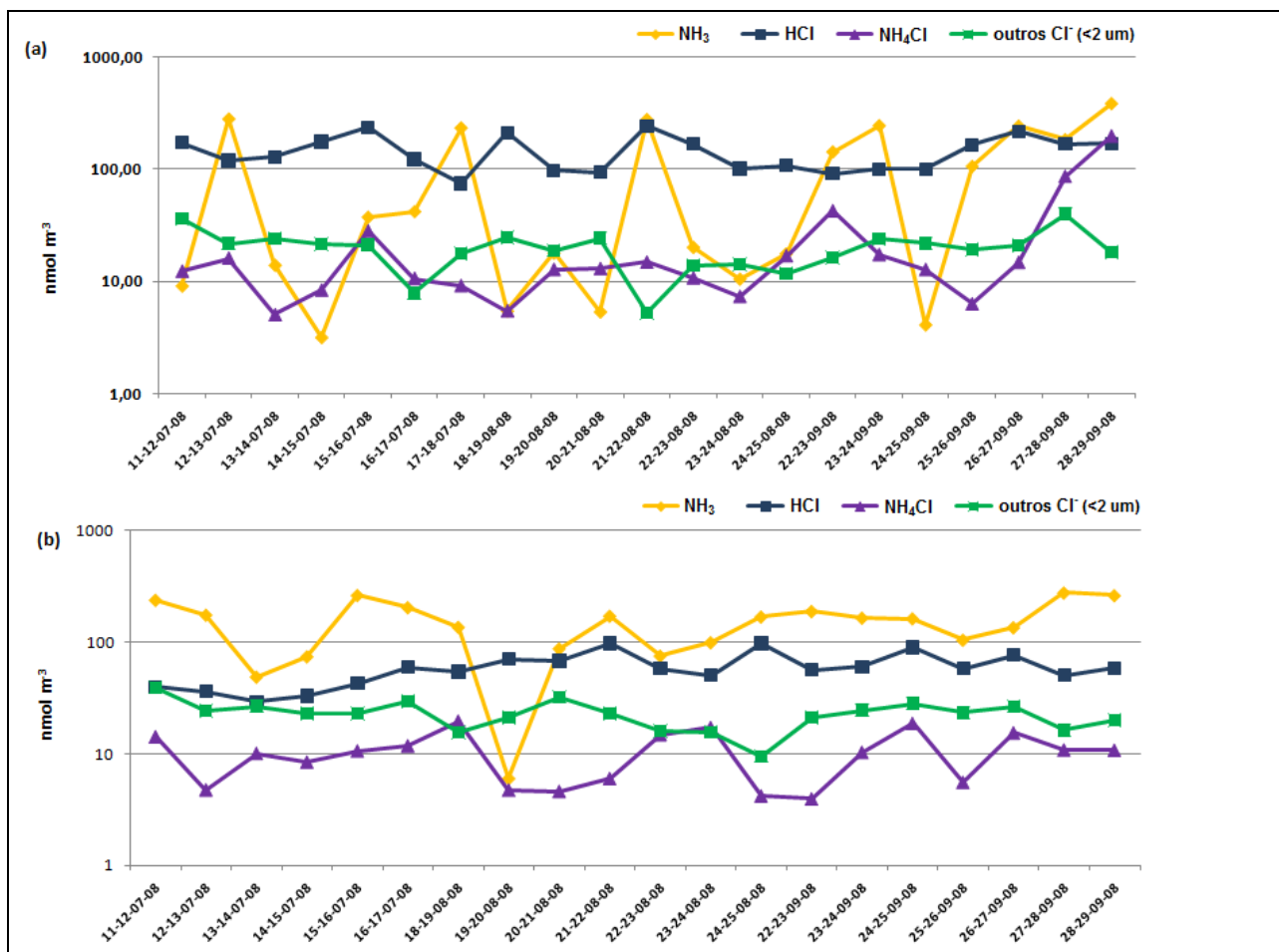


Figura 34: Níveis de NH_3 , HCl e seus sais (NH_4Cl e outros cloretos $<2\mu\text{m}$) determinados simultaneamente na atmosfera: a)Gravatá e b)Lamarão

A figura 34 apresenta semelhantemente às anteriores, paralelamente, o comportamento de NH_3 , HCl e alguns produtos de suas transformações (NH_4Cl e outros cloretos $<2\mu\text{m}$) na estação Gravatá e Lamarão no mesmo período apresentado nas figuras anteriores. Junto com as flutuações das concentrações de NH_3 , já comentadas anteriormente, observa-se agora em menor escala flutuações nas concentrações de HCl, sendo mais evidentes na estação Gravatá. Em muitos dias amostrados (12-13 e 15-16/07, 21-22/08, 22-23, 26-27 e 28-29/09 em Gravatá; 11-12 e 15-16/07, 19-20 e 21-22/08, 24-25 e 26-27/09 em Lamarão) observa-se que concentrações mais altas de NH_3 são acompanhadas por concentrações mais altas de NH_4Cl . Quanto aos outros cloretos $<2\mu\text{m}$ (termoestáveis e diferentes de NH_4Cl), seu comportamento não parece

acompanhar as flutuações das outras espécies reportadas nessa figura. Isso será melhor discutido no item de avaliação da fase particulada $<2\mu\text{m}$.

Das espécies medidas na atmosfera, o ácido clorídrico e amônia são predominantes em todas as áreas estudadas, onde as maiores concentrações, como já discutido anteriormente, foram identificadas nas estações Gravatá e Lamarão. Em contrapartida, os ácidos nítrico e sulfúrico estão presentes em menores concentrações na atmosfera monitorada. Esses resultados são, também, ratificados através dos dados dispostos na tabela 37, onde é apresentada a quantificação das emissões atmosféricas no Pólo Industrial de Camaçari, no período de 2006 a 2008, compilados em Cetrel (2011). Essas informações caracterizam, em certo nível, a atmosfera do estudo em termos de emissões gasosas, incluindo gases poluentes primários não convencionais, de ácidos inorgânicos (H_2SO_4 , HNO_3 e HCl) e amônia.

Tabela 37: Inventário de emissões atmosféricas do Pólo Industrial de Camaçari (2006-2008)

Emissões atmosféricas (toneladas ano ⁻¹)						
Período	SO ₂	NO _x	HCl	H ₂ SO ₄	HNO ₃	NH ₃
2006	9.588	7.632	0,689	sd	sd	438
2007	11.168	6.946	267	sd	sd	882
2008	8.720	25.588	43,4	0,181	0,245	775

sd = sem dados sobre esse parâmetro na referência citada

Fonte: Cetrel (2011)

As figuras 35 a 37 são equivalentes às 32 a 34, apresentadas anteriormente, em relação às espécies químicas apresentadas. No entanto estas tratam da distribuição das espécies monitoradas na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari.

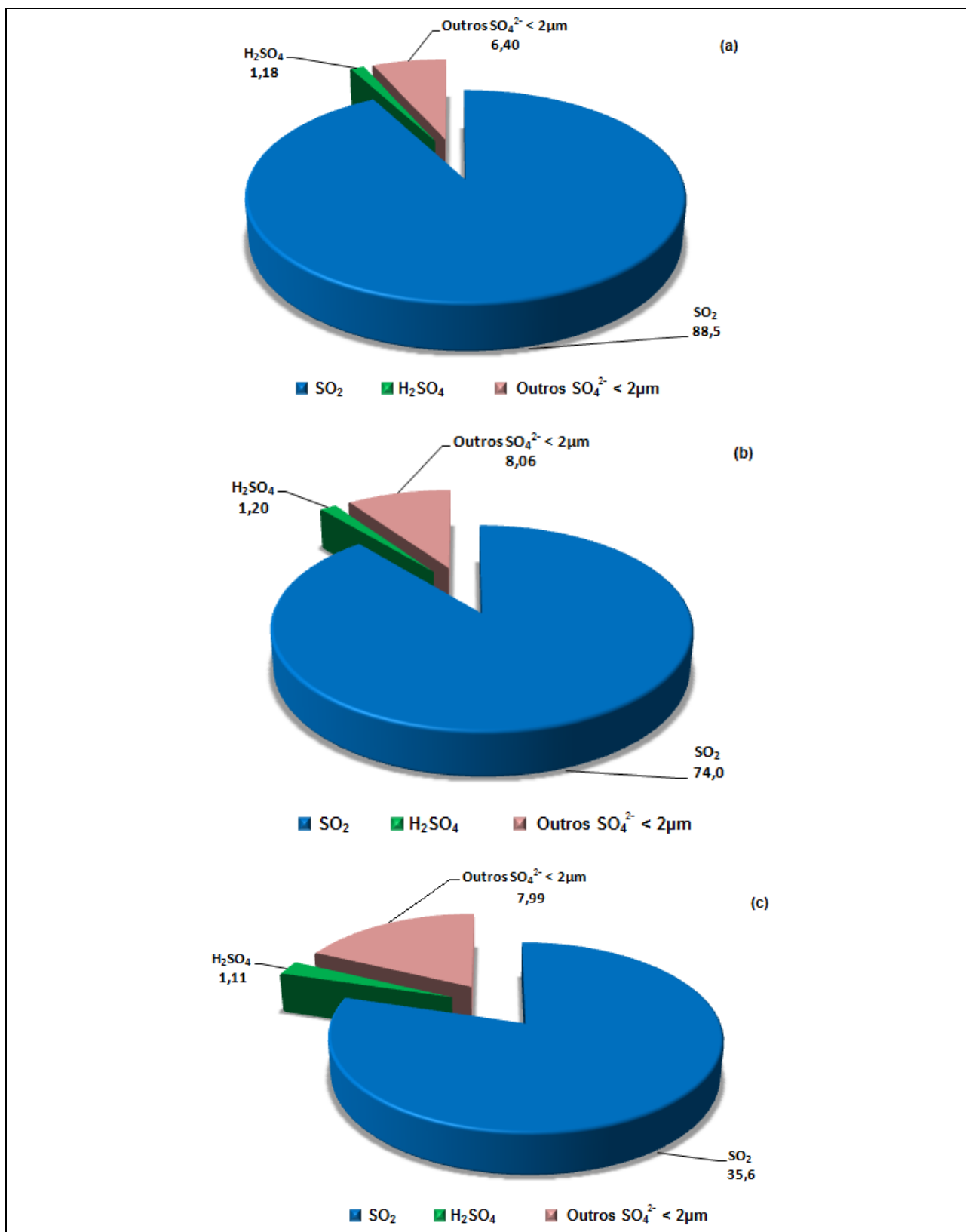


Figura 35: Distribuição (nmol m^{-3}) de SO_2 e de produtos de sua transformação (H_2SO_4 e outros sulfatos $< 2\mu\text{m}$) determinados na atmosfera das estações: a) Gravatá; b) Lamarão e c) Escola

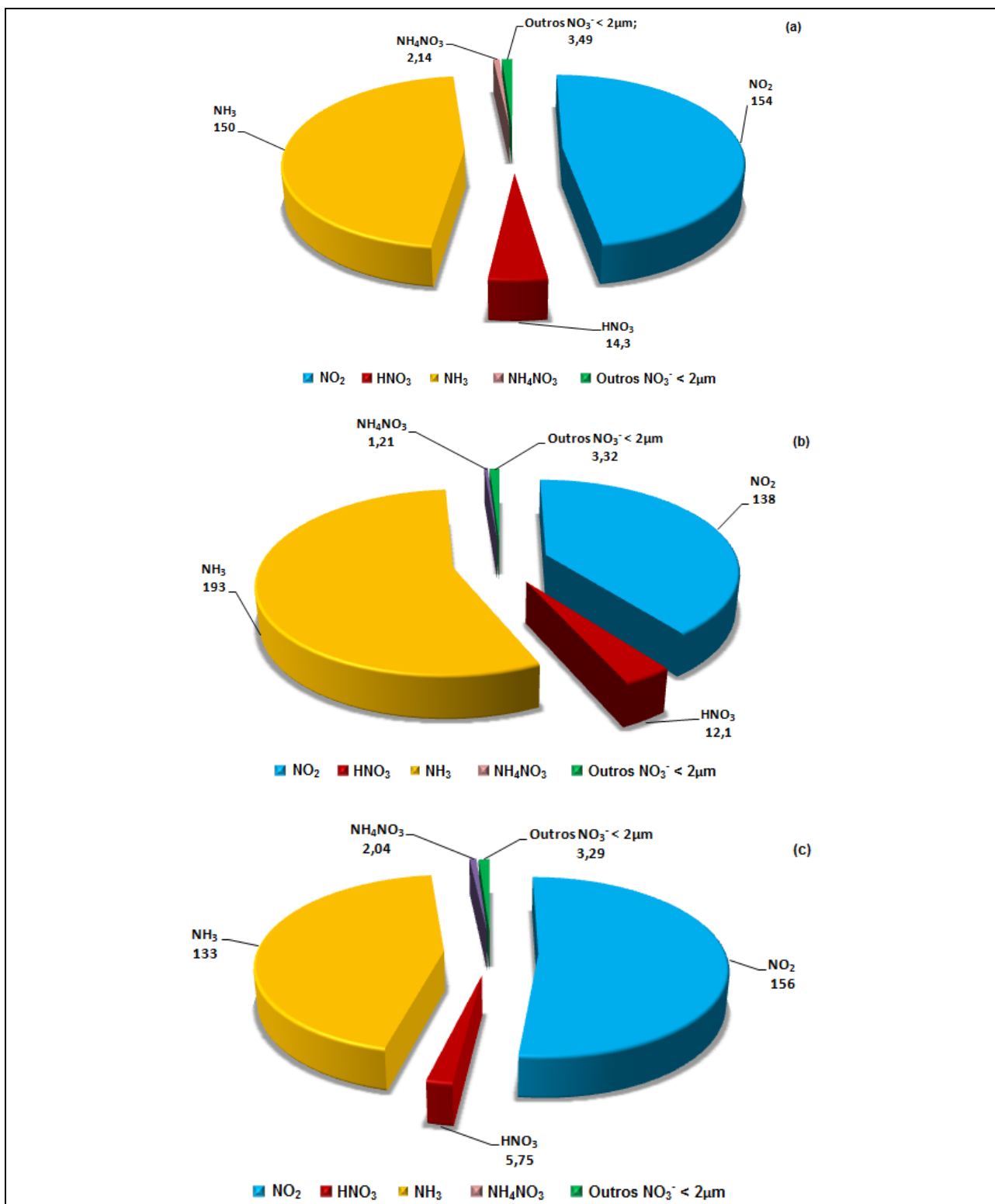


Figura 36: Distribuição (nmol m^{-3}) de NH_3 , NO_2 e de seus produtos de transformação (HNO_3 , NH_4NO_3 e outros nitratos $<2\mu\text{m}$) determinados na atmosfera das estações: a)Gravatá; b)Lamarão e c)Escola

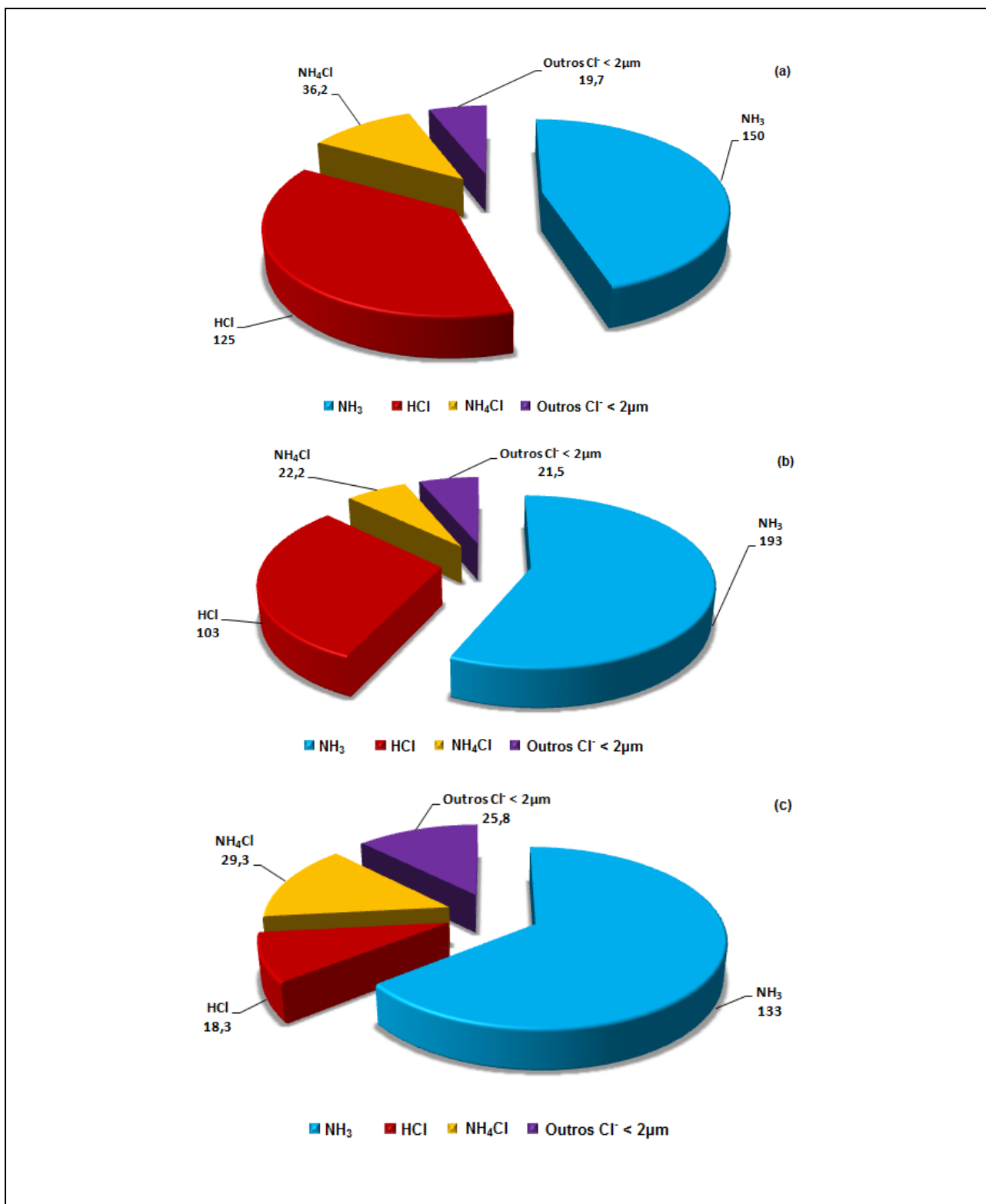


Figura 37: Distribuição (nmol m^{-3}) de NH_3 , HCl e seus sais (NH_4Cl e outros cloretos <2 μm) determinados na atmosfera das estações: a)Gravataá; b)Lamarão e c)Escola

A figura 35 mostra a distribuição em nmol m^{-3} de SO_2 e de produtos de sua transformação (H_2SO_4 e outros sulfatos $<2\mu\text{m}$) medidos na atmosfera das áreas monitoradas, onde a estação Gravatá apresenta em média o valor mais elevado de SO_2 , seguido das estações Lamarão e Escola. Como discutido anteriormente, a estação Lamarão apresenta os níveis mais elevados de concentração de H_2SO_4 medidos na atmosfera em função de prováveis fontes locais e de condição atmosférica favorável à transformação de SO_2 a H_2SO_4 .

A figura 36 mostra a distribuição em nmol m^{-3} de NH_3 , NO_2 e alguns de seus produtos de transformação (HNO_3 , NH_4NO_3 e outros nitratos $<2\mu\text{m}$) medidos na atmosfera das áreas monitoradas, nas quais os valores mais elevados de amônia foram encontrados em Gravatá e Lamarão. Observa-se que nas estações Gravatá e Escola são apresentados os valores mais altos de NO_2 , onde emissões oriundas do Pólo Industrial de Camaçari são somadas às emissões veiculares daquelas áreas.

A figura 37 mostra a distribuição em nmol.m^{-3} de NH_3 , HCl e seus sais (NH_4Cl e outros cloretos $<2\mu\text{m}$) determinados na atmosfera das áreas monitoradas, onde em média os valores de HCl nas estações Gravatá e Lamarão são muito maiores do que aqueles medidos na estação Escola.

As variações na predominância e intensidade dos ventos, no período de janeiro a setembro de 2008, contribuíram para que massas de ar fossem transportadas do Pólo Industrial de Camaçari para as áreas estudadas. As tabelas AN01 a AN09, dispostas no anexo A, apresentam os valores de frequência da direção e da intensidade dos ventos medidos nas estações utilizadas no monitoramento.

Fase particulada atmosférica < 2 µm

As tabelas 38 a 40 apresentam os resultados dos íons analisados na fase particulada atmosférica <2 µm (representando os sais termoestáveis a 140°C) amostrados com o sistema de termodifusão durante 2008. Essas tabelas apresentam os valores de concentração em nmol m⁻³ dos íons medidos no material particulado atmosférico <2 µm, onde esta medida está incluída no sistema de termodifusão usado para amostragem dos ácidos fortes.

Tabela 38: Concentrações (nmol m⁻³) de espécies no material particulado <2 µm na estação Gravatá em Camaçari em 2008

Período da Coleta	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻	NH₄⁺	Na⁺	K⁺
04-05/03/08	10,6	2,92	1,57	23,6	16,5	1,82
05-06/03/08	28,2	5,89	1,56	19,0	14,9	1,48
06-07/03/08	21,5	7,08	1,55	18,8	10,8	1,80
07-08/03/08	17,3	5,83	1,50	37,1	17,7	1,01
08-09/03/08	24,2	4,85	1,54	7,54	3,27	1,14
09-10/03/08	9,01	3,31	1,38	13,9	7,73	1,02
10-11/03/08	17,8	4,16	1,53	3,99	4,38	1,03
11-12/07/08	36,1	2,86	4,20	3,96	16,5	0,886
12-13/07/08	21,8	2,84	4,87	7,81	9,45	1,73
13-14/07/08	24,2	2,86	4,03	4,41	11,4	1,05
14-15/07/08	21,5	2,16	3,22	3,51	9,11	0,605
15-16/07/08	21,1	2,83	5,39	4,36	12,5	0,817
16-17/07/08	7,87	1,94	1,44	4,32	5,19	0,480
17-18/07/08	17,8	2,71	4,95	7,39	7,37	1,31
18-19/08/08	24,8	2,76	3,27	1,53	8,37	1,35
19-20/08/08	18,8	2,23	3,98	0,217	5,36	1,05
20-21/08/08	24,3	2,92	4,88	5,00	5,40	0,482
21-22/08/08	5,26	1,82	1,27	1,53	0,898	0,437
22-23/08/08	13,9	2,87	4,26	2,85	2,44	0,478
23-24/08/08	14,1	2,82	3,67	2,68	2,45	0,505
24-25/08/08	11,8	2,91	3,87	4,27	2,82	0,481
22-23/09/08	16,4	2,38	10,7	7,32	11,1	1,78
23-24/09/08	23,8	3,11	14,1	5,01	15,0	5,00
24-25/09/08	21,8	3,84	17,2	14,4	4,73	1,88
25-26/09/08	19,3	3,15	10,5	7,69	3,39	1,28
26-27/09/08	20,9	2,98	8,55	9,39	3,54	0,735
27-28/09/08	40,0	9,13	30,4	32,7	11,9	1,60
28-29/09/08	18,2	2,45	23,7	24,5	5,08	1,13
Média Aritimética	19,7	3,49	6,40	10,0	8,19	1,23
Mediana	20,1	2,89	4,01	6,16	7,55	1,05
Desvio padrão	7,64	1,66	7,13	9,63	4,94	0,875
Valor Máximo	40,0	9,13	30,4	37,1	17,7	5,00
Valor Mínimo	5,26	1,82	1,27	0,217	0,898	0,437

Tabela 39: Concentrações (nmol m⁻³) de espécies no material particulado <2 µm na estação Lamarão em Lamarão do Passé em 2008

Período da Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺
17-18/01/08	149	6,25	26,5	23,6	65,3	7,06
18-19/01/08	56,9	2,75	9,97	11,0	9,07	0,661
19-20/01/08	26,2	2,51	8,29	8,22	12,8	1,62
20-21/01/08	29,8	4,25	8,84	8,93	17,2	1,64
21-22/01/08	32,8	2,62	8,32	8,56	16,8	1,57
22-23/01/08	26,0	3,51	10,2	10,2	13,7	2,66
23-24/01/08	15,8	3,61	8,64	13,0	10,4	2,64
25-26/01/08	25,4	4,24	21,0	25,2	17,5	3,91
25-26/02/08	46,9	4,63	11,9	9,34	21,2	2,25
26-27/02/08	14,3	6,41	11,5	8,74	9,74	3,20
27-28/02/08	4,18	1,37	5,93	5,29	2,26	1,72
28-29/02/08	6,67	1,13	4,93	4,90	1,84	1,87
29/02 a 01/03/08	3,25	4,32	6,80	7,79	3,19	3,53
01-02/03/08	18,4	8,32	13,4	13,6	11,0	4,40
02-03/03/08	22,7	6,55	12,0	11,6	12,9	1,98
11-12/03/08	4,85	0,0694	0,684	7,91	6,91	3,08
12-13/03/08	14,8	4,04	1,60	4,82	6,16	2,30
13-14/03/08	11,4	3,42	1,60	8,58	3,79	1,63
14-15/03/08	9,80	3,49	1,53	9,93	2,87	1,14
15-16/03/08	8,54	4,41	1,56	6,22	7,76	1,27
16-17/03/08	9,07	3,53	1,47	7,09	7,14	0,989
17-18/03/08	9,66	2,70	1,52	7,97	6,05	1,02
18-19/03/08	13,5	3,19	1,49	4,51	6,86	0,898
23-24/04/08	7,38	2,00	6,06	5,78	5,70	1,20
24-25/04/08	11,9	2,86	6,06	6,12	5,84	0,956
25-26/04/08	8,62	2,16	5,76	7,70	4,38	0,766
26-27/04/08	8,12	3,27	8,91	17,1	5,94	1,30
27-28/04/08	4,79	2,08	8,88	15,4	7,35	0,913
28-29/04/08	13,2	1,77	7,33	13,5	7,46	0,938
29-30/04/08	7,81	1,91	3,81	4,00	6,99	0,934
10-11/07/08	18,7	2,71	8,56	6,08	10,4	0,988
11-12/07/08	39,3	2,70	6,16	3,71	18,7	1,13
12-13/07/08	24,3	3,24	5,36	18,4	11,2	1,46
13-14/07/08	26,7	3,06	4,97	9,89	12,5	1,57
14-15/07/08	23,0	2,10	5,63	3,94	10,8	1,23
15-16/07/08	23,0	2,76	4,83	3,58	10,1	0,940
16-17/07/08	29,6	2,77	5,68	4,64	11,9	0,868
18-19/08/08	15,5	3,18	7,34	2,76	9,69	1,25
19-20/08/08	21,1	2,46	4,84	4,66	7,22	0,430
20-21/08/08	32,4	2,70	9,12	6,76	4,59	0,637
21-22/08/08	23,1	3,15	8,36	4,35	2,44	0,416
22-23/08/08	16,0	2,65	7,08	0,215	0,476	0,462
23-24/08/08	15,7	2,77	5,10	9,17	2,21	0,432
24-25/08/08	9,50	2,17	8,38	5,46	4,08	0,381
22-23/09/08	21,1	3,40	6,89	4,33	12,6	3,06
23-24/09/08	24,6	3,04	9,89	5,57	14,6	3,15
24-25/09/08	28,2	5,15	20,3	32,2	5,89	3,48
25-26/09/08	23,3	5,12	14,4	10,5	5,05	1,07
26-27/09/08	26,6	2,67	19,5	13,4	6,35	0,786
27-28/09/08	16,3	4,62	11,0	9,07	3,51	0,762
28-29/09/08	20,0	3,35	11,0	8,89	3,78	1,12
Média Aritmética	21,6	3,32	8,06	9,10	9,49	1,68
Mediana	18,4	3,06	7,33	7,97	7,22	1,23
Desvio padrão	21,1	1,44	5,23	5,86	9,20	1,25
Valor Máximo	149	8,32	26,5	32,2	65,3	7,06
Valor Mínimo	3,25	0,0694	0,684	0,215	0,476	0,381

Tabela 40: Concentrações (nmol m⁻³) de espécies no material particulado <2 µm na estação Escola em Dias D'Ávila em 2008

Período da Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺
17-18/01/08	41,6	1,90	10,1	7,33	32,8	1,89
18-19/01/08	38,4	1,52	7,94	12,0	24,1	1,57
19-20/01/08	16,8	1,46	6,36	5,71	8,71	1,18
20-21/01/08	17,6	1,74	5,49	5,72	22,2	0,928
21-22/01/08	27,3	2,18	29,8	8,13	15,6	0,969
22-23/01/08	13,7	2,10	5,60	7,82	6,94	1,42
23-24/01/08	10,9	0,792	3,48	5,50	4,59	1,36
12-13/03/08	17,3	2,06	4,86	7,16	7,36	1,84
13-14/03/08	14,8	3,10	5,02	6,30	6,12	1,94
14-15/03/08	11,5	3,88	8,20	9,57	4,79	1,16
15-16/03/08	13,6	3,44	5,39	7,13	6,23	1,13
16-17/03/08	19,2	1,89	5,28	5,47	7,37	0,751
17-18/03/08	21,5	2,07	4,83	5,61	8,63	1,07
18-19/03/08	18,5	1,46	3,07	4,56	6,65	0,567
23-24/04/08	13,8	2,62	4,29	6,73	7,01	1,11
24-25/04/08	35,5	4,55	8,13	6,98	19,4	1,92
25-26/04/08	30,4	4,11	7,01	9,36	15,9	1,03
26-27/04/08	18,5	4,68	5,85	9,58	9,34	1,05
27-28/04/08	26,4	3,37	5,50	7,19	11,6	0,683
28-29/04/08	29,4	2,12	4,96	5,35	14,5	0,904
29-30/04/08	15,5	2,10	7,81	12,2	33,2	17,3
03-04/07/08	18,5	2,69	7,31	6,21	9,23	2,00
04-05/07/08	25,8	3,27	5,32	7,59	10,6	1,42
05-06/07/08	18,3	2,50	4,17	4,68	7,19	0,434
06-07/07/08	150	21,0	41,2	28,2	97,5	3,94
07-08/07/08	30,5	3,50	6,04	7,09	12,8	0,689
08-09/07/08	17,5	3,69	7,88	8,20	7,77	2,24
09-10/07/08	11,0	2,13	2,87	4,21	4,12	0,528
Média Aritimética	25,8	3,29	7,99	7,91	15,1	1,89
Mediana	18,5	2,34	5,55	7,11	8,97	1,14
Desvio padrão	25,3	3,55	7,95	4,36	17,6	3,04
Valor Máximo	150	21,0	41,2	28,2	97,5	17,3
Valor Mínimo	10,9	0,792	2,87	4,21	4,12	0,434

A figura 38, disposta a seguir, mostra a distribuição percentual dos íons medidos no material particulado <2 µm nas áreas monitoradas em todo o período amostral. Observa-se a mesma ordem de predominância dos íons em todas as estações monitoradas: Cl⁻ > Na⁺ > NH₄⁺ > SO₄²⁻ > NO₃⁻ > K⁺.

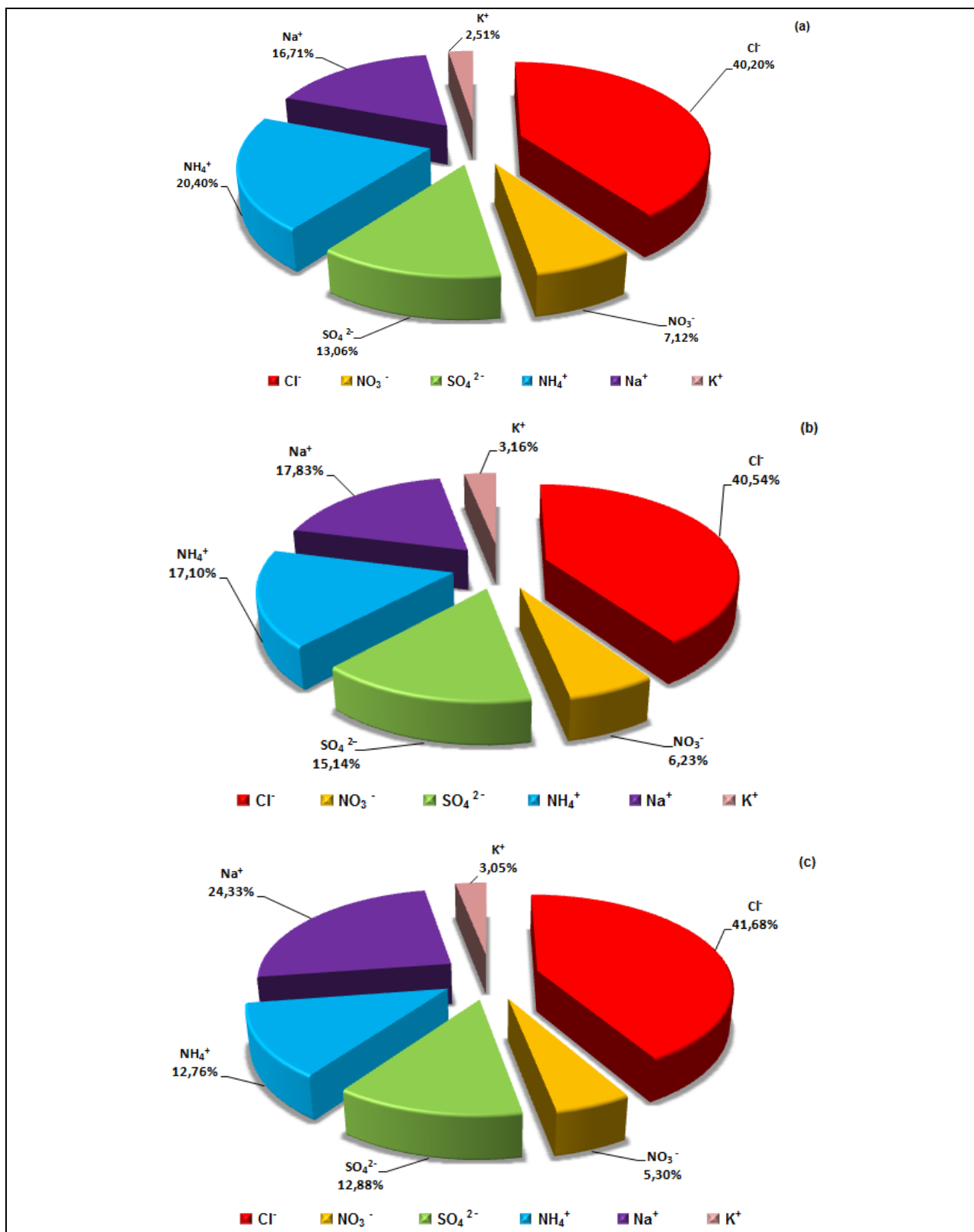


Figura 38: Distribuição dos íons em média aritmética (nmol m^{-3}) no material particulado $<2\ \mu\text{m}</math> nas estações em 2008: a)Gravatá; b)Lamarão; c)Escola$

Considera-se que a principal origem dos íons SO_4^{2-} e NH_4^+ nesta fase particulada $<2 \mu\text{m}$ seja a transformação atmosférica de ácido sulfúrico via reação com amônia, uma vez que o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ é estável à temperatura controlada no sistema amostral antes da coleta das partículas. A razão entre esses íons nesta fase é aproximadamente igual a 1,0 nas estações monitoradas, onde foi observada, através da análise dos coeficientes de Pearson, uma correlação mais significativa entre SO_4^{2-} e NH_4^+ nas estações Lamarão ($r = 0,7$ e $p < 0,001$) e Escola ($r = 0,8$ e $p < 0,001$).

Os íons Cl^- e Na^+ presentes nessa fase particulada $<2 \mu\text{m}$ devem representar uma pequena parcela do spray marinho nessa ordem de tamanho e outros sais de Cl^- , assim como K^+ . Este último, também pode estar indicando a origem associada à ocorrência de queimadas na região. Quanto ao NO_3^- , cuja distribuição se mantém entre 5 e 7% nas 3 estações, representa outros sais de origem antropogênica termoinstável e diferente do NH_4NO_3 .

Os maiores valores de NH_4^+ no material particulado fino $< 2 \mu\text{m}$ foram encontrados nas estações Gravatá e Lamarão. Quanto a SO_4^{2-} e NO_3^- , os níveis mais elevados foram encontradas nas estações Gravatá e Escola. Comportamento semelhante ocorreu em relação aos resultados encontrados para NH_4^+ na chuva da área de influência do Pólo, onde as concentrações mais elevadas de NH_4^+ também foram encontradas nas estações Gravatá e Lamarão.

Os valores médios das concentrações de amônio, sulfatos e nitratos medidos no material particulado fino $<2 \mu\text{m}$, são inferiores àqueles encontrados em estudos realizados em áreas industriais e urbanas na Bahia (Couto, 1996; Campos, 1995).

A tabela 41, disposta abaixo, apresenta valores de concentrações dos íons medidos no material particulado fino $< 2 \mu\text{m}$ em diversas áreas no Brasil incluindo os resultados deste estudo.

Tabela 41: Medidas (nmol m^{-3}) de material particulado $<2\mu\text{m}$ em outros locais e períodos no Brasil comparado com dados deste estudo

Locais no Brasil (período) ^{referência}	Concentrações das espécies - média aritmética (nmol m^{-3})					
Áreas sob influência industrial	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻	NH₄⁺	Na⁺	K⁺
Bahia-Camaçari-CIBEB (1993-1994) ^a	38,0	3,84	16,1	21,7	42,3	4,23
Bahia-Camaçari-Pólo Industrial (1993) ^b	51,7	14,1	10,8	6,40	47,0	12,2
Bahia-Camaçari-Pólo Industrial (1994) ^b	134	32,8	11,3	7,15	46,2	12,7
Bahia-Camaçari (2008) ^c	19,7	3,49	6,40	10,0	8,19	1,23
Bahia-Dias D'Ávila (2008) ^c	25,8	3,29	7,99	7,91	15,1	1,89
Bahia-Lamarão do Passé (2008) ^c	21,6	3,32	8,06	9,10	9,49	1,68
Áreas Urbanas	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻	NH₄⁺	Na⁺	K⁺
Bahia-São Sebastião do Passé (1993-1994) ^a	22,8	3,61	6,65	8,04	20,8	3,26
Áreas Remotas	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻	NH₄⁺	Na⁺	K⁺
Bahia-Camaçari-ITACIMIRIM (1994) ^a	71,5	1,69	6,38	2,22	92,6	5,28
Áreas Rurais	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻	NH₄⁺	Na⁺	K⁺
Bahia-Cahoeira São Félix-Pedra do Cavalo (1993) ^a	45,6	7,58	14,3	12,5	66,5	6,18

sd = sem dados dessa espécie na referência citada

^a Campos (1995)

^b Couto (1996)

^c Esse estudo

Observa-se que as massas de ar nas estações monitoradas, fase particulada $<2\mu\text{m}$, são moderadamente enriquecidas por NH_4^+ (0,215 a $37,1\text{ nmol m}^{-3}$), SO_4^{2-} (0,684 a $41,2\text{ nmol m}^{-3}$) e NO_3^- (0,0694 a $21,0\text{ nmol m}^{-3}$).

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

As conclusões consideradas mais significativas obtidas neste estudo estão relacionadas a seguir:

1. A área de influência do Pólo Industrial de Camaçari apresenta alta frequência de eventos chuvosos ácidos ($\text{pH} < 5,6$), estando o pH (média ponderada por volume) da chuva entre 3,8 e 7,6, com a maior frequência de acidez na chuva amostrada na estação Lamarão.
2. Eventos chuvosos não ácidos (valores de $\text{pH} > 5,6$) ocorreram com frequência relativamente baixa em todo o período monitorado e em média com percentuais correspondentes a: 23% na estação Gravatá em Camaçari; 8% na estação Lamarão em Lamarão do Passé e 16% na estação Escola em Dias D'Ávila.
3. Cl^- , Na^+ e NH_4^+ são os íons predominantes na deposição apenas úmida das três áreas monitoradas no período de 2006 a 2007; também em Gravatá nos outros dois períodos amostrais, e em Lamarão de 2007 a 2008. A predominância desses íons sofreu alteração para Cl^- , Na^+ e H^+ nas estações Escola (2007-2008 e 2008) e Lamarão em 2008.
4. Os níveis de amônio comparados aos de SO_4^{2-} _{nss} encontrados na chuva das áreas estudadas, no período de 2006 a 2008, mostram ser suficientes para neutralizar uma parcela significativa da acidez da chuva da região.
5. A incorporação do spray marinho na atmosfera da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari neutraliza a acidez das chuvas frequentemente em baixos percentuais, com significância até 25% de neutralização, o que é associado à direção e velocidade dos ventos oriundos do oceano.
6. As matrizes de correlação de Pearson obtidas para os pares de íons medidos na chuva na área de influência do Pólo sinalizam que:

- correlações significativas ($0,7 < r < 0,9$ e $p < 0,001$) e em todas as estações no período de 2006 a 2008 para os pares: $\text{Na}^+ \times \text{Cl}^-$, $\text{Na}^+ \times \text{Mg}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+} \times \text{Cl}^-$, indicam uma origem comum para esses íons e associada às massas de ar oceânicas transportadas para a região, principalmente quando a predominância dos ventos era de Leste e Sudeste;
 - correlações significativas entre os pares de íons $\text{NH}_4^+ \times \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{NH}_4^+ \times \text{NO}_3^-$ foram encontradas na chuva das estações Gravatá e Lamarão, o que pode indicar origem desses íons no particulado fino (produto de transformações atmosféricas como neutralização de ácidos fortes por amônia);
 - como NO_3^- não se correlaciona com H^+ da chuva de nenhuma daquelas estações na área de influência do Pólo, há evidência de outra origem predominante para este íon (além da transformação de óxidos de nitrogênio em ácido nítrico). Sua correlação com o íon Ca^{2+} pode indicar origem comum em solos contaminados da região (resuspensão de poeira fina).
7. Entre os ácidos fortes determinados na atmosfera da área de influência do Pólo, o ácido clorídrico predomina, como já esperado, em função de suas emissões locais como poluente primário, estando sua faixa de concentração nas 3 estações com valores muito superiores àqueles reportados para outras áreas industriais brasileiras. Isso também ocorre de forma semelhante para o ácido nítrico e em menor escala para o ácido sulfúrico. Em todos os casos, a estação Lamarão apresenta valores mais altos.
8. A concentração de ácido sulfúrico se apresenta mais alta na estação Lamarão, em Lamarão do Passé, embora a estação Gravatá, no centro de Camaçari, seja o local que apresenta concentrações mais altas do precursor (SO_2). Isso pode ser explicado pela presença de maior concentração de partículas de ferro naquela atmosfera, favorecendo a formação de H_2SO_4 por ação catalítica.

9. O estudo simultâneo do comportamento atmosférico das espécies medidas que podem reagir entre si e de alguns de seus produtos de transformação mostra que:

- o consumo de SO_2 está associado ao aumento da concentração de H_2SO_4 na atmosfera;
- as flutuações de NH_3 estão associadas ao consumo de ácido nítrico e maior produção de NH_4NO_3 ;
- concentrações mais altas de NH_3 são acompanhadas por concentrações mais altas de NH_4Cl na atmosfera que inclui HCl como ácido forte predominante.

10. Em relação à fase particulada $< 2 \mu\text{m}$, amostrada no período de 2008, os íons predominam em todas as estações na ordem: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$.

11. As massas de ar na área de influência do Pólo, fase particulada $< 2 \mu\text{m}$, são moderadamente enriquecidas por NH_4^+ (0,22 a 37 nmol m^{-3}), SO_4^{2-} (0,68 a 41 nmol m^{-3}) e NO_3^- (0,069 a 21 nmol m^{-3}).

Como perspectivas futuras, recomenda-se considerar os seguintes aspectos:

- desenvolver outros estudos para melhorar o conhecimento sobre a composição química da precipitação na área de influência do Pólo Industrial de Camaçari, considerando, também, a avaliação de espécies orgânicas;
- implantar rotina de monitoramento da precipitação úmida e avaliar, em paralelo quando pertinente, possíveis impactos para o meio (solo, recursos hídricos e flora) da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari;
- dar continuidade às ações para redução da poluição no Pólo Industrial de Camaçari, através das práticas de gestão individual e integrada, associando a implementação de medidas preventivas para maior controle e abatimento das emissões de poluentes gasosos e particulados;
- aprofundar o tratamento dos dados obtidos neste estudo, quando aplicável, usando técnicas multivariadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, M.Z.M. **Técnicas Quimiométricas na Avaliação da Água das Chuvas em Cubatão, SP**. 1989. 122 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ACKER, K.; MÖLLER, D.; MARQUARDT, W.; BRÜGGEMANN, E.; WIEPRECHT, W.; AUDEL, R.; KALAB, D. Atmospheric research program for studying changing emission patterns after German unification. **Atmospheric Environment**, V.32, No.20, 1998, p. 3435-3443.

AHERNE, J.; FARRELL, E.P. Deposition of sulphur, nitrogen and acidity in precipitation over Ireland: chemistry, spatial distribution and long-term trends. **Atmospheric Environment**, V.36, 2002, 1379-1389.

ALBRITTON, D.L. Atmospheric Chemistry and Global Change: The Scientist's Viewpoint. In: CALVERT, J.G (Ed.). **The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change**. London: Blackwell Scientific Publications. 1994, p. 3-9.

ALBUQUERQUE, T.T. de A.; LYRA, G.B.; FORNARO, A.; ANDRADE, M de F. Composição Química da água de chuva na região metropolitana do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV, 2006, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBMET, 2006. 1 CD-ROM.

ALEBIC-JURETIC, A. Airborne ammonia and ammonium within the Northern Adriatic area, Croatia. **Environmental Pollution**, 2008, p. 439-447.

ALEWELL, C. Predicting reversibility of acidification: The European sulfur story. **Water, Air, and Soil Pollution**, V.130, 2001, p. 1271-1276.

AL-KHASHMAN, O. A. Ionic composition of wet precipitation in the Petra Region, Jordan. **Atmospheric Research**, 2005, p. 1-12.

AL-MOMANI, I.F. Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICP-MS: acidity and possible sources. **Atmospheric Environment**, V.37, 2003, p. 4507-4515.

AL-MOMANI, I.F.; TUNCEL, S.; ELER, Ü.; ÖRTEL, E.; SIRIN, G.; TUNCEL, G. Major ion composition of wet and dry deposition in the eastern Mediterranean basin. **The Science of the Total Environment**. V.164, 1995, p. 75-85.

ALVES, P.L. de C.A.; OLIVA, C.M.A. Reações da soja a chuva ácida e solo contaminado. **Ambiente: Revista CETESB de Tecnologia**, São Paulo, V.07, No.1, p. 34-39, 1993.

ANEJA, V. P.; MURTHY, A.B.; BATTYE, W.; BATTYE, R.; BENJAY, W.G. Analysis of ammonia and aerosol concentrations and deposition near the free troposphere at Mt. Mitchell, NC, U.S.A. **Atmospheric Environment**, V.32, No.3, 1998, p. 353-358.

AVILA, A. Time trends in the precipitation chemistry at a mountain site in Northeastern Spain for the period 1983-1994. **Atmospheric Environment**, V.30, No.9, 1996, p. 1363-1373.

BAEZ, A.P; BELMONT, R.D; PADILLA, H.G. Chemical composition of precipitation at two samplings sites in México: a 7-years study. **Atmospheric Environment**, V.31, N.6, 1997, p. 915-925.

BERRESHEIM, H.; JAESCHKE, W. Sulfur Emissions from Volcanoes. In: JAESCHKE, W. (Ed.); GEORGII, H.W. (Ed.). **Chemistry of the Unpolluted and Polluted Troposphere**. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1982, p. 325-337.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 003, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 1990. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 12/12/2009.

BRAVO, A.H.; SOTO, A.R.; SOSA, E.R.; SÁNCHEZ, A.P.; ALARCÓN, J.A.L.; KAHL, J.; RUÍZ, B.J. Effect of acid rain on building material of the El Tajín archaeological zone in Veracruz, México. **Environmental Pollution**, V.144, 2006, p. 655-660.

BRAVO, H.A.; SAAVEDRA, M.I.R.; SÁNCHEZ, P.A.; TORRES, R.J.; GRANADA, L.M.M. Chemical composition of precipitation in a Mexican Maya region. **Atmospheric Environment**. V.34, 2000, p. 1197-1204.

BROOK, J.R.; WIEBE, A.H.; WOODHOUSE, S.A.; AUDETTE, C.V.; DANN, T.F.; CALLAGHAN, S.; PIECHOWSKI, M.; DABEK-ZLOTORZYNSKA, E.; DLOUGHY, J.F. Temporal and spatial relationships in fine particle strong acidity, sulphate, PM₁₀, and PM_{2.5} across multiple Canadian locations. **Atmospheric Environment**, V.31, No.24, 1997, p. 4223-4236.

BRUNNÉE, J. **Acid Rain and Ozone Layer Depletion: International law and regulation**. New York: Transacional Publishers, Inc. 1988, p. 2-35.

BUTLER, T.J.; LIKENS, G.E.; STUNDER, B.J.B. Regional-scale impacts of Phase I of the Clean Air Act Amendments in the USA: the relation between emissions and concentrations, both wet and dry. **Atmospheric Environment**, V.35, 2001, p. 1015-1028.

BYTNEROWICZ, A.; BADEA, O.; POPESCU, F.; MUSSELMAN, R.; TANASE, M.; BARBU, I.; FRACZEK, W.; GEMBASU, N.; SURDU, A.; DANESCU, F.; POSTELNICU, D.; CENUSA, R.; VASILE, C. Air pollution, precipitation chemistry and forest in the Retezat Mountains, Southern Carpathians, Romania. **Environmental Pollution**, V.137, 2005, p. 546-567.

CALVERT, J.G. **The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact in Global Change**. London: Blackwell Scientific Publications. 1994, p. 297-361.

_____. The Chemistry of the Polluted Troposphere. In: JAESCHKE, W. (Ed.); GEORGII, H.W. (Ed.). **Chemistry of the Unpolluted and Polluted Troposphere**. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1982, p. 425-456.

CALVERT, J.G. **The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact in Global Change**. London: Blackwell Scientific Publications. 1994, p. 297-361.

CAMPOS, V.P.; COSTA, A.C.A; TAVARES, T.M. Partial neutralization of rain by sea spray: The case of Recôncavo, Bahia-Brazil. **Journal of Environmental Management**, v.84, 2007, p. 204-212.

CAMPOS, V.P; COSTA, A.C.A; TAVARES, T.M. Comparação de dois tipos de amostragem de chuva: Deposição total e deposição apenas úmida em área costeira tropical. **Química Nova**, V.21, No.4, 1998, p. 418-423.

CAMPOS, V.P. **Especiação Inorgânica de Enxofre, Nitrogênio e Cloro na Precipitação Seca e Úmida no Recôncavo Baiano**. 1995. 405 f. Tese (Doutorado em Química)-Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

CARMICHAEL, G.R.; FERM, M.; THONGBOONCHOO, N.; WOO, J.H.; CHAN, L.Y.; MURANO, K.; VIET, P.H.; MOSSBERG, C.; BALA, R.; BOONJAWAT, J.; UPATUM, P.; MOHAN, M.; ADHIKARY, S.P.; SHRESTHA, A.B.; PIENAAR, J.J.; BRUNKE, E.B.; CHEN, T.; JIE, T.; GUOAN, D.; PENG, L.C.; DHIHARTO, S.; HARJANTO, H.; JOSE, A.M.; KIMANI, W.; KIROUANE, A.; LACAUX, J-P.; RICHARD, S.; BARTUREN, O.; CERDA, J.C.; ATHAYDE, A.; TAVARES, T.; COTRINA, J.S.; BILICI, E. Measurements of sulfur dioxide, ozone and ammonia concentrations in Asia, Africa, and South America using passive samplers. **Atmospheric Environment**, 2003, p. 1293-1308.

CASTANHO, A.D.A; ARTAXO, P. Wintertime and summertime São Paulo aerosol source apportionment study. **Atmospheric Environment**, V.35, 2001, p. 4889-4902.

CAMUFFO, D. Acid rain and deterioration of monuments: how old is the phenomenon?. **Atmospheric Environment**, V.26B, No.2, 1992, p. 241-247.

CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2009**. São Paulo: CETESB, 2010. 292 p.

_____. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2005**. São Paulo: CETESB, 2006. 140 p.

_____. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2002**. São Paulo: CETESB, 2003. 131 p.

CETREL S.A. **Relatório Anual 2010: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari**. Camaçari: CETREL, 2011. 114 p.

_____. **Relatório Anual 2009: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari**. Camaçari: CETREL, 2010. 114 p.

_____. **Relatório Anual 2008: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari**. Camaçari: CETREL, 2009. 115 p.

_____. **Relatório Anual 2007: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari.** Camaçari: CETREL, 2008. 199 p.

_____. **Relatório Anual 2006: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari.** Camaçari: CETREL, 2007. 190 p.

_____. **Relatório Anual 2005: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari.** Camaçari: CETREL, 2006. 181 p.

_____. **Relatório Anual 2004: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari.** Camaçari: CETREL, 2005, 113 p.

_____. **Relatório Anual 2003: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari.** Camaçari: CETREL, 2004, 119 p.

_____. **Relatório Anual 2002: Rede de Monitoramento do Ar do Pólo Industrial de Camaçari.** Camaçari: CETREL, 2003, 118 p.

CHANG, C.T; LIN, T.C; HSUEH, M.L. Characterization precipitation chemistry in changhua, central Taiwan using weather conditions and multivariate analysis. **Water, Air, and Soil Pollution**, V.165, 2005, p. 61-75.

CHANG, Y.S.; CARMICHAEL, G.R.; KURITA, H.; KITADA, T.; UEDA, H. Diagnostic Evaluation of the Transport and Gas Chemistry Components of the STEM-II Model. **Atmospheric Environment**, V.24A, No.11, 1990, p. 2715-2737.

CHARLSON, R.J.; ANDERSON, T.L.; McDUFF, R.E. The Sulfur Cycle. In: BUTCHER, S.S. (Ed.); CHARLSON, R.J. (Ed.); ORIAN, G.H. (Ed.); WOLFE, G.V. (Ed.). **Global Biogeochemical Cycles**. London: Academic Press, 1992, p. 285-300.

CHARLSON, R.J.; ORIAN, G.H.; WOLFE, G.V.; BUTCHER, S.S. Human Modification of Global Biogeochemical Cycles. In: BUTCHER, S.S. (Ed.); CHARLSON, R.J. (Ed.); ORIAN, G.H. (Ed.); WOLFE, G.V. (Ed.). **Global Biogeochemical Cycles**. London: Academic Press, 1992, p. 353-361.

CHENG, Z.L.; LAM, K.S.; CHAN, L.Y.; WANG, T.; CHENG, K.K. Chemical characteristics of aerosols at coastal station in Hong Kong. I. Seasonal variation of major ions, halogens and mineral dusts between 1995 and 1996. **Atmospheric Environment**, 2000, p. 2771-2783.

CLARK, P.A. Photochemical Oxidants from Large Combustion Sources. In: COCKS, A.T (Ed.). **The Chemistry and Deposition of Nitrogen Species in the Troposphere**. London: The Royal Society of Chemistry, 1993, p. 1-22.

COUTO, E. da R. **Medidas de Ácidos Fortes e seus sais em uma área do Complexo Petroquímico de Camaçari – Incinerador de Resíduos Líquidos da CETREL**. 1996. 126 f. Dissertação (Mestrado em Química)-Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

CRUTZEN, P.J.; GREDEL, T.E. **Atmospheric Change: An Earth system perspective**. New York: W.H Freeman and Company, 1993, p. 279-367.

DAS, R.; DAS, S.N; MISRA, V.N. Chemical composition of rainwater and dustfall at Bhubaneswar in the east coast of India. **Atmospheric Environment**, V.39, 2005, p. 5908-5916.

DEHAYE, J; BADILLO, M.; ZIKOVSKY, L. A laboratory study of the effects of acid rain on industrial waste and its impact on the physicochemical properties of groundwater. **J. Radional.Nucl.Chem.**, V.3, 1988, p. 209-217.

DIKAIAKOS, J.G.; TSITOURIS, C.G.; SISKOS, P.A.; MELISSOS, D.A.; NASTOS, P. Rainwater composition in Athens, Greece. **Atmospheric Environment**, V.24B, No.1, 1990, p. 171-176.

ELBIR, T. A. A GIS based decision support system for estimation, visualization and analysis of air pollution for large Turkish cities. **Atmospheric Environment**, V.38, 2004, p. 4509-4517.

ENVIRONMENT CANADA. **Acid Rain**. Canada: EC, 2006. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/acidrain>. Acesso em: 26.12.2006.

_____. **2002 Annual Progress Report on The Canada-Wide Acid Rain Strategy for Post-2000.** Canada: EC, 2004. Disponível em: http://www.ec.gc.ca/acidrain/Ar2002/2002_Annual_report_e.pdf. Acesso em: 26.12.2006.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Acid Rain Program.** USA:EPA, 2006. Disponível em:<http://www.epa.gov/airmarkets/arp/index.html>. Acesso em: 22.12.2006.

_____. **How to Measure the effects of Acid Deposition: A Framework for Ecological Assessments.** United States: EPA, 2001, 55 p. Disponível em: <http://www.epa.gov/airmarkets/articles/ecoaccessess.pdf>. Acesso em: 19.01.2007.

_____. **Deposition of Air Pollutants to the Great Waters, Third Report to Congress-Executive Summary.** United States: EPA, 2000, 1-7. Disponível em: <http://www.epa.gov/oar/oaqps/gr8water/3rdrpt/report00.html>. Acesso em: 19.01.2007.

_____. **Acid Rain: Research Summary.** Washington, DC: EPA, 1979, p. 2-17.

FELIX, E.P.; CARDOSO, A.A. Amônia (NH₃) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. **Química Nova**, V.27, No.1, 2004, p. 123-130.

FIGUERÊDO, D.V. Chuvas Ácidas: Detecção e Evolução do Fenômeno a Nível mundial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, V. 01, No.1, p. 28-33, 1996.

_____. **Monitoramento e Avaliação da Ocorrência de Chuvas Ácidas na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH.** 1994. 161 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Meio Ambiente)-Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FINLAYSON-PITTS, B.J.; PITTS, J.N. **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments and Applications.** San Diego, USA: Academic Press, 2000, p. 1-348.

FLUES, M.; HAMA, P.; LEMES, M.J.L.; DANTAS, E.S.K.; FORNARO, A. Evaluation of the rainwater acidity of a rural region due to a coal-fired power plant in Brazil. **Atmospheric Environment**. V.36, 2002, p. 2397-2404.

FORNARO, A.; GUTZ, I.G.R. Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil. Part.3: Trends in precipitation chemistry during 1983-2003. **Atmospheric Environment**. V.40, 2006, p. 5893-5901.

_____. Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil: Part 2-contribution of formic and acetic acids. **Atmospheric Environment**. V.37, 2003, p. 117-128.

FORNARO, A.F. **Chuva ácida em são Paulo: Caracterização Química de Amostras Integradas e Sequenciais de Deposição Úmida**. 1991. 118 f. Dissertação (Mestrado em Química)-instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FORTI, M.C.; MOREIRA-NORDEMANN, L.M.; ANDRADE, M.F.; ORSINI, C.Q. Elements in the precipitation of São Paulo city (Brazil). **Atmospheric Environment**. V.24B, No.2, 1990, p. 355-360.

FREITAS, A. M.; SOLCI, M. C. Caracterização do MP₁₀ e MP_{2,5} e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. **Química Nova**, V.32, No.7, 2009, p. 1750-1754.

FUJITA, S.; TAKAHASHI, A.; WENG, J.H.; HUANG, L.F.; KIM, H.K.; LI, C.K.; HUANG, F.T.C.; JENG, F.T. Precipitation chemistry in East Asia. **Atmospheric Environment**, V.34, 2000, p. 525-537.

GALICHIO, W.; SANTOS, M.A.; PEDROTTI, J.J.; FORNARO, A. Oxidantes na atmosfera de São Paulo- Ozônio na fase gasosa e peróxido de hidrogênio em águas de chuva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV, 2006, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBMET, 2006. 1 CD-ROM.

GALLOWAY, J.N; KNAP, A.H., CHURCH, T.M. The composition of Western Atlantic precipitation using shipboard collectors. **Journal of Geophysics Research**, V.88, No.15, 1983, p.10859-10864.

GALLOWAY, J.N; LIKENS, G.E. Acid precipitation: The importance of Nitric Acid. **Atmospheric Environment**, V.15, No.6, 1981, p.1081-1085.

GARCÍA, R.; MA, C. del T.; PADILLA, H.; BELMONT, R.; AZPRA, E.; ARCEGA-CABRERA, F.; BÁEZ, A. Measurement of chemical elements in rain from Rancho Viejo, a rural wooded area in the State of Mexico, Mexico. **Atmospheric Environment**, V.40, 2006, p. 6088-6100.

GENFA, Z.; SLANINA, S.; BORING, C.B.; JONGEJAN, P.A.C.; DASGUPTA, P.K. Continuous wet denuder measurements of atmospheric nitric and nitrous acids during the 1999 Atlanta Supersite. **Atmospheric Environment**, 2003, p. 1351-1364.

GILLILAND, A.B.; BUTLER, T.J.; LIKENS, G.E. Monthly and annual bias in weekly (NADP/NTN) versus daily (AIRMonN) precipitation chemistry data in the Eastern USA. **Atmospheric Environment**, V.36, 2002, p.5197-5206.

GLAVAS, S.; MOSCHONAS, N. Origin of observed acidic-alkaline rains in a wet-only precipitation study in a Mediterranean coastal site, Patras, Greece. **Atmospheric Environment**, V.36, 2002, p. 3089-3099.

GONÇALVES, F.L.T.; MASSAMBANI, O.; BEHENG, K.D.; VAUTZ, W.; SCHILLING, M.; SOLCI, M.C.; ROCHA, V.; KLOCKOW, D. Modelling and measurements of below cloud scavenging process in the highly industrialized region of Cubatão-Brazil. **Atmospheric Chemistry**, V.34, 2000, p. 4113-4120.

GRAEDEL, T.E; CRUTZEN, P.J. **Atmospheric Change: An Earth System Perspective**. New York: W.H. Freeman and Company, 1993, p. 132-338.

GRANAT, L.; SUKSOMSANKH, K.; SIMACHAYA, S.; TABUCANON, M.; RODHE, H. Regional background acidity and chemical composition of precipitation in Thailand. **Atmospheric Environment**, V.30, Nos.10/11, 1996, p. 1589-1596.

GRÖMPING, A.H.J; OSTAPCZUK, P.; EMONS, H. Wet deposition in Germany: Long-Term trends and the contribution of heavy metals. **Chemosphere**, V.34, Nos.9/10, 1997, p. 2227-2236.

GUTTIKUNDA, S.K.; CARMICHAEL, G.R.; CALORI, G.; ECK, C.; WOO, J.H. The contribution of megacities to regional sulfur pollution in Asia. **Atmospheric Environment**, 37, 2003, p. 11-22.

HAAG, H, P. (coord.). **Chuvas ácidas**. Campinas: Fundação Cargill, 1985, p. 1-50.

HARRISON, R.M. The Chemistry and Deposition of Particulate Nitrogen-containing. In: COCKS, A.T (Ed.). **The Chemistry and Deposition of Nitrogen Species in the Troposphere**. London: The Royal Society of Chemistry, 1993, p. 95-105.

HARRISON, R.M; ALLEN, A.G. Scavenging ratios and deposition of sulphur, nitrogen and chlorine in eastern England. **Atmospheric Environment**, V.25A, No.8, 1991, p.1719-1723.

HELAS, G. Techniques for the Measurement of Tropospheric Nitrogen Compounds: NH₃, N₂O, NO, HNO₂, NO₂, HNO₃, NO₃, and PAN. In: JAESCHKE, W. (Ed.), GEORGII, H.W. (Ed.). **Chemistry of the Unpolluted and Polluted Troposphere**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1982, p. 39-56.

HOV, Ø. Modelling of Tropospheric Acid Generation and Deposition, and its Role in Developing Control Strategies. In: CALVERT, J.G (Ed.). **The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change**. London: Blackwell Scientific Publications. 1994, p. 345-361.

HU, G.P; BALASUBRAMANIAN, R.; WU, C.D. Chemical characterization of rainwater at Singapore. **Chemosphere**, V.51, 2003, p. 747-755.

HUANG, Y.; WANG, Y.; ZHANG, L. Long-term trend of chemical composition of wet atmospheric precipitation during 1986-2006 at Shenzhen City, China. **Atmospheric Environment**, 2008, p. 3740-3750.

HUTCHINSON, T.C; HAVAS, M. Ecological Impact of Acid Deposition on Natural Ecosystems. In: CALVERT, J.G (Ed.). **The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change**. London: Blackwell Scientific Publications. 1994, p. 297-315.

IKUTA, K.; SUZUKI, Y.; KITAMURA, S. Effects of low pH on the reproductive behavior of salmonid fishes. **Fish Physiology and Biochemistry**, V.28, 2003, p. 407-410.

IRWIN, J.G; CAMPBELL, G.W.; STEDMAN, J.R. Wet Deposition. In: COCKS, A.T (Ed.). **The Chemistry and Deposition of Nitrogen Species in the Troposphere**. London, England: The Royal Society of Chemistry, 1993, p. 106-119.

IWASHITA, A.; ASTOLFO, R.; FORNARO, A. Composição Iônica de águas de Chuva da região oeste da cidade de São Paulo: 03/2005 a 02/2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV, 2006, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBMET, 2006. 1 CD-ROM.

JACOB, D.J. **Introduction to Atmospheric Chemistry**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1999, p. 247-258.

JAFFE, D.A. The Nitrogen Cycle. In: BUTCHER, S.S. (Ed.); CHARLSON, R.J. (Ed.); ORIAN, G.H. (Ed.); WOLFE, G.V. (Ed.). **Global Biogeochemical Cycles**. London: Academic Press, 1992, p. 263-284.

JOHANSSON, M.; ALVETEG, M.; AMANN, M.; BAK, J.; BARTNICKI, J.; EKQVIST, M.; FORSIUS, M.; FROHN, L.; GEERNAERT, G.; GIMENO, B.; GUARDANS, R.; KARVOSENOJA, N.; MARTÍN, F.; POSCH, M.; SUUTARI, R.; SYRI, S. Integrated assessment modeling of air pollution in four European countries. **Water, Air, and Soil Pollution**, V.130, 2001, p. 175-186.

JAIN, M.; KULSHRESTHA, U.C.; SARKAR, A.K.; PARASHAR, D.C. Influence of crustal aerosols on wet deposition at urban and rural sites in India. **Atmospheric Environment**, V.34, 2000, p. 5219-5137.

KAWAMURA, K.; STEINBERG, S.; NG, L.; KAPLAN, I.R. Wet deposition of low molecular weight mono-and di-carboxylic acids, aldehydes and inorganics species in Los Angeles. **Atmospheric Environment**, V.35, 2001, p. 3917-3926.

KAYA, G.; TUNCEL, G. Trace element and major ion composition of wet and dry deposition in Ankara, Turkey. **Atmospheric Environment**, V.31, 1997, p. 3985-3998.

KHODER, M. I. Atmospheric conversion of sulfur dioxide to particulate sulfate and nitrogen dioxide to particulate nitrate and gaseous nitric acid in an urban area. **Chemosphere**, 2002, p. 675-684.

KIEBER, R.J.; PEAKE, B.; WILLEY, J.D.; AVERY, G.B. Dissolved organic carbon and organic acids in coastal New Zealand rainwater. **Atmospheric Environment**, V.36, 2002, p. 3557-3563.

KLOCKOW, D. Analytical Chemistry of the Atmospheric Aerosol. In: JAESCHKE, W. (Ed.); GEORGI, H.W. (Ed.). **Chemistry of the Unpolluted and Polluted Troposphere**. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1982, p. 57-90.

KLUMPP, A.; DOMINGOS, M.; KLUMPP, G. Assessment of the vegetation risk by fluoride emissions from fertiliser industries at Cubatão, Brazil. **The Science of the Total Environment**, V.192, 1996, p. 219-228.

KULSHRESTHA, U.C.; KULSHRESTHA, M.J.; SEKAR, R.; SASTRY, G.S.R.; VAIRAMANI, M. Chemical characteristics of rainwater at an urban site of south-central India. **Atmospheric Environment**, V.37, 2003, p.3019-3026.

LAMB, D.; BOWERSOX, V. The national atmospheric deposition program: an overview. **Atmospheric Environment**. V.34, 2000, p.1661-1663.

LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; KRUSCHE, A.; AYERS, G.P.; FERRAZ, E.S.B.; BALLESTER, M.V. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**. V.35, 2001, p. 4937-4945.

LARSEN, T.; SEIP, H.M.; SEMB, A.; MULDER, J.; MUNIZ, I.P.; VOGT, R.D.; LYDERSEN, E.; ANGELL, V.; DAGANG, T.; EILERTSEN, O. Acid deposition and its effects in China: an overview. **Environmental Science & Policy**. V.2, 1999, p. 9-24.

LEAL, T.F.M.; FONTENELE, A.P.G.; PEDROTTI, J.J. Composição Iônica Majoritária de Águas de Chuva no centro da cidade de São Paulo. **Química Nova**, V.27, No.6, 2004, p. 855-861.

LEEUWEN, E.P. van; DRAAIJERS, P.J; ERISMAN, J.W. Mapping wet deposition of acidifying components and base cations over Europe using measurements. **Atmospheric Environment**, V.30, No.14, p.2495-2511.

LEHMANN, C.M.B.; BOWERSOX, V.C.; LARSON, S.M. Spatial and temporal trends of precipitation chemistry in the United States, 1985-2002. **Environmental Pollution**, V.134, 2005, p. 347-361.

LISBOA, H. de M.; MARTINS, R.F.; HAAS, R.; MARQUEZI, C. Qualidade da água de chuva da região sul de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV, 2006, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBMET, 2006. 1 CD-ROM.

LODGE, J. P. Determinação da Amônia na Atmosfera (Método do Indofenol). **Métodos de Amostragem do Ar e Análise**. Rio de Janeiro: Lewis Publishers, Inc., 3ª ed., 1989, p. 1.

LYNCH, J.A; GRIMM, J.W; BOWERSOX, V.C. Trends in Precipitation Chemistry in the United States, 1983-1994: An Analysis of the Effects in 1995 of Phase I of the Clean Air Act Ammendments of 1990, Title IV. **U.S Geological Survey**, (200) R29o no.96-346, 1996, 100 p. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/acidrain/>. Acesso em: 19.01.07

_____. Trends in precipitation chemistry in the United States: A national perspective 1980-1992. **Atmospheric Environment**, V.29, No.11, 1995, p. 1231-1246.

MARTINS, R.; LISBOA, H.M.; HASS, R. Acidez na água de chuva da região sul de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV, 2006, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBMET, 2006. 1 CD-ROM.

MARTINS, C.R.; ANDRADE, J.B. Química Atmosférica do Enxofre (IV): Emissões, Reações em fase aquosa e Impacto Ambiental. **Química Nova**, V.25, No.2, 2002, p. 259-272.

MATSUMOTO, M.; OKITA, T. Long term measurements of atmospheric gaseous and aerosol species using an annular denuder system in Nara, Japan. **Atmospheric Environment**, V.32, No.8, 1998, p. 1419-1425.

McCULLOCH, R.B.; FEW, G.S.; MURRAY, G.C.; ANEJA, V.P.; ANEJA, Jr. Analysis of ammonia, ammonium aerosols and acid gases in the atmosphere at a commercial hog farm in eastern North Caroline, USA. **Environmental Pollution**, 1998, p. 263-268.

McCURDY, T.; ZELENKA, M.P.; LAWRENCE, P.M.; HOUSTON, R.M.; BURTON, R. Acid aerosols in the Pittsburgh Metropolitan area. **Atmospheric Environment**, 1999, p. 5133-5145.

MEIRA, G.R.; ANDRADE, M.C.; PADARATZ, I.J.; ALONSO, M.C.; BORBA, J.C.Jr. Measurements and modeling of marine salt transportation and deposition in a tropical region in Brazil. **Atmospheric Environment**, V.40, 2006, p. 5596-5607.

MELLO, W.Z. de; ALMEIDA, M.D de. Rainwater chemistry at the summit and southern flank of the Itatiaia massif, Southeastern Brazil. **Environmental Pollution**, V.129, 2004, p. 63-68.

MELLO, W.Z. de. Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Pollution**, V.114, 2001, p. 235-242.

MENG, Z.Y.; XU, X.B.; WANG, T.; ZHANG, X.Y.; YU, X.L.; WANG, S.F.; LIN, W.L.; CHEN, Y.Z.; JIANG, Y.A.; AN, X.Q. Ambient sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and ammonia at ten background and rural sites in China during 2007-2008. **Atmospheric Environment**, 2010, p. 2625-2631.

METCALFE, S.E.; DERWENT, R.G.; WHYATT, J.D.; DYKE, H. Nitrogen deposition and strategies for the control of acidification and eutrophication across Great Britain. **Water, Air, and Soil Pollution**, V.107, 1998, p. 121-145.

MIGLIAVACCA, D. M.; TEIXEIRA, E.C.; GERVASONI, F.; CONCEIÇÃO, R.V.; RODRIGUEZ, M.T.R. Characterization of wet precipitation by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) in the metropolitan area of Porto Alegre, Brazil Atmospheric. **Journal of Hazardous Materials**, 2009, p. 230-240.

MIGLIAVACCA, D.; TEIXEIRA, E.C.; WIEGAND, F.; MACHADO, A.C.M.; SANCHEZ, J. Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaíba hydrographic basin, Brazil. **Atmospheric Environment**, 2005, p. 1829-1844.

MIGLIAVACCA, D.; TEIXEIRA, E.C.; PIRES, M.; FACHEL, J. Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil. **Atmospheric Environment**, V.38, 2004, 1641-1656.

MOHNEN, V.A. **Acid Rain in Perspective**. New York: The Nelson A. Rockefeller Institute of Government, 1989, p. 4-38.

MOHNEN, V.; WILSON, J.; KADLECEK, J. Acid Precipitation in the Northeastern United States. In: JAESCHKE, W. (Ed.); GEORGI, H.W. (Ed.). **Chemistry of the Unpolluted and Polluted Troposphere**. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1982, 395-423.

MOREIRA-NORDEMANN, L.M.; FORTI, M.C.; DI LASCIO, V.L.; ESPÍRITO SANTO, C.M.; DANELON, O.M. Acidification in Southeastern Brazil. In: RODHE, H.; HERRERA, R. **Acidification in Tropical Countries**. New York: John Wiley & Sons, 1988, p. 257-296.

MURANO, K.; MUKAI, H.; HATAKEYAMA, S.; OISHI, O.; UTSUNOMIYA, A.; SHIMOHARA, T. Wet deposition of ammonium and atmospheric distribution of ammonia and particulate ammonium in Japan. **Environmental Pollution**, 1998, p. 321-326.

NEBEL, B.J.; WRIGHT, R.T. **Environmental Science**. Estados Unidos, New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1998, p. 381-401.

NGUYEN, H.T.; KIM, K. Evaluation of SO₂ pollution levels between four different types of air quality monitoring stations. **Atmospheric Environment**, 2006, p. 7066-7081.

NIELSEN, T.; PILEGAARD, K.; EGELØV, A.H.; GRANBY, K.; HUMMELSHØJ, P.; JENSEN, N.O.; SKOV, H. Atmospheric nitrogen compounds: occurrence, composition and deposition. **The Science of the Total Environment**, 1996, p. 459-465.

NILLES, M.A.; CONLEY, B.E. Changes in the chemistry of precipitation in the United States, 1981-1998. **Water, Air, and Soil Pollution**, V.130, 2001, p. 409-414.

NORVAISIENE, R.; BURLINGS, A.; STANKEVICIUS, V. Impact of acidic precipitation to ageing of painted facades rendering. **Building and Environment**, V.42, 2007, p. 254-262.

OBAIDY, A.H.M.J. Al; JOSHI, H. Chemical composition of rainwater in a tropical urban area of northern India. **Atmospheric Environment**, V.40, 2006, p. 6886-6891.

OYAMA, B.S.; SANTOS, M.A.; PEDROTTI, J.J.; FORNARO, A. Compostos de enxofre: estudo preliminar nas fases gasosa (SO₂) e aquosa (SO₄²⁻) na cidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV, 2006, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBMET, 2006. 1 CD-ROM.

PEART, M.R. Acid rain, storm period chemistry and their potential impact on stream communities in Hong Kong. **Chemosphere**, V.41, 2000, p. 25-31.

PELICO, A.F.; MARTINS, L.D.; NOMI, S.N.; SOLCI, M.C. Integrated and sequential bulk and wet-only samplings of atmospheric precipitation in Londrina, South Brazil (1998-2002). **Atmospheric Environment**, V.40, 2006, p. 6827-6835.

PENKETT, S.A. Atmospheric Photochemistry and its Role in the Generation of Acidity in Rain. In: CALVERT, J.G (Ed.). **The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change**. London: Blackwell Scientific Publications. 1994, p. 327-343.

PUXBAUM, H.; SIMEONOV, V.; KALINA, M.; TSAKOVSKI, S.; LÖFFLER, H.; HEIMBURGER, G.; BIEBL, P.; WEBER, A.; DAMM, A. Log-Term assessment of the wet precipitation chemistry in Austria (1984-1999). **Chemosphere**, V.48, 2002, p. 733-747.

QUAN, J.; ZHANG, X. Assessing the role of ammonia in sulfur transformation and deposition in China. **Atmospheric Research**, 2008, p. 78-88.

RAUBUCH, M.; BEESE, F.; BOLGER, T.; ANDERSON, J.M.; BERG, M.P.; COÛTEAUX, M.M.; INESON, P.; McCARTHY, F.; SPLATT, P.; VERHOEF, H.A.; WILLISON, T. Acidifying process and acid-base reactions in forest soils reciprocally transplanted along a European transect with increasing pollution. **Biogeochemistry**, V.41, 1998, p. 71-88.

ROCHA, F. R.; SILVA, J.A.F. da; LAGO, C.L.; FORNARO, A.; GUTZ, I.G.R. Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil: Part 1. Major inorganic ions in rainwater as evaluated by capillary electrophoresis with contactless conductivity detection. **Atmospheric Environment**. V.37, 2003, p. 105-115.

RODHE, H. Regional Budgets of Sulfur and Nitrogen in the Tropics. In: CALVERT, J.G (Ed.). **The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change**. London: Blackwell Scientific Publications. 1994, p. 317-325.

RODRIGUES, R.A.R.; MELLO, W.Z. de; SOUZA, P.A. de. Aporte atmosférico de amônio, nitrato e sulfato em área de floresta ombrófila densa montana na Serra dos Órgãos, RJ. **Química Nova**, V.30, No.8, 2007, p. 1842-1848.

SANDNES, H.; IVERSEN, T.; SIMPSON, D. Modelling of Nitrogen Compounds and their Deposition over Europe. In: TECHNOLOGY AND ENVIRONMENTAL CENTRE. **The Chemistry and Deposition of Nitrogen Species in the Troposphere**. London, England: The Royal Society of Chemistry, 1993, p. 120-133.

SANUSI, A.; WORTHAM, H.; MILLET, M.; MIRABEL, P. Chemical Composition of rainwater in eastern France. **Atmospheric Environment**, V.30, No.1, 1996, p.59-71.

SATSANGI, G.S.; LAKHANI, A.; KHARE, P.; SINGH, S.P.; KUMARI, K.M.; SRIVASTAVA, S.S. Composition of rain water at a semi-arid rural site in India. **Atmospheric Environment**, V.32, No.21, 1998, p. 3783-3793.

SAXENA, A.; KULSHRESTHA, U.C.; KUMAR, N.; KUMARI, K.M.; SRIVASTAVA, S.S. Characterization of precipitation at Agra. **Atmospheric Environment**, V.39, No.20, 1996, p. 3405-3412.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A.S. Future electric power technology choices of Brazil: a possible conflict between local pollution and global climate change. **Energy Policy**, V.29, 2001, p. 355-369.

SCHULZ, U.; TRUBIROCHA, P.; SCHERNAU, U.; BAUMGART, H. The effects of acid rain on the appearance of automotive paint systems studied outdoors and in a new artificial weathering teste. **Progress in Organic Coatings**, V.40, 2000, p. 151-165.

SEINFELD, J.; PANDIS, S.P. **Atmospheric Chemistry and Physics**. New York:John Wiley&Sons, 1998, p. 49-1074.

SHAH. J.; NAGPAL, T.; JOHNSON, T.; AMANN, M.; CARMICHAEL, G.; FOELL, W.; GREEN, C.; HETTELINGH, J.P.; HORDIJK, L.; LI, J.; PENG, C.; PU, Y.; RAMANKUTTY, R.; STREETS, D. Integrated Analysis for acid rain in Asia: Policy implications and results of RAINS-ASIA Model. **Annu.Rev.Energy Environment**, V.25, 2000, p. 339-375.

SHAPIRO, J.B.; SIMPSON, H.J.; GRIFFIN, K.L.; SCHUSTER, W.S.F. Precipitation chloride at west point, NY: Seasonal patterns and possible contributions from non-seawater sources. **Atmospheric Environment**, V.41, No.10, 2007, p.2240-2254.

SIENKIEWICZ, E; GASIOROWSKI, M.; HERCMAN, H. Is acid rain impacting the Sudetic lakes?. **Science of the Total Environment**. V.369, p. 139-149.

SOUZA, S.R. de; CARVALHO, L.R.F. de. Origem e implicações dos ácidos carboxílicos na atmosfera. **Química Nova**, V.24, No.1, 2001, p. 60-67.

SPANOS, T.; SIMEONOV, V.; ANDREEV, G. Environmetric modeling of emission sources for dry and wet precipitation from an urban área. **Talanta**. V.58, 2002, p. 367-375.

STREETS, D. G.; TSAI, N.Y.; AKIMOTO, H.; OKA, K. Sulfur dioxide emissions in Asia in the period 1985-1997. **Atmospheric Environment**, 2000, p. 4413-4424.

STREETS, D.G.; CARMICHAEL, G.R; ARNDT, R.L. Sulfur dioxide emissions and sulfur deposition from international shipping in asian waters. **Atmospheric Environment**, V.31, No.10, 1997, p. 1573-1582.

TAO, F.; HAYASHI, Y.; LIN E. Soil vulnerability and sensitivity to acid deposition in China. **Water, Air, and Soil Pollution**, V.140, 2002, p. 247-260.

TAVARES, T.M; ROCHA, V.C. **Poluição Atmosférica na Baía de Todos os Santos**. Análise e Dados, V.1, No.2, 1991, p. 51-57.

TRESMONDI, A.C.C de L; TOMAZ, E.; KRUSCHE, A.V. Avaliação de pH e Composição das águas de chuva em Paulínia-SP. **Eng.Ambient**, V.2, No.1, 2005, p. 70-84.

TU, J.; WANG, H.; ZHANG, Z.; JIN, X.; LI, W. Trends in chemical composition of precipitation in Nanjing, China, during 1992-2003. **Atmospheric Research**, V.73, 2005, p. 283-298.

TURCK, M. **Acid Rain**. New York: Crestwood House, 1990, p. 5-40.

VAUTZ, W.; SCHILLING, M.; GONÇALVES, F.L.T.; SOLCI, M.C.; MASSAMBANI, O.; KLOCKOW, D. Preliminary Analysis of Atmospheric Scavenging Process in the Industrial Region of Cubatão, Southeastern Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, V.85, 1995, p.1973-1978.

VOGT, R.D.; SEIP, H.M.; LARSSSEN, T.; ZHAO, D.; XIANG, R.; XIAO, J.; LUO, J.; ZHAO, Y. Potential acidifying capacity of deposition experiences from regions with high NH_4^+ and dry deposition in China. **Science of the Total Environment**. V.367, 2006, p. 394-404.

WALKER, J.T.; WHITALL, D.R.; ROBARGE, W.; PAERL, H.W. Ambient ammonia and ammonium aerosol across a region of variable ammonia emission density. **Atmospheric Environment**, 2004, p. 1235-1246.

WALNA, B.; DRZYMALA, S.; SIEPAK, J. The impact of acid rain on calcium and magnesium status in typical soils of the Wielkopolski National Park. **The Science of the Total Environment**. V.220, 1998, p. 115-120.

WANG, W.; WANG, T. Short Communication on acid rain formation in China. **Atmospheric Environment**, V.30, No.23, 1996, p. 4091-4093.

WARNECK, P. **Chemistry of the Natural Atmosphere**. San Diego, USA: Academic Press INC, 1988, p. 374-542.

WATANABE, K.; TAKEBE, Y.; SODE, N.; IGARASHI, Y.; TAKAHASSHI, H.; DOKIYA, Y. Fog and rain water chemistry at Mt. Fuji: A case study during the September 2002 campaign. **Atmospheric Research**, V.82, 2006, p. 652-662.

WHELPDALE, D.M. Wet and Dry Deposition. In: JAESCHKE, W. (Ed.); GEORGI, H.W. (Ed.). **Chemistry of the Unpolluted and Polluted Troposphere**. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1982, 375-391.

WILLIAMS, M.R.; FISHER, T.R.; MELACK, J.M. Chemical Composition and deposition of rain in the central Amazon, Brazil. **Atmospheric Environment**, V.31, No.2, 1997, p. 207-217.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme**. No.160, WMO TD No.1251, 2004.

_____. **Global Atmosphere Watch Measurements Guide**. No.143, WMO TD No.1073, 2001.

YAGASAKI, Y.; CHISHIMA, T.; OKAZAKI, M.; JEON, D.S.; YOO, J.H.; KIM, Y.K. Acidification of red pine forest soil due to acidic deposition in Chunchon, Korea. **Water, Air, and Soil Pollution**, V.130, 2001, p. 1085-1090.

YANG, R.; HAYASHI, K.; ZHU, B.; LI, F.; YAN, X. Atmospheric NH₃ and NO₂ concentration and nitrogen deposition in an agricultural catchment of Eastern China. **Science of the Total Environment**, 2010, p. 1-9.

ZHANG, D.D.; PEART, M.; JIM, C.Y.; HE, Y.Q.; LI, B.S.; CHEN, J.A. Precipitation chemistry of Lhasa and other remote towns, Tibet. **Atmospheric Environment**. V.37, 2003, p. 231-240.

ZUNCKEL, M.; SAIZAR, C.; ZARAUZ, J. Rainwater composition in northeast Uruguay. **Atmospheric Environment**, V.37, 2003, p. 1601-1611.

APÊNDICES

A – Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva nas estações da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari no período de 2006 a 2008

B – Exemplo de tabela com dados de alcalinidade do spray marinho, percentual de neutralização e acidez total na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de junho a agosto de 2006

C – Limites mínimos para as metodologias amostrais utilizadas na determinação de ácidos fortes, amônia e sais

D – Formulário utilizado nas coletas de chuva nas estações da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari no período de 2006 a 2008

E – Formulário utilizado nas amostragens de ácidos fortes, sais e amônia nas estações da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari em 2008

Tabela APO1: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de junho a agosto de 2006

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
9-12/06/06	18,3	1,11	7,60	7,03	8,32	3,25	0,462	0,833	9,43	6,41	0,389	5,40	87,7
12-13/06/06	16,2	0,969	2,56	2,14	32,3	1,10	< 0,256	< 0,417	6,96	6,54	0,288	3,30	86,7
13-14/06/06	197	3,23	14,3	-1,28	22,3	6,00	2,38	15,4	260	5,42	3,80	34,1	6,43
14-15/06/06	258	8,34	30,3	20,7	31,7	14,0	11,5	50,0	160	6,04	0,912	72,5	3,88
15-16/06/06	400	11,3	36,7	24,8	52,4	15,5	11,0	45,8	198	5,48	3,31	74,8	0,925
16-19-06/06	161	3,24	12,3	8,40	35,4	5,25	2,56	14,6	64,7	5,69	2,04	30,0	8,40
19-20-06/06	421	4,31	27,3	2,04	71,1	11,5	20,3	41,7	421	6,51	0,309	82,7	2,68
21-22-06-06	243	1,37	18,2	11,5	27,8	7,75	6,67	25,4	113	5,61	2,45	45,1	5,76
30/06/06 a 03/07/06	150	1,30	9,31	5,75	35,8	5,00	1,97	14,2	59,4	5,02	9,55	24,9	24,3
03-04/07/06	592	4,12	28,0	17,4	29,6	15,8	8,72	45,8	176	5,32	4,79	77,9	1,33
10-11-07-06	125	3,18	26,1	16,9	51,9	12,3	2,54	15,4	155	5,21	6,17	29,4	6,01
14-17/07/06	125	1,16	8,19	5,58	29,8	4,75	2,26	10,4	43,5	5,46	3,47	20,6	34,9
21-24-07-06	127	1,91	9,93	0,652	25,2	5,75	1,54	11,7	155	5,35	4,47	22,3	8,95
03-04-08-06	68,5	5,35	9,63	4,14	15,0	9,00	3,59	7,50	91,4	5,50	3,16	17,1	7,15
04-07-08-06	63,2	2,60	7,96	2,48	7,84	9,00	1,33	7,08	91,4	5,81	1,55	14,7	8,44
07-08-08-06	170	2,33	13,4	0,339	12,3	16,0	2,56	17,1	218	5,95	1,12	30,6	6,32
11-14-08-06	86,4	1,96	9,20	2,45	16,4	7,00	1,44	5,83	112	6,01	0,977	18,5	8,40
15-16-08-06	296	5,22	24,1	3,68	30,1	14,8	9,49	30,0	341	6,14	0,724	56,3	2,46
18-21-08-06	80,2	15,8	24,3	17,5	42,8	23,5	5,13	10,4	112	6,53	0,295	27,8	2,29
22-23-08-06	141	8,34	42,0	30,2	26,8	47,5	5,90	16,7	197	6,28	0,525	39,6	2,40
25-29-08-06	174	7,13	17,0	5,30	29,2	21,0	12,1	19,6	196	6,40	0,398	38,6	1,43

Tabela AP02: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de agosto a novembro de 2006

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
30-31-08-06	49,7	1,51	6,33	3,29	12,2	5,50	1,87	4,58	50,6	5,54	2,88	12,2	1,24
06-11-09-06	65,0	2,35	8,41	5,38	11,2	3,25	1,03	6,67	50,6	5,16	6,92	12,9	67,6
11-12-09-06	149	1,58	10,3	1,46	12,5	5,00	7,69	14,6	147	5,19	6,46	19,4	2,86
12-13/09/06	72,9	1,25	18,8	13,9	36,3	3,50	1,10	9,58	82,9	5,19	6,46	19,4	3,66
14-15-09-06	121	4,16	21,7	12,4	21,3	5,25	2,21	15,0	155	4,60	25,1	28,7	2,59
15-18-09-06	137	6,46	33,3	25,5	35,4	8,00	5,38	15,8	131	4,26	55,0	39,8	3,29
26-27-09-06	28,1	3,04	8,66	6,33	16,8	5,00	0,641	5,00	38,8	5,14	7,24	9,70	22,2
27-28-09-06	65,8	1,08	4,83	-0,654	9,54	1,70	0,513	5,83	91,4	5,16	6,92	12,7	66,7
28-09 a 02-10-06	104	3,26	9,47	3,53	16,9	3,50	1,18	11,3	99,0	5,53	2,95	20,1	39,2
04-05-10-06	106	5,70	29,9	22,5	23,1	20,0	2,56	8,33	123	5,58	2,63	24,0	4,25
06-09-10-06	145	3,83	29,0	17,2	38,1	12,5	2,56	16,7	197	5,03	9,33	31,8	7,28
09-10-10-06	334	4,79	46,1	28,6	76,1	12,5	7,69	29,2	292	5,69	2,04	54,1	1,87
20-23-10-06	50,3	6,92	10,2	5,96	13,3	5,00	2,05	4,17	70,4	4,97	10,7	13,3	33,3
23-24-10-06	221	8,86	19,8	6,15	24,5	10,0	5,13	25,0	228	4,94	11,5	42,0	6,12
24-25-10-06	74,2	5,17	7,23	2,26	8,76	5,00	1,79	8,33	82,9	5,15	7,08	15,3	12,6
25-26-10-06	25,6	4,35	4,47	2,38	15,6	5,00	7,69	4,17	34,8	5,48	3,31	12,2	4,29
9-10-11-06	441	28,7	195	170	279	67,5	20,5	37,5	418	5,89	1,29	119	6,17
10-13-11-06	21,1	7,95	13,2	12,5	32,3	1,75	1,03	1,25	11,9	4,64	22,9	11,4	6,00
14-16/11/06	96,9	4,18	22,9	17,9	41,8	5,00	2,31	8,33	82,9	4,48	33,1	26,9	6,00
16-17/11/06	79,7	2,02	5,44	0,466	17,3	5,00	2,31	12,50	82,9	5,05	8,91	16,4	6,17
24-27/11/06	104	6,93	9,58	3,64	34,3	5,00	5,13	8,33	99,0	5,77	1,70	21,0	6,01

Tabela AP03: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de dezembro de 2006 a março de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
01-04/12/06	238	14,8	74,1	56,0	97,9	70,0	7,69	25,0	302	5,73	1,86	61,8	6,18
04-05/12/06	53,5	7,49	37,6	35,6	112	2,50	5,13	2,08	34,50	5,97	1,07	24,1	6,02
13-14/12/06	357	25,8	84,5	62,0	137	30,0	10,3	33,3	376	5,08	8,32	78,0	6,16
21-22/12/06	116	10,2	37,9	32,9	41,7	22,5	10,3	37,5	82,9	4,76	17,4	57,7	1,95
29-12/06 a 02/01/07	147	9,09	25,7	14,5	70,9	12,5	2,56	16,7	186	5,53	2,95	30,7	6,03
03-04/01/07	47,6	5,24	27,4	23,8	69,9	5,00	1,54	4,17	59,9	5,25	5,62	17,8	4,94
04-05/01/07	222	9,93	46,8	30,6	79,0	17,5	5,13	25,0	270	4,55	28,2	53,5	6,01
12-15/01/07	83,7	14,5	30,3	22,9	45,7	17,5	7,69	12,5	123	5,03	9,33	30,4	1,67
19-22/01/07	123	9,76	35,6	25,7	66,7	22,5	5,13	12,5	165	5,30	5,01	35,6	6,02
09-12/02/07	39,7	5,95	6,02	3,06	29,5	5,00	2,05	3,33	49,3	5,50	3,16	11,4	19,7
14-15/02/07	38,1	13,2	56,0	54,9	112	5,00	0,769	2,50	17,8	4,41	38,9	28,4	2,93
15-16/02/07	29,0	9,33	20,6	19,5	74,0	5,00	1,03	1,67	17,8	5,28	5,25	14,4	9,70
22-23/02/07	17,7	4,43	6,67	6,28	14,1	2,25	1,92	< 0,417	6,43	4,58	26,3	5,20	16,0
23-26/02/07	18,9	4,44	4,42	1,38	39,0	5,50	1,64	5,83	50,6	4,66	21,9	16,1	10,4
01-02/03/07	35,3	4,14	1,67	-0,398	7,96	2,25	0,513	2,50	34,5	5,09	8,13	7,40	15,2
02-05/03/07	117	5,93	1,67	-4,27	33,5	3,75	2,05	11,3	99,0	4,61	24,5	24,0	15,0
06-07/03/07	30,9	1,51	10,1	8,40	7,94	1,50	0,513	2,50	28,3	5,02	9,55	10,2	30,8
07-08/03/07	42,8	0,929	6,34	3,38	6,04	0,250	0,513	3,33	49,3	4,91	12,3	9,30	17,9
09-12/03/07	25,5	2,33	4,89	3,83	11,8	1,00	0,256	1,25	17,8	4,74	18,2	6,70	28,6
13-14/03/07	99,7	6,32	11,7	3,03	20,1	5,00	1,54	10,4	144	4,91	12,3	21,2	7,57
22-23/03/07	119	10,70	19,7	9,81	38,5	8,00	2,56	9,58	165	5,72	1,91	30,4	2,30

Tabela AP04: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de março a junho de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
23-26/03/07	61,0	4,65	7,05	2,19	11,9	2,00	2,82	3,33	80,9	7,26	0,0550	13,6	10,8
26-27/03/07	44,3	1,16	3,68	0,160	9,76	3,00	1,03	4,17	58,7	5,90	1,26	9,20	12,4
27-28/03/07	121	7,92	14,3	5,04	29,7	20,5	17,2	35,4	155	5,70	2,00	32,4	1,18
10-11/04/07	96,5	12,7	20,1	14,1	30,0	14,0	5,13	9,58	99,7	5,50	3,16	23,9	4,41
11-12/04/07	62,2	5,64	11,3	7,26	48,9	2,25	1,28	3,33	68,1	5,70	2,00	18,8	1,40
12-13/04/07	10,6	1,53	3,37	2,93	9,55	1,50	< 0,256	< 0,417	7,43	5,91	1,23	4,30	14,5
13-16/04/07	41,0	3,40	9,40	6,26	22,8	3,50	0,513	2,92	52,3	5,86	1,38	11,1	7,51
18-19/04/07	77,7	6,79	36,4	33,3	28,6	4,75	1,54	4,17	52,3	6,09	0,813	15,4	8,87
19-20/04/07	204	2,90	16,7	5,07	36,6	6,75	3,85	15,4	195	5,76	1,74	34,7	2,07
20-23/04/07	188	2,35	17,7	5,09	46,1	7,00	4,36	15,0	210	5,40	3,98	33,6	4,59
23-24/04/07	63,5	3,75	7,93	4,80	4,33	1,75	1,03	2,50	52,3	5,47	3,39	10,6	7,73
24-25/04/07	61,5	3,77	44,6	42,3	78,1	3,75	1,54	4,58	39,1	5,30	5,01	24,5	3,00
27-04/07 a 02-05/07	35,7	4,18	8,35	5,21	26,8	1,75	0,769	2,50	52,3	5,09	8,13	10,5	27,6
04-07/05/07	89,8	4,83	9,82	1,94	23,1	2,75	3,33	5,42	131	5,10	7,94	18,5	7,55
08-09/05/07	31,0	9,63	11,6	10,3	40,1	3,00	1,79	2,50	20,9	5,23	5,89	12,7	6,07
10-11/05/07	60,6	3,62	4,96	0,874	4,30	2,00	1,03	4,58	68,1	5,10	7,94	11,9	57,0
11-14/05/07	334	6,73	18,9	-3,19	11,1	8,00	7,18	36,7	368	4,85	14,1	56,6	9,14
14-15/05/07	31,3	4,19	5,12	2,94	25,2	1,50	1,03	3,33	36,5	5,70	2,00	7,00	14,2
16-17/05/07	24,1	3,15	3,49	2,81	8,16	0,500	< 0,256	0,417	11,3	6,66	0,219	6,00	19,3
18-21/05/07	108	5,80	12,0	4,13	28,8	3,75	2,05	11,7	131	4,88	13,2	22,1	11,1
08-11/06/07	81,8	3,30	8,99	5,07	12,5	3,75	2,31	8,33	65,3	7,50	0,0316	15,1	32,2

Tabela AP05: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de junho de 2006 a junho de 2007

Estação Gravatá no Período: 2006-2007	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond.($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	75,1	3,70	11,6	7,24	23,7	5,01	1,85	7,06	72,6	5,54	6,50	16,4	-
Mediana	88,1	4,39	12,1	5,67	29,0	5,00	2,28	8,96	91,4	5,41	3,89	21,1	6,25
Média Aritimética	122	5,79	20,5	13,3	36,5	9,44	3,89	12,6	119	5,45	7,53	27,3	13,2
Desvio Padrão	110	4,81	24,6	21,8	37,3	12,0	4,20	11,9	97,0	0,611	9,52	21,1	17,6
Valor Mínimo	10,6	0,929	1,67	-4,27	4,30	0,250	0,256	0,417	6,43	4,26	0,0316	3,30	0,925
Valor Máximo	592,0	28,7	195	170	279	70,0	20,5	50,0	421	7,50	55,0	119	87,7

Tabela AP06: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de junho a agosto de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
11-12/06/07	64,8	3,30	8,46	5,03	10,5	2,75	1,54	7,08	57,2	5,55	2,82	14,2	2,68
12-13/06/07	147	3,30	11,12	3,11	33,0	4,25	10,3	10,8	134	4,99	10,2	26,2	1,76
15-18/06/07	66,0	3,30	7,57	4,14	31,3	2,50	1,54	7,08	57,2	5,00	10,0	13,6	12,0
20-21/06/07	64,6	3,90	5,80	2,37	9,88	2,50	1,03	7,08	57,2	6,42	0,380	15,1	14,2
21-22/06/07	175	17,4	10,94	0,215	25,2	8,00	2,56	18,3	179	5,34	4,57	28,2	2,78
22-26/06/07	144	6,00	15,47	5,69	41,7	7,50	3,59	15,4	163	4,82	15,1	28,0	6,01
26-27/06/07	119	4,72	10,50	1,67	48,3	4,50	1,79	13,3	147	5,80	1,58	23,6	4,16
27-28/06/07	271	5,61	21,36	4,00	21,2	7,50	4,62	28,3	289	4,80	15,8	44,0	5,46
28-29/06/07	215	6,46	16,09	1,57	24,7	6,25	7,95	20,8	242	4,71	19,5	36,6	3,78
29/06/07 a 03/07/07	90,8	7,34	10,80	5,90	29,4	3,75	2,82	10,0	81,6	4,98	10,5	18,2	5,96
04-05/07/07	132	7,31	12,72	4,89	16,6	7,75	2,82	13,8	130	5,46	3,47	24,8	1,92
06-09/07/07	23,8	2,00	3,40	1,92	11,1	0,250	0,256	1,67	24,6	4,89	12,9	6,00	15,1
12-13/07/07	64,9	2,26	10,89	10,1	14,5	2,50	0,769	6,25	13,5	5,70	2,00	14,2	10,8
13-16/07/07	44,7	3,17	7,07	4,61	10,6	3,75	1,28	4,17	40,9	6,10	0,794	10,7	4,03
26-30/07/07	133	5,64	11,45	3,63	14,6	4,00	1,79	14,2	130	6,90	0,126	25,0	46,7
02-03/08/07	86,8	2,62	7,33	2,12	15,4	4,50	3,33	11,7	87,0	5,09	8,13	16,4	4,01
03-06/08/07	120	3,60	13,85	7,98	41,0	4,50	7,69	12,1	97,9	4,82	15,1	22,2	5,00
06-07/08/07	85,6	2,67	7,09	2,68	42,7	2,25	3,33	3,75	73,5	7,25	0,0562	17,0	4,31
07-08/08/07	140	4,25	11,93	5,08	30,9	7,25	4,10	14,6	114	4,92	12,0	25,5	1,36
08-09/08/07	98,5	3,26	6,77	1,38	11,1	4,75	3,33	9,17	89,7	4,80	15,8	18,7	2,96
10-13/08/07	75,7	4,86	24,17	21,7	30,1	4,25	2,56	2,08	40,9	4,68	20,9	9,70	21,3
14-15/08/07	112	4,76	7,82	2,43	12,1	2,75	2,56	8,75	89,7	5,36	4,37	17,8	3,67
15-16/08/07	256	4,74	14,41	1,21	8,26	7,25	6,92	27,1	220	5,13	7,41	44,5	5,49
17-20/08/07	109	5,34	9,52	3,64	21,1	3,25	2,56	10,0	97,9	5,27	5,37	20,1	12,3

Tabela AP07: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de agosto a dezembro de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
28-29/08/07	92,8	9,34	15,7	10,4	26,7	6,00	4,10	9,58	89,7	4,90	12,6	21,8	5,77
30/08/07 a 03/09/07	149	6,03	12,3	4,48	20,2	5,50	5,13	14,2	130	4,79	16,2	27,0	6,97
03-04/09/07	55,1	4,53	6,11	3,17	10,4	1,75	3,08	3,75	49,0	5,81	1,55	18,5	2,67
05-06/09/07	163	4,54	9,95	1,64	26,1	4,75	3,85	19,2	139	4,70	20,0	27,3	15,9
06-10/09/07	163	4,37	11,3	3,02	40,4	4,25	3,08	17,5	139	4,63	23,4	27,3	21,3
10-11/09/07	25,7	1,42	2,76	1,64	18,2	0,250	0,769	3,33	18,7	4,96	11,0	5,80	11,5
12-13/09/07	40,8	2,86	4,15	1,70	63,9	1,25	1,54	5,42	40,9	5,89	1,29	11,6	4,56
13-14/09/07	80,5	3,11	6,91	2,51	7,95	4,25	2,05	10,4	73,5	5,01	9,77	16,8	6,26
14-17/09/07	161	9,39	17,6	8,83	46,6	15,0	4,36	19,6	147	4,83	14,8	33,9	1,27
20-21/09/07	94,3	4,27	9,80	4,90	17,8	5,75	2,56	11,3	81,6	4,67	21,4	18,6	11,6
27/09/07 a 01/10/07	445	33,5	69,0	48,0	83,1	198	35,9	58,3	350	5,86	1,38	116,6	1,88
01-02/10/07	118	13,0	41,7	36,3	59,8	50,0	10,0	19,2	89,7	5,08	8,32	41,9	2,26
03-04/10/07	98,4	17,3	21,6	18,2	68,6	30,0	13,3	12,9	57,2	4,95	11,2	31,9	2,08
04-05/10/07	100	13,4	24,0	22,5	39,7	12,5	6,67	12,9	24,6	4,87	13,5	29,2	6,73
05-08/10/07	188	11,7	25,9	19,5	41,8	42,5	7,44	22,5	106	5,65	2,24	43,6	2,90
08-09/10/07	92,5	5,91	9,03	5,11	6,60	10,0	2,31	9,58	65,3	4,65	22,4	19,6	5,39
10-11/10/07	111	6,47	11,4	6,50	17,4	12,5	4,87	12,1	81,6	4,83	14,8	23,3	4,40
15-16/10/07	72,0	6,60	12,1	9,18	9,78	13,5	4,10	6,67	49,0	5,05	8,91	19,3	4,20
14-19/11/07	234	16,4	35,4	24,6	38,9	70,0	9,49	31,7	179	5,21	6,17	51,8	4,32
23-26/11/07	118	13,8	66,8	60,4	105	80,0	5,90	18,3	107	5,76	1,74	51,8	9,06
28-29/11/07	39,4	12,7	21,7	19,8	20,8	23,3	2,82	6,67	31,3	5,36	4,37	19,9	7,35
30/11/07 a 03/12/07	271	15,2	79,2	67,4	97,9	55,0	24,1	31,3	197	5,69	2,04	75,9	2,67
07-10/12/07	84,5	6,97	30,5	27,0	30,0	30,0	4,87	12,9	58,8	5,55	2,82	26,2	22,5
14-17/12/07	30,0	9,05	14,7	13,5	13,8	22,3	2,05	3,75	21,5	4,93	11,7	14,7	31,7

Tabela AP08: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de dezembro de 2007 a junho de 2008

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
21-26/12/07	173	8,19	73,2	66,2	45,1	110	5,90	21,7	116	6,00	1,00	56,4	5,02
11-14/01/08	183	9,30	40,4	34,0	10,2	135	17,7	19,6	107	6,15	0,708	54,9	5,64
16-17/01/08	107	7,43	24,7	19,7	30,6	65,0	2,56	13,3	83,1	5,28	5,25	36,0	8,42
31/01/08 a 01/02/08	68,0	7,08	20,2	19,0	3,14	82,5	3,59	9,17	19,7	6,17	0,676	23,1	13,0
01-07/02/08	61,5	17,1	15,9	14,7	43,7	150	6,92	14,6	21,1	6,23	0,589	40,1	2,08
15-18/02/08	113	6,50	18,0	14,5	20,1	75,0	5,13	12,1	58,8	6,04	0,912	33,4	11,1
26-27/02/08	156	33,8	84,7	75,8	18,9	125	10,3	21,3	148	6,12	0,759	57,1	5,84
28-29/02/08	20,1	6,48	11,2	11,0	3,31	22,5	0,513	2,50	2,13	4,95	11,2	9,60	39,9
28-31/03/08	17,0	7,82	17,8	17,0	1,31	27,5	1,79	3,33	12,6	5,79	1,62	14,4	17,6
31/03/08 a 01/04/08	28,9	9,36	8,74	6,97	5,82	8,00	1,03	2,50	29,5	4,71	19,5	11,7	6,65
02-03/04/08	7,62	6,93	2,95	2,86	0,420	0,750	0,256	< 0,417	1,61	4,48	33,1	2,90	9,97
04-07/04/08	25,7	5,11	15,5	14,4	16,1	3,25	0,769	1,67	19,8	4,73	18,6	11,5	18,9
07-08/04/08	72,7	5,05	17,9	13,3	10,73	8,50	1,54	5,83	77,5	4,73	18,6	19,3	1,34
17-18/04/08	48,7	4,73	10,4	7,09	6,25	1,75	0,769	3,75	54,6	4,62	24,0	13,6	8,64
22-23/04/08	37,7	10,9	37,5	36,2	28,4	15,8	1,03	4,58	22,2	4,68	20,9	23,9	4,12
28-29/04/08	96,4	7,42	31,6	24,7	17,9	21,8	3,33	10,8	117	4,82	15,1	27,4	3,88
08-09/05/08	15,0	4,30	3,35	2,68	4,37	0,750	0,513	1,25	11,1	4,92	12,0	5,10	21,8
09-12/05/08	109	5,16	8,39	6,95	12,2	3,25	2,05	11,3	24,0	4,35	44,7	19,8	36,9
14-15/05/08	88,7	3,95	8,11	4,46	12,2	4,00	1,79	9,58	60,9	5,20	6,31	19,3	7,28
22-26/05/08	23,5	4,86	7,00	5,64	11,4	2,50	0,769	3,33	22,5	4,84	14,5	11,8	14,5
30/05/08 a 02/06/08	117	3,40	8,04	0,227	8,07	8,25	2,56	14,6	130	4,94	11,5	26,4	6,22
02-03/06/08	154	3,15	13,3	2,86	12,7	6,00	2,56	16,7	174	4,78	16,6	27,5	6,11
05-06/06/08	121	2,28	8,37	0,417	9,34	5,00	2,56	5,00	133	4,71	19,5	22,0	18,3
11-12/06/08	71,2	3,78	20,9	17,5	46,6	11,0	1,28	8,75	56,9	5,05	8,91	20,8	6,22

Tabela AP09: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de junho a outubro de 2008

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
12-13/06/08	85,1	3,43	11,3	5,79	22,5	9,00	3,08	10,0	91,3	5,20	6,31	19,0	3,89
20-25/06/08	116	4,87	20,7	12,9	25,1	12,0	2,56	12,5	130	4,79	16,2	26,7	8,61
25-26/06/08	21,4	3,98	7,94	6,73	15,7	3,25	0,769	3,33	20,2	4,96	11,0	8,40	4,05
26-27/06/08	30,1	1,89	4,68	2,37	7,35	1,75	1,03	2,92	38,6	5,06	8,71	8,90	15,8
27-30/06/08	108	1,66	10,0	9,56	17,3	3,00	2,56	10,8	8,08	5,09	8,13	22,4	15,2
30/06/08 a 01/07/08	131	3,95	11,8	3,66	9,40	3,00	2,56	13,8	135	5,09	8,13	26,1	27,3
01-03/07/08	120	5,11	12,2	4,85	10,2	7,00	2,56	12,9	123	4,90	12,6	23,3	8,51
04-07/07/08	172	9,79	15,6	5,34	18,8	7,00	3,33	20,4	170	5,40	3,98	31,6	7,82
07-08/07/08	340	12,3	25,1	4,85	29,0	32,5	8,72	41,7	337	5,06	8,71	57,1	1,13
09-10/07/08	32,8	4,97	4,49	2,81	7,92	< 0,250	1,03	2,08	28,0	4,59	25,7	7,70	14,9
10-11/07/08	43,4	5,33	5,81	3,07	18,4	1,75	1,03	4,17	45,5	5,06	8,71	10,2	17,5
11-14/07/08	217	6,77	14,2	0,869	15,3	8,50	5,64	25,0	223	5,13	7,41	44,9	5,46
14-15/07/08	194	5,73	12,7	0,399	8,63	5,25	3,85	21,7	205	5,37	4,27	33,6	5,66
18-21/07/08	240	11,1	22,6	7,41	31,8	12,0	6,67	27,9	253	4,67	21,4	44,9	3,32
21-22/07/08	80,2	5,68	22,3	16,6	29,4	6,25	2,05	10,8	95,4	4,72	19,1	21,5	22,5
25-29/07/08	166	9,51	16,4	5,58	18,8	12,3	3,85	19,6	180	5,45	3,55	35,0	11,4
01-04/08/08	49,1	6,18	10,5	7,43	26,5	5,25	3,85	12,9	50,5	4,63	23,4	13,6	5,86
06-07/08/08	81,2	4,70	9,24	4,26	11,4	4,75	1,79	9,58	82,9	4,72	19,1	15,4	11,4
08-11/08/08	226	8,66	20,4	7,34	73,1	20,3	5,90	20,8	218	5,57	2,69	41,7	1,50
11-12/08/08	157	5,15	17,9	8,55	20,5	3,25	5,64	12,9	155	5,28	5,25	33,1	5,38
15-18/08/08	233	4,49	16,5	2,83	37,3	3,00	3,33	20,4	228	5,85	1,41	42,9	16,8
01-02/09/08	90,0	5,84	12,1	6,48	13,7	1,75	1,54	7,92	92,9	5,03	9,33	18,5	15,1
04-05/09/08	96,5	7,52	10,6	3,93	26,0	2,50	1,28	8,33	110	5,06	8,71	26,1	2,15
19-22/09/08	102	10,1	12,2	5,69	34,1	5,25	5,13	< 0,417	108	5,65	2,24	28,6	10,1
25-26/09/08	105	11,0	12,8	5,76	32,6	5,50	5,38	< 0,417	117	4,86	13,8	23,6	6,21
07-08/10/08	117	7,77	14,8	7,41	20,5	12,0	3,33	< 0,417	123	4,49	32,4	26,2	8,38
08-09/10/08	74,3	4,56	7,27	2,44	10,8	2,75	1,54	< 0,417	80,4	5,54	2,88	15,5	8,68
09-10/10/08	96,3	6,06	9,29	2,97	26,0	2,50	2,05	< 0,417	105	5,48	3,31	20,5	2,05
13-14/10/08	79,2	6,84	8,34	3,39	23,4	4,50	2,31	10,0	82,4	5,18	6,61	17,6	9,90
14-15/10/08	62,1	7,22	7,16	3,04	19,4	2,75	2,05	7,92	68,7	4,76	17,4	14,4	5,83

Tabela AP10: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de junho de 2007 a junho de 2008

Estação Gravatá no Período: 2007-2008	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	88,4	6,26	15,4	11,2	19,8	17,4	2,92	9,54	69,9	5,22	12,3	21,1	-
Mediana	97,4	5,62	12,0	5,80	18,6	6,75	2,82	10,8	81,6	5,00	10,1	22,1	5,98
Média Aritimética	108	7,41	18,5	13,1	25,6	23,6	4,48	12,1	90,1	5,23	10,4	26,1	9,34
Desvio Padrão	72,4	5,90	17,6	16,5	21,2	39,0	5,44	9,04	67,0	0,59	8,59	17,4	9,07
Valor Mínimo	7,62	1,42	2,76	0,21	0,420	0,250	0,256	0,417	1,61	4,35	0,0562	2,90	1,27
Valor Máximo	445	33,8	84,7	75,8	105	198	35,9	58,3	350	7,25	44,7	117	46,7

Tabela AP11: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Gravatá em Camaçari no período de junho a outubro de 2008

Estação Gravatá no Período: 2008	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	108	5,61	12,2	5,78	19,2	4,89	2,65	10,3	107	5,07	11,1	22,8	-
Mediana	104	5,78	12,1	5,10	20,0	5,00	2,56	10,4	109	5,06	8,71	23,5	8,45
Média Aritimética	122	6,40	12,9	5,47	22,0	6,69	3,21	11,8	124	5,09	10,7	25,3	9,41
Desvio Padrão	72,7	2,61	5,35	3,32	12,5	6,42	1,91	9,54	75,0	0,338	7,71	12,1	6,26
Valor Mínimo	21,4	1,66	4,49	0,399	7,35	0,250	0,769	0,417	8,08	4,49	1,41	7,70	1,13
Valor Máximo	340	12,3	25,1	16,6	73,1	32,5	8,72	41,7	337	5,85	32,4	57,1	27,3

Tabela AP12: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de junho a setembro de 2006

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
9-12/06/06	15,6	1,37	15,0	14,6	13,2	5,00	0,462	1,88	7,43	5,14	7,24	8,20	87,5
12-13/06/06	13,7	1,10	10,8	10,4	57,4	1,40	< 0,256	< 0,417	6,52	6,78	0,166	6,70	66,6
14-15/06/06	244	6,78	24,9	9,27	18,7	10,5	4,36	27,9	260	5,10	7,94	44,3	4,98
15-16/06/06	68,2	4,01	49,8	47,3	78,8	5,50	1,77	7,92	41,3	5,38	4,17	29,7	3,65
16-19/06/06	89,4	3,57	34,7	32,5	62,2	7,75	2,82	10,0	38,2	5,08	8,32	28,3	4,02
19-20/06/06	159	4,04	60,7	46,6	76,4	15,3	7,44	38,8	235	4,61	24,5	70,4	9,13
21-22/06/06	532	2,03	36,5	25,6	36,6	17,8	8,46	54,2	182	4,87	13,5	79,1	6,13
29-30/06/06	23,6	0,729	15,9	14,8	37,0	2,15	0,308	1,75	17,8	4,92	12,0	13,3	57,7
30/06/06 a 03/07/06	256	2,23	29,0	12,4	47,2	7,00	3,59	25,8	276	4,72	19,1	47,8	17,1
05-06/07/06	92,3	6,35	67,3	59,9	156	9,25	3,33	10,4	123	4,49	32,4	43,8	10,8
10-11/07/06	108	7,46	34,1	24,8	65,4	9,00	2,56	12,5	155	5,42	3,80	29,8	6,73
14-17/07/06	116	1,77	26,6	18,7	49,3	6,00	1,77	12,1	131	4,76	17,4	29,0	34,0
21-24/07/06	155	4,25	35,0	23,9	38,6	9,50	3,08	14,6	186	5,01	9,77	35,7	9,69
01-02-08-06	37,3	2,38	48,5	45,6	78,3	5,50	1,00	3,92	49,3	4,47	33,9	26,7	16,4
03-04-08-06	46,2	5,02	28,7	25,1	28,4	4,25	2,28	5,00	59,9	4,50	31,6	22,5	3,99
04-07-08-06	74,4	4,57	20,9	15,4	67,2	4,00	4,10	6,67	91,4	5,22	6,03	22,2	9,44
07-08-08-06	202	3,43	59,8	43,6	71,0	10,5	2,56	20,4	270	4,47	33,9	53,5	5,14
11-14-08-06	220	4,51	42,9	26,7	49,5	11,3	3,85	22,9	270	4,67	21,4	48,5	2,79
22-23-08-06	192	14,8	88,9	77,7	165	27,5	18,5	23,8	187	5,78	1,66	64,9	2,41
25-29-08-06	363	20,9	81,3	64,6	102	37,5	28,2	41,7	278	5,76	1,74	80,8	1,65
30-31-08-06	143	5,03	15,9	7,08	18,5	11,3	5,38	15,0	147	5,24	5,75	27,9	7,49
06-11-09-06	75,2	3,11	33,7	29,7	50,8	6,00	2,49	8,33	66,7	4,47	33,9	26,0	68,3
11-12-09-06	155	2,79	36,3	26,4	76,8	11,5	9,74	16,7	163	5,45	3,55	39,9	3,79
12-13-09-06	69,7	1,64	37,2	33,2	71,1	7,50	2,56	8,33	66,7	5,03	9,33	24,3	7,81

Tabela AP13: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
15-18-09-06	175	3,34	28,0	17,2	206	1,90	< 0,256	7,50	180	6,27	0,537	55,7	1,63
26-27-09-06	25,1	3,12	15,8	14,1	17,2	3,75	0,615	2,88	28,3	4,56	27,5	14,1	25,8
28-09 a 02-10-06	108	1,99	14,5	8,59	12,3	2,75	1,79	11,3	99,0	5,37	4,27	22,0	32,4
02-03-10-06	13,7	4,65	21,2	20,1	27,5	2,75	1,28	2,50	17,8	4,47	33,9	16,8	6,80
04-05-10-06	70,3	4,23	15,2	9,67	104	< 0,250	10,3	< 0,417	91,4	6,43	0,372	26,0	2,37
06-09-10-06	62,9	2,60	10,5	5,69	36,2	2,50	2,56	4,17	80,9	5,85	1,41	16,2	7,23
09-10-10-06	211	4,06	17,5	7,55	56,6	5,00	7,69	20,8	165	6,28	0,525	39,8	2,80
20-23-10-06	36,7	8,18	35,8	32,8	60,5	5,00	2,05	4,17	49,3	4,73	18,6	25,0	25,7
23-24-10-06	177	7,56	61,5	50,7	110	12,5	5,13	20,8	180	4,40	39,8	55,7	5,99
24-25-10-06	102	6,43	34,0	28,1	63,2	7,50	2,31	12,5	99,0	4,54	28,8	32,4	13,2
9-10-11-06	47,2	11,6	20,0	15,8	0,516	10,0	5,13	8,33	70,4	4,31	49,0	23,2	17,2
14-16/11/06	30,6	1,27	2,63	1,53	9,21	1,00	0,769	1,67	18,4	5,03	9,33	7,6	8,23
16-17/11/06	29,8	1,13	6,70	5,59	16,0	5,00	1,28	3,33	18,4	4,65	22,4	10,7	13,4
17-20/11/06	143	8,76	49,5	42,1	56,3	10,0	7,69	12,5	123	4,03	93,3	57,2	1,70
21-22/11/06	77,4	5,96	13,2	9,27	10,9	5,00	2,56	9,17	65,2	4,61	24,5	22,1	3,16
23-24/11/06	18,3	9,47	3,79	2,73	8,35	0,75	0,513	0,833	17,8	4,98	10,5	6,30	7,73
24-27/11/06	96,9	7,34	9,81	4,83	16,9	5,00	2,05	8,33	82,9	5,04	9,12	19,7	1,68
04-05/12/06	40,0	5,89	3,00	0,935	13,0	2,50	5,13	2,92	34,5	5,20	6,31	10,5	6,29
15-18/12/06	50,6	9,60	11,0	7,37	11,7	7,50	1,79	4,17	59,9	4,93	11,7	14,0	8,04
29-12/06 a 02/01/07	198	15,9	42,2	31,8	76,5	25,0	7,69	25,0	174	5,52	3,02	46,7	2,53
03-04/01/07	33,2	5,10	6,59	4,26	14,8	1,50	1,28	2,08	38,8	5,70	2,00	7,60	8,80
12-15/01/07	75,8	14,4	13,0	7,47	23,5	10,0	2,56	12,5	91,4	5,47	3,39	18,7	3,29
09-12/02/07	40,5	5,71	8,77	7,70	18,1	7,50	0,769	3,33	17,8	4,62	24,0	10,4	11,2
14-15/02/07	21,8	11,1	5,87	4,81	11,6	5,00	1,28	1,25	17,8	5,09	8,13	7,30	4,24

Tabela AP14: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de fevereiro a junho de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
15-16/02/07	18,7	7,36	3,90	3,4	18,0	0,750	0,513	< 0,417	8,43	5,31	4,90	4,40	13,7
27-28/02/07	105	8,54	38,9	32,9	76,9	10,5	7,69	11,3	99,0	4,47	33,9	34,9	1,33
02-05/03/07	182	7,27	1,67	-7,17	85,9	9,75	7,69	16,7	147	4,81	15,5	42,6	6,28
06-07/03/07	39,0	0,140	6,74	4,42	13,7	2,00	5,13	2,50	38,8	5,94	1,15	9,00	2,50
12-13/03/07	64,4	6,24	27,1	21,8	16,4	5,00	5,13	4,17	87,0	5,18	6,61	22,9	7,26
13-14/03/07	185	11,6	45,7	31,3	20,1	15,0	7,69	16,7	239	5,43	3,72	46,4	2,25
23-26/03/07	96,2	3,60	73,4	69,5	11,9	8,75	79,5	20,8	65,2	7,30	0,050	124	8,15
26-27/03/07	60,0	1,69	29,5	25,2	9,76	6,75	3,59	5,83	70,4	4,63	23,4	25,5	7,58
10-11/04/07	71,2	12,6	32,4	29,6	30,0	10,8	3,85	< 0,417	47,8	5,37	4,27	23,3	3,59
12-13/04/07	25,5	3,92	9,29	8,05	9,55	3,25	1,03	1,67	20,7	5,50	3,16	9,30	11,1
13-16/04/07	55,0	3,08	29,7	25,6	22,8	7,50	1,28	5,42	68,1	4,54	28,8	28,2	6,72
18-19/04/07	84,2	3,83	37,0	31,9	28,6	8,00	2,31	7,08	83,9	5,90	1,26	34,6	10,6
20-23/04/07	94,6	1,76	45,6	37,7	48,7	8,00	2,31	10,0	131	5,07	8,51	31,0	5,95
23-24/04/07	48,3	3,06	25,7	21,6	38,4	3,50	1,03	3,75	68,1	4,68	20,9	21,4	6,62
24-25/04/07	20,4	1,74	34,1	33,3	65,8	1,50	0,769	0,83	13,0	4,62	24,0	18,7	18,1
04-07/05/07	89,6	5,55	47,6	39,7	68,4	7,25	4,36	9,17	131	4,44	36,3	34,6	7,61
08-09/05/07	71,9	22,5	44,0	40,4	78,8	14,0	3,59	10,4	60,9	4,86	13,8	34,4	1,69
10-11/05/07	81,2	3,93	7,72	1,74	4,84	2,50	1,54	8,33	99,7	4,78	16,6	17,1	56,0
11-14/05/07	745	12,7	133	97,2	56,8	16,3	13,6	66,7	590	3,83	148	141	4,21
14-15/05/07	139	9,14	31,4	19,8	29,9	11,3	4,36	14,6	195	5,80	1,58	31,5	4,26
16-17/05/07	29,5	4,43	26,1	24,8	47,8	2,25	1,54	1,67	21,7	5,40	3,98	15,3	7,98
18-21/05/07	89,1	7,81	46,0	38,2	68,5	11,0	3,59	10,8	131	4,60	25,1	33,3	6,08
05-06/06/07	94,5	3,30	57,7	51,8	89,1	7,50	5,13	10,8	97,9	4,28	52,5	39,0	9,29
08-11/06/07	51,2	3,30	21,3	18,4	37,6	3,50	1,54	5,83	49,0	6,30	0,501	19,0	26,4

Tabela AP15: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de junho de 2006 a junho de 2007

Estação Gravatá no Período: 2006-2007	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	72,8	3,79	24,2	19,9	39,0	5,35	2,89	7,69	72,6	5,10	16,2	23,2	-
Mediana	76,6	4,47	28,9	22,9	38,5	7,13	2,56	8,33	83,4	5,02	9,55	26,4	7,24
Média Aritimética	109	5,86	31,1	24,7	48,3	7,76	5,06	11,4	107	5,09	17,4	32,1	12,6
Desvio Padrão	114	4,45	22,9	19,5	38,5	6,23	9,83	12,0	93,7	0,644	22,1	24,1	16,7
Valor Mínimo	13,7	0,140	1,67	-7,17	0,516	0,250	0,256	0,417	6,52	3,83	0,0501	4,40	1,33
Valor Máximo	745	22,5	133	97,2	206	37,5	79,5	66,7	590	7,30	148	141	87,5

Tabela AP16: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de junho a agosto de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
15-18/06/07	91,7	3,30	60,0	54,1	95,1	5,25	3,08	9,58	97,9	4,59	25,7	34,5	9,52
19-20/06/07	305	10,2	96,8	76,6	103	22,5	10,3	35,8	337	4,69	20,4	76,0	3,49
20-21/06/07	36,9	4,35	20,5	18,5	41,4	3,25	1,03	4,17	32,8	5,21	6,17	16,2	12,5
21-22/06/07	116	4,07	26,1	18,2	55,2	6,50	2,31	13,8	131	5,30	5,01	28,4	10,9
22-26/06/07	99,5	5,63	0,953	-6,92	74,2	6,25	2,56	10,0	131	4,52	30,2	32,0	10,3
26-27/06/07	170	5,58	66,8	55,1	95,2	11,3	3,08	17,9	195	4,60	25,1	47,6	2,82
27-28/06/07	238	6,35	56,8	42,3	65,8	8,00	3,59	22,9	242	4,45	35,5	54,1	3,41
28-29/06/07	137	5,79	17,6	7,83	28,8	4,25	2,31	14,2	163	4,73	18,6	26,2	3,27
29/06/07 a 03/07/07	84,6	7,05	47,2	41,8	66,8	5,00	2,05	9,17	89,7	4,34	45,7	34,0	22,3
04-05/07/07	116	4,08	2,64	-4,21	79,9	6,00	2,31	11,3	114	5,02	9,55	32,8	2,70
05-06/07/07	142	6,53	4,22	-0,679	60,1	4,50	2,56	15,4	81,6	4,28	52,5	42,1	10,5
06-09/07/07	71,8	1,75	1,13	-3,28	57,0	4,00	1,28	5,83	73,5	4,29	51,3	28,3	23,4
24-25/07/07	48,2	4,22	2,72	-0,218	14,1	6,25	1,54	4,17	49,0	4,76	17,4	14,6	7,68
26-30/07/07	133	3,72	2,40	-5,42	26,0	5,50	1,79	14,6	130	4,82	15,1	28,5	58,0
01-02/08/07	174	4,75	3,07	-6,22	47,4	9,50	5,90	19,2	155	4,36	43,7	37,7	5,06
06-07/08/07	76,2	3,37	2,18	-15,4	57,0	9,50	3,59	12,5	293	4,54	28,8	29,7	2,64
07-08/08/07	95,3	4,71	3,04	-3,81	153	13,8	4,62	15,4	114	4,35	44,7	50,3	2,46
08-09/08/07	88,5	3,57	2,30	-3,08	32,2	6,00	3,08	9,58	89,7	5,08	8,32	21,3	1,61
09-10/08/07	41,7	4,71	3,04	0,586	40,4	4,50	2,31	5,00	40,9	5,40	3,98	14,1	10,2
13-14/08/07	122	5,22	3,37	-3,97	38,7	5,75	3,08	13,8	122	4,13	74,1	36,6	9,77
15-16/08/07	225	5,36	3,46	-9,25	122	12,5	5,13	30,0	212	4,63	23,4	60,4	2,54

Tabela AP17: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de agosto a dezembro de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
17-20/08/07	90,4	5,25	3,39	-2,97	76,5	4,75	4,10	8,33	106	4,48	33,1	34,7	9,69
28-29/08/07	365	19,7	12,7	-7,78	27,1	42,5	25,6	50,0	342	4,30	50,1	99,0	1,13
30/08/07 a 03/09/07	140	6,81	4,40	-3,43	95,1	10,5	4,36	15,8	130	4,04	91,2	59,1	15,3
03-04/09/07	342	9,87	6,37	-12,2	94,3	30,0	11,0	41,7	309	4,14	72,4	99,1	1,37
05-06/09/07	131	4,90	3,16	-4,17	25,0	12,5	3,33	16,3	122	4,42	38,0	31,6	4,07
06-10/09/07	161	5,06	3,27	-5,53	82,9	6,50	3,59	17,5	147	4,22	60,3	47,2	17,5
10-11/09/07	46,8	2,64	1,71	-1,23	180	4,00	1,28	5,83	49,0	4,45	35,5	31,5	7,33
13-14/09/07	75,3	3,57	2,31	-2,59	38,6	6,00	4,62	10,0	81,6	4,70	20,0	29,2	3,62
14-17/09/07	248	13,3	8,56	-2,68	125	50,0	8,46	31,7	187	4,18	66,1	63,4	0,941
19-20/09/07	112	9,58	6,19	-2,12	91,1	37,5	6,67	17,9	139	4,11	77,6	56,7	1,67
20-21/09/07	74,2	5,10	3,29	-1,60	85,5	5,75	2,31	8,33	81,6	4,20	63,1	39,6	13,9
04-05/10/07	100	13,4	8,65	7,17	20,7	11,5	2,82	6,25	24,6	4,50	31,6	17,9	3,90
05-08/10/07	111	13,5	8,70	5,27	10,4	8,50	3,08	13,3	57,2	5,16	6,92	24,9	3,43
08-09/10/07	105	7,27	4,69	-0,203	6,6	14,0	3,33	12,5	81,6	4,80	15,8	28,0	2,33
10-11/10/07	96,8	7,22	4,66	-0,232	21,1	13,0	4,36	13,8	81,6	4,11	77,6	41,3	2,57
13-14/11/07	115	10,2	6,62	0,660	21,0	27,5	4,10	12,5	99,3	5,57	2,69	26,4	1,72
14-19/11/07	216	14,9	9,62	0,335	54,8	45,0	8,21	27,9	155	5,14	7,24	51,2	1,90
27-28/11/07	57,1	13,8	8,93	6,85	20,6	9,25	6,41	6,67	34,5	5,78	1,66	14,6	6,48
28-29/11/07	28,1	17,0	11,0	9,88	26,3	3,50	2,82	2,50	18,7	5,47	3,39	11,2	9,19
30/11/07 a 03/12/07	204	16,9	10,9	2,03	44,8	18,5	21,0	21,7	148	5,76	1,74	44,1	1,21
07-10/12/07	229	13,8	8,92	-0,438	13,8	32,5	6,67	27,9	156	5,14	7,24	43,5	3,92

Tabela AP18: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de dezembro de 2007 a junho de 2008

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
14-17/12/07	39,3	11,6	7,51	5,68	12,8	11,3	2,31	5,42	30,4	4,93	11,7	14,1	24,1
21-26/12/07	120	11,3	7,28	1,81	27,5	23,8	6,67	15,4	91,2	4,94	11,5	29,7	1,62
11-14/01/08	181	11,4	7,34	-0,567	29,9	37,5	8,72	25,4	132	4,94	11,5	45,3	4,36
16-17/01/08	110	7,43	4,80	-0,188	13,4	1,50	4,36	12,1	83,1	5,35	4,47	24,7	5,78
31/01/08 a 01/02/08	70,2	8,87	5,73	3,66	6,33	18,3	4,10	7,50	34,5	5,69	2,04	13,4	7,20
01-07/02/08	57,3	13,4	8,65	7,41	29,8	8,00	5,64	4,17	20,6	5,70	2,00	10,9	5,73
28-29/02/08	4,90	3,06	1,98	1,69	2,78	0,250	0,513	0,417	4,70	4,68	20,9	2,20	80,0
25-26/03/08	114	6,69	4,32	0,789	19,0	9,75	8,72	8,75	58,8	5,00	10,0	34,5	5,96
02-03/04/08	43,7	24,4	15,8	15,6	6,46	1,75	< 0,256	< 0,417	3,36	4,10	79,4	9,00	51,1
04-07/04/08	19,5	5,26	3,40	2,64	6,04	3,00	1,03	1,67	12,6	5,10	7,94	7,60	8,88
08-09/04/08	93,2	6,89	4,45	-1,44	38,7	13,8	4,62	10,0	98,2	4,68	20,9	30,3	2,20
09-10/04/08	58,5	5,37	3,47	1,76	28,8	6,25	0,769	3,33	28,5	4,48	33,1	17,0	8,14
15-16/04/08	24,2	2,90	1,88	0,421	< 0,374	10,8	3,33	4,58	24,2	4,71	19,5	13,1	1,62
18-22/04/08	16,0	4,16	2,69	1,91	4,70	3,00	1,79	1,67	12,9	5,20	6,31	9,50	5,21
22-23/04/08	50,6	7,49	4,83	2,98	3,67	19,8	4,10	6,67	30,9	4,41	38,9	24,4	6,23
28-29/04/08	44,1	5,80	3,75	0,882	17,5	2,50	1,54	3,75	47,8	4,56	27,5	19,9	11,8
16-19/05/08	60,3	4,84	3,12	-1,39	30,6	3,50	3,08	5,83	75,3	4,84	14,5	15,3	22,6
29-30/05/08	150	5,70	3,68	-5,78	24,4	23,0	4,36	15,0	158	4,76	17,4	34,6	2,31
02-03/06/08	135	3,45	2,23	-7,65	54,0	6,25	2,31	13,8	165	4,41	38,9	33,2	4,79
11-12/06/08	43,0	3,69	2,38	-0,757	23,7	5,75	2,56	5,83	52,3	4,82	15,1	13,7	4,55
12-13/06/08	55,4	2,97	1,92	-1,91	30,2	6,00	2,05	7,08	63,8	4,80	15,8	14,8	2,92
20-25/06/08	96,8	4,17	2,69	-4,30	61,2	15,5	2,31	12,1	117	4,58	26,3	33,8	16,1

Tabela AP19: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de junho a novembro de 2008

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
25-26/06/08	214	2,74	15,2	13,6	27,7	3,50	0,769	2,92	27,1	4,75	17,8	11,4	6,26
26-27/06/08	43,9	4,64	32,0	29,0	37,0	5,50	1,03	5,00	50,0	3,91	123	24,0	19,8
27-30/06/08	109	1,61	30,2	23,1	51,1	7,00	2,05	11,7	118	4,56	27,5	27,5	14,9
30/06/08 a 01/07/08	129	4,12	13,7	5,6	8,58	5,00	2,31	14,2	135	4,68	20,9	24,6	15,3
01-03/07/08	166	5,54	72,7	62,0	107,8	16,0	3,08	18,3	178	4,30	50,1	48,8	5,55
04-07/07/08	102	7,27	40,4	33,6	56,5	10,3	2,56	11,3	113	4,40	39,8	31,8	19,2
07-08/07/08	211	8,78	17,3	4,26	18,7	8,25	5,13	22,1	218	4,95	11,2	36,2	5,62
09-10/07/08	45,3	5,33	11,1	7,78	18,3	2,00	1,28	5,00	55,5	4,69	20,4	12,2	10,5
10-11/7/2008	166	5,87	33,3	22,2	35,5	12,8	4,36	20,8	185	4,55	28,2	37,3	7,91
11-14/07/08	81,2	5,11	10,8	5,19	8,54	4,50	1,79	10,8	92,9	4,60	25,1	17,3	18,9
14-15/07/08	194	5,42	32,6	32,0	6,35	7,25	4,62	22,9	10,6	4,98	10,5	39,9	4,98
18-21/07/08	230	8,06	34,6	19,3	40,1	13,0	5,38	27,1	255	4,93	11,7	45,6	4,81
21-22/07/08	177	7,16	44,8	34,5	52,0	16,3	3,08	17,9	173	4,69	20,4	36,3	13,3
25-29/07/08	149	8,10	38,1	27,5	43,6	14,0	3,33	19,6	175	4,52	30,2	38,7	15,6
29-30/07/08	181	5,81	48,4	37,1	75,7	13,5	6,92	19,6	188	5,10	7,94	43,1	1,70
01-04/08/08	83,4	7,18	34,7	29,2	39,8	9,75	4,10	9,58	92,9	4,05	89,1	28,4	10,1
06-07/08/08	75,3	4,65	29,9	25,6	56,5	7,75	0,769	7,08	70,5	3,98	105	23,6	17,6
08-11/08/08	178	5,77	66,5	55,0	90,7	20,8	12,3	18,8	193	5,18	6,61	47,0	2,19
11-12/08/08	113	4,50	50,0	42,6	78,4	10,5	1,79	12,5	123	4,36	43,7	38,6	9,34
12-13/08/08	36,2	5,72	47,8	45,8	71,0	< 0,250	0,513	1,67	33,0	4,90	12,6	34,1	9,11
15-18/08/08	160	4,86	40,7	30,6	52,8	7,75	2,05	12,9	168	4,64	22,9	38,9	25,6
01-02/09/08	101	7,25	12,4	5,60	68,4	9,25	1,28	8,75	113	3,90	126	34,5	16,1
04-05/09/08	57,6	5,76	7,17	5,04	52,3	7,00	2,05	5,00	35,5	4,22	60,3	22,3	2,51
19-22/09/08	76,4	7,45	9,18	5,11	42,5	13,0	1,54	< 0,417	68,0	4,24	57,5	27,3	12,3
25-26/09/08	156	12,7	17,3	10,5	39,8	9,00	2,56	< 0,417	113	4,63	23,4	26,1	6,61
07-08/10/08	179	9,14	16,4	8,32	79,9	13,0	3,59	< 0,417	135	4,50	31,6	35,5	14,45
08-09/10/08	59,3	3,92	6,21	2,43	45,6	4,50	1,03	< 0,417	63,0	4,00	100	27,1	9,31
09-10/10/08	156	6,22	56,6	47,3	100,9	9,75	2,05	< 0,417	155	4,10	79,4	43,0	1,68
13-14/10/08	39,1	5,87	29,5	27,0	50,7	2,75	0,769	4,58	41,2	4,16	69,2	20,6	16,5
14-15/10/08	114	9,85	74,9	67,1	122,0	8,75	2,82	16,7	131	4,10	79,4	45,8	3,02
24-25/11/08	19,0	5,63	4,59	3,49	3,06	3,50	0,769	2,50	18,4	4,28	52,5	4,60	51,0
25-26/11/08	17,5	4,90	3,71	2,95	2,57	1,25	0,513	1,25	12,6	4,57	26,9	3,90	13,3

Tabela AP20: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions da chuva na estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de junho de 2007 a junho de 2008

Estação Gravatá no Período: 2007-2008	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	80,5	7,27	7,10	4,60	37,3	6,63	2,48	8,48	74,2	4,66	31,6	24,1	-
Mediana	98	5,67	4,36	-0,23	31,4	8,00	3,21	11,7	90,5	4,69	20,7	30,0	5,13
Média Aritimética	113,2	7,48	10,4	4,08	46,7	12,3	4,39	13,0	106	4,74	27,9	32,7	9,56
Desvio Padrão	76	4,59	17,3	16,1	37,9	11,3	4,13	9,76	77,4	0,451	23,0	19,4	13,4
Valor Mínimo	5	1,75	0,953	-15,4	0,374	0,250	0,256	0,417	3,36	4,04	1,66	2,20	0,941
Valor Máximo	365	24,4	96,8	76,6	180	50,0	25,6	50,0	342	5,78	91,2	99,1	80,0

Tabela AP21: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Lamarão em Lamarão do Passé no período de junho a novembro de 2008

Estação Gravatá no Período: 2008	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	98	5,88	25,0	19,3	40,1	7,49	2,00	8,73	95,1	4,41	49,3	25,8	-
Mediana	113	5,77	31,1	24,4	48,2	8,50	2,05	10,2	113	4,54	29,2	33,0	10,3
Média Aritimética	119	6,16	30,7	24,1	49,5	8,66	2,76	10,4	111	4,48	44,7	30,5	12,0
Desvio Padrão	61	2,10	19,7	18,1	30,2	4,73	2,32	7,94	64,9	0,351	34,1	11,8	9,27
Valor Mínimo	17,5	1,61	3,71	2,43	2,57	0,250	0,513	0,417	10,6	3,90	6,61	3,90	1,68
Valor Máximo	230,2	12,7	74,9	67,1	122	20,8	12,3	27,1	255	5,18	126	48,8	51,0

Tabela AP22: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Escola em Dias D'Ávila no período de junho a outubro de 2006

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ^{2- nss}	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
9-12/06/06	17,5	1,13	3,23	2,73	2,70	1,38	0,308	< 0,417	8,43	5,69	2,04	3,71	87,5
12-13/06/06	9,27	0,891	2,15	1,71	31,7	0,775	0,333	< 0,417	7,43	7,31	0,0490	2,70	87,7
13-14/06/06	147	2,51	11,6	6,47	26,6	5,75	2,38	15,4	86,0	5,30	5,01	25,8	16,3
14-15/06/06	523	9,12	38,4	26,2	21,4	19,0	9,23	62,5	203	5,11	7,76	87,1	4,16
15-16/06/06	133	4,15	14,1	9,90	19,6	6,00	2,13	10,8	69,6	7,02	0,0955	21,2	7,57
16-19/06/06	94,0	2,74	13,0	7,06	24,3	7,25	1,69	10,0	99,0	6,46	0,347	22,7	5,32
19-20/06/06	174	1,55	10,7	-1,02	20,6	8,75	2,82	20,8	196	5,91	1,23	30,6	44,9
21-22/06/06	373	1,23	28,4	18,7	15,5	15,5	7,69	45,8	160	5,51	3,09	65,6	4,04
30/06/06 a 03/07/06	226	2,46	21,6	13,9	23,4	1,13	20,9	33,3	129	5,14	7,24	54,2	13,6
05-06/07/06	113	3,24	10,5	1,19	43,1	8,25	1,77	12,9	155	5,26	5,50	20,6	8,96
06-07-07-06	147	4,12	18,0	12,6	28,9	3,25	1,00	6,25	91,4	4,73	18,6	13,8	16,6
10-11/07/06	138	4,12	18,0	6,88	21,1	7,50	1,77	13,8	186	6,09	0,813	27,3	7,98
22-23-08-06	302	16,6	39,6	16,4	27,1	45,0	13,6	35,4	386	6,10	0,794	59,2	1,11
25-29-08-06	175	9,23	17,3	5,53	19,7	14,0	8,72	20,8	196	6,08	0,832	34,9	4,05
30-31-08-06	177	3,92	12,1	1,31	15,9	5,50	5,13	19,2	180	5,10	7,94	32,0	8,36
06-11-09-06	118	2,54	8,22	1,31	5,83	3,75	2,10	13,8	115	5,04	9,12	20,6	78,2
11-12-09-06	104	1,32	6,58	0,642	3,42	4,75	1,49	11,7	99,0	5,55	2,82	17,3	10,2
12-13/09/06	168	2,76	10,8	0,986	13,1	5,00	2,82	19,6	163	5,40	3,98	28,6	4,35
14-15-09-06	123	2,19	9,57	-0,333	6,22	7,25	2,28	14,6	165	5,60	2,51	22,4	0,991
15-18-09-06	124	0,718	7,56	0,654	9,42	6,50	2,00	14,6	115	5,54	2,88	20,9	1,96
26-27-09-06	33,7	3,86	4,01	1,68	17,7	1,40	< 0,256	2,79	38,8	5,04	9,12	10,0	14,7
27-28-09-06	71,7	1,29	4,97	-0,516	8,51	1,80	0,462	6,67	91,4	5,14	7,24	12,5	60,7
28-09 a 02-10-06	238	2,85	14,3	5,39	12,3	5,25	3,59	24,6	148	5,09	8,13	37,4	17,3
09-10-10-06	266	3,48	18,1	5,84	18,1	10,0	5,13	29,2	204	5,87	1,35	41,7	4,90

Tabela AP23: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Escola em Dias D'Ávila no período de outubro de 2006 a março de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
10-11/10/06	233	4,71	15,0	1,28	9,04	7,50	5,13	25,0	228	5,10	7,94	37,4	2,94
20-23-10-06	45,3	6,37	7,62	4,66	7,80	5,00	1,54	4,17	49,3	4,93	11,7	11,6	25,4
23-24-10-06	119	6,08	9,11	1,23	6,27	5,00	2,56	12,5	131	5,13	7,41	23,2	15,8
24-25-10-06	129	5,57	9,48	1,60	10,4	5,00	2,56	12,5	131	5,22	6,03	23,7	6,12
25-26-10-06	28,0	4,24	4,65	3,35	14,9	1,75	1,03	1,25	21,7	5,37	4,27	14,5	2,28
9-10-11-06	84,0	15,4	17,2	10,5	26,8	7,50	2,56	12,5	112	4,43	37,2	26,6	6,85
14-16/11/06	114	4,06	8,37	2,43	15,2	5,00	2,56	12,5	99,0	5,02	9,55	21,4	6,63
16-17/11/06	65,05	1,46	4,02	0,978	16,7	2,50	1,28	8,33	50,6	5,01	9,77	12,5	12,3
24-27/11/06	105	4,26	9,57	3,63	21,4	2,50	2,56	8,33	99,0	5,35	4,47	20,3	3,16
04-05/12/06	20,3	5,23	2,41	1,89	3,21	< 0,250	1,28	< 0,417	8,70	5,10	7,94	4,90	25,4
29-12/06 a 02/01/07	100	8,42	16,3	8,96	29,3	5,00	2,56	12,5	123	4,79	16,2	24,4	2,30
03-04/01/07	31,3	4,83	5,10	3,41	21,4	0,750	1,03	2,08	28,3	5,27	5,37	6,80	11,5
04-05/01/07	69,4	7,34	8,09	3,23	17,7	2,25	2,56	8,33	80,9	4,90	12,6	15,9	2,43
12-15/01/07	44,1	14,1	8,30	4,71	19,7	5,00	1,54	4,17	59,9	4,98	10,5	12,8	9,54
19-22/01/07	67,4	7,69	7,16	1,67	11,8	5,00	1,03	8,33	91,4	4,88	13,2	14,3	10,9
06-07/02/07	74,9	11,9	30,9	24,8	9,49	10,0	1,79	8,33	102	5,57	2,69	15,9	5,68
09-12/02/07	22,7	6,33	10,5	8,94	13,5	1,75	2,05	2,92	26,1	5,02	9,55	9,40	8,34
13-14/02/07	9,97	9,05	7,84	7,49	14,2	1,75	1,28	0,833	5,93	4,61	24,5	6,60	36,8
15-16/02/07	22,7	9,10	4,05	3,25	29,1	1,50	1,03	0,833	13,5	5,38	4,17	6,20	8,89
23-26/02/07	18,9	4,44	4,42	3,32	10,0	1,00	1,08	1,25	18,4	4,78	16,6	5,00	37,4
26-27/02/07	49,1	5,52	5,48	3,41	8,57	1,88	1,03	5,00	34,5	4,72	19,1	10,7	24,5
27-28/02/07	45,4	5,71	6,35	4,28	21,5	1,50	1,28	4,17	34,5	4,82	15,1	10,5	12,1
02-05/03/07	103	5,82	1,67	-3,30	50,3	2,50	2,05	9,17	82,9	5,00	10,0	18,5	12,3
06-07/03/07	46,2	1,47	5,21	1,62	3,17	1,50	1,03	3,75	59,9	5,49	3,24	8,70	18,1

Tabela AP24: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions na chuva da estação Escola em Dias D'Ávila no período de março a junho de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
07-08/03/07	60,4	1,43	7,27	2,41	7,73	2,50	1,03	4,17	80,9	4,96	11,0	12,4	12,6
13-14/03/07	83,6	6,09	11,6	4,86	8,28	3,75	1,03	8,33	112	4,65	22,4	18,9	4,22
22-23/03/07	187	13,0	51,9	44,3	18,8	37,5	5,64	27,5	126	5,10	7,94	51,4	1,14
23-26/03/07	61,2	4,13	6,61	1,75	5,10	4,50	1,28	7,50	80,9	7,62	0,0240	12,6	20,4
26-27/03/07	90,7	4,99	7,92	0,538	5,28	2,00	1,28	7,50	123	7,52	0,0302	18,1	5,19
11-12/04/07	69,2	4,55	16,9	12,8	14,1	12,3	6,67	7,50	68,1	5,61	2,45	20,0	1,80
12-13/04/07	26,6	2,39	3,03	1,79	5,58	1,50	0,513	0,417	20,7	5,45	3,55	5,4	11,6
13-16/04/07	41,8	5,27	7,74	4,60	11,4	3,00	0,769	2,92	52,3	5,97	1,07	10,7	5,68
18-19/04/07	75,8	4,23	16,0	12,0	23,4	10,8	1,79	6,25	68,1	6,04	0,912	17,4	5,43
19-20/04/07	106	1,17	7,70	1,72	10,3	5,75	2,31	8,33	99,7	5,90	1,26	19,7	3,41
24-25/04/07	73,1	2,05	16,6	10,7	39,2	7,50	1,54	6,25	99,7	4,84	14,5	18,0	7,54
27-04/07 a 02-05/07	47,2	4,16	5,56	1,47	12,3	2,75	1,03	3,75	68,1	5,80	1,58	10,7	34,1
04-07/05/07	126	5,45	13,0	4,14	26,1	6,00	2,56	11,7	147	5,11	7,76	23,4	6,39
09-10/05/07	25,5	5,98	18,1	15,9	44,4	2,50	1,79	1,67	36,5	4,88	13,2	12,1	17,6
10-11/05/07	154	4,27	9,82	0,0484	21,0	4,25	2,56	14,6	163	5,07	8,51	26,3	42,4
11-14/05/07	575	8,10	31,0	-7,65	19,9	18,3	16,4	83,3	644	4,98	10,5	123	6,90
14-15/05/07	143	6,21	16,4	4,73	29,0	5,00	2,82	12,9	195	6,80	0,158	26,6	8,22
16-17/05/07	42,1	3,32	4,84	1,71	12,9	1,25	0,769	2,08	52,3	5,51	3,09	8,70	9,85
18-21/05/07	171	5,31	16,1	3,50	84,2	7,00	7,69	19,2	210	5,15	7,08	37,9	5,73
30-31/05/07	21,3	4,45	4,71	3,48	9,64	1,25	0,513	2,08	20,7	4,78	16,6	5,00	43,8
05-06/06/07	219	3,30	19,8	8,09	33,1	15,0	6,67	24,6	196	4,78	16,6	40,9	5,76
08-11/06/07	82,6	3,30	20,3	15,9	40,6	6,50	1,54	9,17	73,5	5,76	1,74	20,8	20,4

Tabela AP25: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions da chuva na estação Escola em Dias D'Ávila no período de junho de 2006 a junho de 2007

Estação Gravatá no Período: 2006-2007	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻	SO₄²⁻ nss	NH₄⁺	Ca²⁺	K⁺	Mg²⁺	Na⁺	pH	H⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	81,6	3,80	8,36	3,61	16,2	3,61	1,91	8,42	79,1	5,46	7,73	15,9	-
Mediana	92,3	4,25	9,57	3,41	16,3	5,00	1,79	8,33	99,0	5,15	7,16	19,3	8,63
Média Aritimética	116	5,00	12,3	5,73	18,7	6,27	3,03	12,7	110	5,40	7,56	23,1	15,7
Desvio Padrão	104	3,35	9,27	7,53	13,1	7,29	3,61	13,9	93,5	0,665	6,82	19,4	18,8
Valor Mínimo	9,27	0,718	1,67	-7,65	2,70	0,250	0,256	0,417	5,93	4,43	0,0240	2,70	0,991
Valor Máximo	575	16,6	51,9	44,3	84,2	45,0	20,9	83,3	644	7,62	37,15	123	87,7

Tabela AP26: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions da chuva na estação Escola em Dias D'Ávila no período de junho a agosto de 2007

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
11-12/06/07	93,1	3,30	9,53	4,63	20,7	3,50	1,79	10,4	81,6	5,96	1,10	22,6	3,84
12-13/06/07	150	3,30	28,5	20,2	52,3	12,3	5,13	17,5	139	5,28	5,25	34,4	1,86
15-18/06/07	231	3,30	20,9	9,66	60,5	9,25	4,87	21,7	187	5,06	8,71	40,4	3,09
19-20/06/07	288	8,39	25,0	5,69	55,3	14,5	5,13	33,3	321	5,44	3,63	57,7	1,66
21-22/06/07	173	4,04	10,5	-1,16	29,1	5,00	3,08	20,0	195	5,72	1,91	29,8	11,5
22-26/06/07	174	5,82	12,4	2,60	32,4	6,25	2,56	17,1	163	5,15	7,08	28,7	7,75
26-27/06/07	146	4,94	10,6	0,846	22,0	7,50	3,08	16,7	163	5,50	3,16	26,1	2,31
27-28/06/07	325	12,5	23,0	-0,0278	30,9	8,75	5,13	37,5	384	4,88	13,2	57,8	7,92
29/06/07 a 03/07/07	176	6,37	14,1	4,85	14,2	5,50	2,56	18,8	155	4,84	14,5	29,4	16,7
04-05/07/07	224	12,6	18,7	5,54	50,3	12,0	10,3	22,1	220	5,49	3,24	43,4	1,07
05-06/07/07	164	6,47	11,5	0,699	10,6	4,50	3,33	17,9	179	4,89	12,9	29,6	11,8
11-12/07/07	133	2,82	10,7	2,88	20,3	5,75	2,31	13,8	130	7,10	0,0794	23,4	4,86
13-16/07/07	72,4	2,61	8,46	4,54	7,16	2,50	0,769	7,92	65	6,60	0,251	15,7	6,07
26-30/07/07	263	3,99	15,2	2,02	20,6	6,00	4,10	27,5	220	5,63	2,34	39,6	36,9
01-02/08/07	1038	6,86	57,0	3,99	31,9	37,5	30,8	117	883	5,09	8,13	150	1,09
02-03/08/07	385	4,83	21,0	4,84	39,7	10,8	13,8	35,4	269	5,03	9,33	55,6	2,37
03-06/08/07	257	4,42	17,4	5,14	38,7	6,75	6,67	22,9	204	4,86	13,8	40,4	5,96
06-07/08/07	73,1	2,41	6,40	2,49	33,0	3,25	2,31	5,00	65,2	6,55	0,282	16,1	5,68
07-08/08/07	256	5,16	19,5	7,33	53,3	11,3	10,3	25,4	204	5,31	4,90	45,5	1,17
09-10/08/07	41,1	4,17	6,25	4,28	14,2	1,50	1,28	2,50	32,8	6,80	0,158	8,7	9,19
10-13/08/07	90,8	4,50	6,97	2,08	19,6	2,00	1,79	5,00	81,6	4,61	24,5	13,9	27,6
13-14/08/07	151	5,03	9,59	1,28	10,2	3,50	3,08	13,8	139	4,63	23,4	25,3	7,18
14-15/08/07	231	5,04	13,3	1,11	24,6	7,00	5,13	23,8	204	5,17	6,76	39,9	3,07

Tabela AP27: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions da chuva na estação Escola em Dias D'Ávila no período de agosto de 2007 a janeiro de 2008

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
15-16/08/07	152	4,32	9,88	1,57	35,6	3,50	5,13	12,5	139	5,24	5,75	27,1	6,12
17-20/08/07	125	5,28	9,19	2,34	32,6	3,00	3,08	10,8	114	5,33	4,68	22,0	10,4
30/08/07 a 03/09/07	124	4,80	11,0	4,68	20,9	< 0,250	< 0,256	< 0,417	106	4,77	17,0	22,5	18,4
05-06/09/07	251	5,05	14,4	1,72	28,8	7,50	4,62	27,1	212	4,59	25,7	40,5	6,92
06-10/09/07	134	4,16	9,75	2,91	31,7	3,75	2,82	14,6	114	4,85	14,1	23,0	30,7
10-11/09/07	74,9	2,21	6,21	1,81	4,48	2,75	1,79	9,58	73,5	4,96	11,0	15,1	8,18
12-13/09/07	137	2,65	10,6	2,79	3,42	6,25	4,10	18,8	130	5,46	3,47	26,8	2,47
13-14/09/07	216	4,46	15,3	4,04	9,49	9,00	5,90	25,8	187	5,71	1,95	37,5	1,61
14-17/09/07	254	10,7	17,0	3,82	26,2	10,0	7,18	31,3	220	4,80	15,8	45,3	1,69
20-21/09/07	173	5,26	14,4	5,10	14,1	7,00	4,36	20,4	155	4,55	28,2	30,4	9,87
27/09/07 a 01/10/07	106	12,5	11,2	5,28	33,1	10,0	10,0	11,7	97,9	5,87	1,35	25,6	1,91
01-02/10/07	94,9	13,5	10,8	6,90	28,5	24,5	7,18	14,6	65,3	4,44	36,3	25,9	1,37
03-04/10/07	73,9	13,8	9,48	7,03	15,0	9,25	3,33	9,17	40,9	4,35	44,7	19,5	7,85
08-09/10/07	234	9,03	23,1	13,3	17,7	19,8	6,41	25,0	163	4,90	12,6	43,3	1,27
10-11/10/07	222	9,47	20,2	11,4	10,2	16,0	4,87	26,3	147	4,86	13,8	40,1	3,45
12-13/11/07	406	15,2	34,9	16,8	13,8	67,5	15,4	50,0	301	5,24	5,75	74,7	1,32
30/11/07 a 03/12/07	162	11,4	14,8	7,82	7,41	22,8	6,67	20,0	116	4,94	11,5	34,6	2,41
07-10/12/07	94,0	6,90	8,12	4,11	1,56	9,50	2,05	11,7	66,9	5,68	2,09	20,0	20,1
14-17/12/07	18,1	7,88	6,26	5,56	6,91	15,5	0,769	2,08	11,7	5,21	6,17	8,60	29,4
28/12/07 a 02/01/08	44,3	6,05	5,62	3,68	13,1	0,750	< 0,256	3,33	32,3	6,17	0,676	11,1	9,60
11-14/01/08	88,3	6,46	10,4	6,42	3,42	< 0,250	1,79	9,58	66,9	5,94	1,15	18,5	10,6
15-16/01/08	106	7,25	12,3	7,30	8,33	< 0,250	4,10	12,1	83,1	6,11	0,776	24,3	2,40
16-17/01/08	109	7,79	11,0	5,54	6,09	< 0,250	2,05	12,5	91,2	5,29	5,13	21,8	3,45

Tabela AP28: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions da chuva na estação Escola em Dias D'Ávila no período de janeiro a junho de 2008

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
31/01/08 a 01/02/08	87,9	10,9	7,95	6,27	7,91	15,8	2,82	6,67	28,1	5,83	1,48	13,7	10,5
15-18/02/08	98,5	5,35	9,00	5,96	4,87	11,3	4,62	8,75	50,7	5,89	1,29	16,1	10,5
28-29/02/08	6,80	3,72	2,05	1,85	< 0,374	1,50	0,769	0,833	3,30	5,37	4,27	3,60	86,8
25-26/03/08	33,3	3,59	4,19	2,76	1,96	2,25	1,54	3,75	23,9	5,56	2,75	9,60	14,3
26-27/03/08	31,9	5,43	3,85	2,75	< 0,374	2,50	1,28	4,17	18,3	4,90	12,6	8,60	9,75
31/03/08 a 01/04/08	17,3	6,95	5,95	5,34	10,6	4,25	< 0,256	2,50	10,2	4,72	19,1	5,80	13,8
01-02/04/08	16,5	5,85	6,53	6,07	11,3	2,50	< 0,256	1,67	7,79	4,78	16,6	6,30	2,48
04-07/04/08	19,5	5,26	5,19	4,29	2,13	3,00	0,513	2,08	15,0	4,62	24,0	5,70	28,6
07-08/04/08	93,2	6,89	10,6	4,47	7,23	9,00	2,31	9,17	103	4,72	19,1	20,0	1,39
09-10/04/08	34,1	4,51	5,32	3,32	3,24	2,25	0,513	2,92	33,3	5,10	7,94	8,90	10,3
15-16/04/08	90,4	11,6	34,7	27,3	0,94	35,0	9,49	14,6	123	5,03	9,33	32,2	1,56
16-17/04/08	57,8	5,62	8,51	4,27	1,55	9,75	2,31	6,25	70,7	4,80	15,8	14,3	2,79
18-22/04/08	47,6	4,15	6,07	2,66	1,49	5,00	10,5	3,75	56,9	4,68	20,9	13,2	10,8
22-23/04/08	16,3	4,33	5,03	4,14	< 0,374	5,50	0,513	2,50	14,8	5,51	3,09	6,20	7,92
30/04/08 a 05/05/08	21,7	4,13	4,38	3,11	11,2	2,00	0,513	2,50	21,3	4,73	18,6	8,30	51,2
06-07/05/08	47,4	15,9	55,2	52,1	51,2	32,5	4,62	14,2	52,2	4,66	21,9	29,4	3,43
09-12/05/08	230	7,80	17,2	12,5	7,08	7,25	4,36	23,8	78,3	4,36	43,7	38,5	24,3
12-13/05/08	443	6,13	26,2	13,9	7,63	12,0	7,44	41,7	204	4,78	16,6	68,7	2,56
16-19/05/08	22,1	2,87	3,32	2,24	4,55	8,00	1,79	10,4	18,0	4,32	47,9	19,3	21,4
22-26/05/08	44,9	5,16	10,6	7,59	3,71	15,8	1,28	7,08	50,0	4,92	12,0	14,7	18,7
30/05/08 a 02/06/08	93,8	3,81	8,70	2,26	2,89	7,25	2,05	10,8	107	4,69	20,4	18,9	15,3
02-03/06/08	118	2,99	9,65	1,56	4,86	6,50	2,05	12,9	135	4,72	19,1	20,9	6,62
04-05/06/08	41,8	3,37	8,23	4,81	7,58	8,25	2,56	12,9	56,9	4,74	18,2	20,6	3,54
05-06/06/08	10,2	1,32	1,89	1,64	2,77	3,00	1,54	9,17	4,07	4,48	33,1	13,6	37,3

Tabela AP29: Concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions da chuva na estação Escola em Dias D'Ávila no período de junho a novembro de 2008

Data de Coleta	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
12-13/06/08	181	3,27	15,8	8,00	20,5	19,8	5,13	21,7	130	5,04	9,12	32,4	6,44
20-25/06/08	86,0	2,22	11,4	5,34	61,2	14,5	2,31	11,7	100	4,46	34,7	19,3	17,8
25-26/06/08	46,0	3,88	14,9	11,8	12,0	9,00	1,03	7,08	52,3	5,10	7,94	15,8	4,86
26-27/06/08	62,2	1,34	7,46	2,95	4,82	3,00	1,03	6,67	75,3	4,36	43,7	13,1	17,4
27-30/06/08	118	0,655	8,32	1,10	12,9	4,00	2,31	12,5	120	4,82	15,1	20,4	18,8
30/06/08 a 01/07/08	103	3,67	10,1	3,65	< 0,374	6,50	1,79	11,3	108	5,03	9,33	19,5	27,3
01-03/07/08	188	4,00	12,5	4,70	3,98	6,00	3,85	20,0	130	5,95	1,12	30,2	8,07
04-07/07/08	125	6,08	13,2	5,34	4,07	7,25	2,31	14,6	130	4,73	18,6	23,6	13,4
07-08/07/08	334	9,14	23,1	3,72	15,9	27,5	7,44	40,4	322	5,00	10,0	52,6	2,04
09-10/07/08	54,5	4,99	6,93	3,15	< 0,374	4,25	1,28	7,50	63,0	4,60	25,1	12,4	15,2
10-11/07/08	171	4,73	11,3	-0,0990	3,87	6,50	3,33	18,3	190	4,96	11,0	31,3	4,24
11-14/07/08	228	5,46	16,5	6,03	< 0,374	8,75	4,62	27,9	174	4,79	16,2	38,5	21,7
14-15/07/08	133	4,87	11,6	2,72	1,62	6,25	3,33	15,4	148	5,38	4,17	24,6	6,78
18-21/07/08	450	7,36	35,1	9,94	27,3	30,0	13,3	50,0	420	5,16	6,92	74,7	2,28
21-22/07/08	162	5,63	12,4	1,58	7,51	5,50	4,36	18,3	180	5,06	8,71	28,9	10,3
25-29/07/08	214	8,94	20,3	9,88	9,99	12,5	6,67	24,6	174	5,34	4,57	40,9	15,4
29-30/07/08	94,3	4,63	7,91	1,73	4,97	2,75	2,31	10,0	103	5,23	5,89	19,2	6,03
01-04/08/08	128	14,5	50,5	42,0	56,7	57,5	3,59	15,4	140	4,81	15,5	38,8	4,45
06-07/08/08	97,5	5,30	11,3	4,94	13,4	8,75	2,82	10,0	105	5,42	3,80	19,7	12,3
11-12/08/08	131	4,49	10,8	2,37	7,35	5,75	2,56	14,6	140	4,99	10,2	26,9	9,08
12-13/08/08	102	5,36	9,38	3,06	15,2	27,5	24,4	54,2	105	4,55	28,2	21,0	2,95
15-18/08/08	202	5,56	13,7	1,53	24,0	1,75	2,82	17,9	203	5,45	3,55	33,8	25,2
01-02/09/08	101	7,25	12,4	5,90	4,83	5,50	1,54	9,17	108	4,83	14,8	20,2	27,7
04-05/09/08	57,6	5,76	7,17	3,55	8,59	3,25	2,05	5,42	60,5	5,03	9,33	13,5	5,67
19-22/09/08	76,4	7,45	9,18	4,81	10,6	4,00	17,2	< 0,417	72,9	5,35	4,47	15,9	14,1
25-26/09/08	156	12,7	17,3	6,80	19,2	16,8	5,64	< 0,417	175	5,16	6,92	34,0	6,00
07-08/10/08	179	9,14	16,4	4,87	11,6	20,8	4,62	< 0,417	193	4,93	11,7	35,0	10,7
08-09/10/08	59,3	3,92	6,21	2,28	4,44	2,50	1,03	< 0,417	65,5	5,07	8,51	11,9	7,64
09-10/10/08	150	5,25	11,0	2,54	6,50	11,5	14,1	< 0,417	140	5,09	8,13	26,4	2,90
13-14/10/08	105	7,70	8,98	2,38	15,8	6,00	2,82	12,9	110	5,31	4,90	19,9	25,2
14-15/10/08	158	10,3	12,5	3,84	122	8,50	4,10	19,2	144	4,89	12,9	29,1	3,08
24-25/11/08	54,1	10,6	7,77	4,89	6,71	9,00	2,05	7,92	48,1	4,98	10,5	13,2	17,1
25-26/11/08	28,7	6,45	4,28	3,52	2,72	1,25	0,769	3,33	12,6	4,83	14,8	6,6	19,0
26-27/11/08	102	7,91	8,75	1,74	8,32	8,75	3,85	12,1	117	4,94	11,5	19,3	3,44

Tabela AP30: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions da chuva na estação Escola em Dias D'Ávila no período de junho de 2007 a junho de 2008

Estação Gravatá no Período: 2007-2008	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	93,4	5,09	8,63	4,00	11,7	5,66	2,36	10,2	77,2	5,09	14,3	18,8	-
Mediana	108	5,21	10,6	4,28	11,2	6,88	3,08	12,7	104	5,03	9,33	23,2	7,05
Média Aritimética	147	6,24	13,3	5,86	17,5	9,26	4,27	16,1	124	5,18	12,1	27,9	11,0
Desvio Padrão	146	3,31	10,1	7,20	15,6	10,4	4,51	16,0	123	0,595	11,1	21,1	13,6
Valor Mínimo	6,80	1,32	1,89	-1,16	0,374	0,250	0,256	0,417	3,30	4,32	0,0794	3,60	1,07
Valor Máximo	1038	15,9	57,0	52,1	60,5	67,5	30,8	117	883	7,10	47,9	150	86,8

Tabela AP31: Consolidação dos resultados de concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de cátions e ânions da chuva na estação Escola em Dias D'Ávila no período de junho a novembro de 2008

Estação Gravatá no Período: 2008	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ nss	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	H ⁺	Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Prec. (mm)
Média Ponderada Volume	122	5,77	11,7	4,57	12,2	7,91	3,57	12,6	120	5,00	13,0	23,2	-
Mediana	122	5,51	11,3	3,69	8,46	6,88	3,08	12,3	125	5,02	9,67	22,3	9,69
Média Aritimética	136	6,19	13,4	5,37	15,6	11,0	4,77	14,8	134	5,02	12,1	26,0	11,6
Desvio Padrão	82,6	2,95	8,55	6,89	22,9	11,0	5,04	12,6	75,4	0,307	8,92	13,0	7,72
Valor Mínimo	28,7	0,655	4,28	-0,0990	0,374	1,25	0,769	0,417	12,6	4,36	1,12	6,60	2,04
Valor Máximo	450	14,5	50,5	42,0	122	57,5	24,4	54,2	420	5,95	43,7	74,7	27,7

Tabela AP32: Exemplo de tabela com dados de alcalinidade do spray marinho, acidez total e percentual de neutralização da chuva na estação Gravatá em Camaçari no período de junho a agosto de 2006

Data de coleta	pH	H ⁺ (μmol L ⁻¹)	Na ⁺ (μmol L ⁻¹)	Alk (ss)	H ⁺ _T	% Neutralização	Na ⁺ /H ⁺ med.
9-12/06/06	6,41	0,389	9,43	0,0568	0,446	12,7	24,3
12-13/06/06	6,54	0,288	6,96	0,0419	0,330	12,7	24,1
13-14/06/06	5,42	3,80	260	1,57	5,37	29,2	68,4
14-15/06/06	6,04	0,912	160	0,966	1,88	51,4	176
15-16/06/06	5,48	3,31	198	1,19	4,50	26,4	59,7
16-19-06/06	5,69	2,04	64,7	0,390	2,43	16,0	31,7
19-20-06/06	6,51	0,309	421	2,54	2,85	89,1	1364
21-22-06-06	5,61	2,45	113	0,678	3,13	21,6	45,9
30/06/06 a 03/07/06	5,02	9,55	59,4	0,358	9,91	3,61	6,22
03-04/07/06	5,32	4,79	176	1,06	5,85	18,2	36,8
10-11-07-06	5,21	6,17	155	0,931	7,10	13,1	25,1
14-17/07/06	5,46	3,47	43,5	0,262	3,73	7,02	12,5
21-24-07-06	5,35	4,47	155	0,931	5,40	17,2	34,6
03-04-08-06	5,50	3,16	91,4	0,550	3,71	14,8	28,9
04-07-08-06	5,81	1,55	91,4	0,550	2,10	26,2	59,0
07-08-08-06	5,95	1,12	218	1,31	2,43	53,9	194
11-14-08-06	6,01	0,977	112	0,677	1,65	40,9	115
15-16-08-06	6,14	0,724	341	2,05	2,78	73,9	470
18-21-08-06	6,53	0,295	112	0,677	0,972	69,6	381
22-23-08-06	6,28	0,525	197	1,18	1,71	69,3	375
25-29-08-06	6,40	0,398	196	1,18	1,58	74,7	492
30-31-08-06	5,54	2,88	50,6	0,305	3,19	9,56	17,6

Memória de Cálculo:

A forma como foram calculados a alcalinidade do spray marinho, a acidez total e o percentual de neutralização (e outras considerações) estão descritos nos parágrafos que seguem através das expressões I a VI.

Foi utilizada a expressão proposta por Galloway *et al.* (1983) e adaptada para a região do Recôncavo como descrito em Campos *et al.* (2007). A acidez total da precipitação é definida como a soma da concentração de H^+ medido na chuva (H^+ med.) e a sua fração de alcalinidade oriunda do spray marinho (Alk_{ss}), sendo expressa pela expressão (I) descrita a seguir:

$$H^+_{T} = H^+_{med.} + Alk_{ss} \quad (I)$$

A alcalinidade do spray marinho é calculada considerando a alcalinidade da água do mar (Alk_{sw}) e o sódio como traçador marinho:

$$Alk_{ss} = [Na^+]_{ppt} \times [Alk]_{sw} / [Na^+]_{sw} \quad (II)$$

Segundo Galloway *et al.* (1983), a expressão (III) pode ser utilizada para calcular a alcalinidade do spray marinho (Alk_{ss}):

$$[Alk]_{ss} = 0,0048 [Na^+]_{ppt} \quad (III)$$

Considerando: $[Alk]_{sw} = 2,3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ e $[Na^+]_{sw} = 4,68 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$

Estudos realizados por Campos (1995) e reportados em Campos *et al.* (2007) apresentam a expressão proposta por Galloway com adaptações para condições ambientais mais próximas daquelas do Recôncavo Baiano (para $T = 25^{\circ}\text{C}$ e salinidade de 34 ‰):

Para : $[Alk]_{sw} = 2,8 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ e $[Na^+]_{sw} = 4,65 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$

$$[Alk]_{ss} = 0,00602 [Na^+]_{ppt} \quad (IV)$$

Foi utilizada a expressão (IV), considerando que a área desse estudo está inserida na área amostral realizada no estudo descrito em Campos (1995). Assim, a acidez total foi calculada através da expressão (V) descrita a seguir:

$$H^+_{\tau} = H^+_{med.} + 0,00602 [Na^+]_{ppt} \quad (V)$$

E o percentual de neutralização foi calculado através da expressão (VI) descrita a seguir:

$$\%Neutralização = ([AlK]_{SS} / H^+_{\tau}) \times 100 \quad (VI)$$

Tabela AP33: Limites mínimos para as metodologias amostrais utilizadas na determinação de ácidos fortes, amônia e sais

Sistema Termo Difusão	$\mu\text{g m}^{-3}$
NH ₄ Cl	0,042
NH ₄ NO ₃	0,0059
H ₂ SO ₄	0,0071
HCl	0,24
HNO ₃	0,028
Sistema Denuder	
NH ₃	0,0066
Sistema Termo Difusão (material particulado < 2,0 μm)	$\mu\text{g m}^{-3}$
Cl ⁻	0,027
NO ₃ ⁻	0,0031
SO ₄ ²⁻	0,0048
NH ₄ ⁺	0,0035
Na ⁺	0,0099
K ⁺	0,016

**FORMULÁRIO DE CAMPO – COLETOR DE DEPOSIÇÃO APENAS ÚMIDA
INSTITUTO DE QUÍMICA DA UFBA - LAQUAM**

1 – NOME DA ESTAÇÃO:

2 - DATA COLETA :

HORÁRIO:

3 – MASSA DA CHUVA + FRASCO TAMPADO (g) :

4 – MASSA DO FRASCO VAZIO TAMPADO (g) :

5 – MASSA DA CHUVA (g) :

6- Ocorreu chuva? sim não

7 – Ocorreu extravassamento? sim não

8 – pH =

T°C =

Condutividade $\mu\text{S cm}^{-1}$ =

9- Durante a coleta estava ocorrendo vento com poeira? sim não

10 - Condições climáticas observadas durante o dia:

Sol

Nublado

Chuvoso

11 – Outras observações de campo:

Relâmpago

Raios

Queima de mato - horário estimado da queima:
solos – horário estimado da pulverização:

Pulverização de

12 - Meio de pulverização:

Avião

Trator

Manual

Tipo de pulverização:

Fertilizante

Calcário

Fungicida

Inseticida

Especificar os composto químicos presentes:

13 - Durante as últimas 24 h houve consertos ou limpeza anormais na estação ou vizinhança?

14 – OUTRAS OBSERVAÇÕES:

--

**FORMULÁRIO DE CAMPO – SISTEMA DE TERMODIFUSÃO (STRÖHLEIN)
INSTITUTO DE QUÍMICA DA UFBA - LAQUAM**

ESTAÇÃO:

PERÍODO DE AMOSTRAGEM:

RESPONSÁVEIS:

AMOSTRAGEM DE AR E PARTÍCULAS	HORÁRIO		FLUXO MEDIDO			VOLUME DE AR AMOSTRADO	TEMPO DE AMOSTRAGEM
	INICIAL	FINAL	ROTÂMETRO	INICIAL (l/h)	FINAL (l/h)		
STRÖHLEIN SUPERIOR							
STRÖHLEIN INFERIOR							
CS DENUDER							

EM OBSERVAÇÕES:

- 1)anotar se houve quebra de tubo (inclusive se foi possível juntar as partes para análise);
- 2)se algum filtro estava com anormalidades (molhado, rasgado ,etc.);
- 3)se ocorreram problemas com os equipamentos;
- 4)se ocorreram anormalidades nas estações;
- 5)condições meteorológicas/eventos locais (chuvas, existência de emergências/vazamentos na área do estudo, queimadas, etc.)

OBSERVAÇÕES:

TABELA ORIENTATIVA DE FAIXAS DE FLUXO

	FAIXAS DE FLUXO (litros h ⁻¹)
STRÖHLEIN SUPERIOR	~ 120
STRÖHLEIN INFERIOR	~ 12 - 18
CS DENUDER	50 - 80

ANEXOS

A – Rosa de Ventos nas estações da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari para o período de 2006 a 2008.

B – Dados Meteorológicos consolidados (média arimética) nas estações da área de influência do Pólo Industrial de Camaçari para o período de 2006 a 2008.

C – Esquema da macro estrutura do Pólo Industrial de Camaçari.

Figura AN01: Rosa de Ventos da estação Gravatá, localizada em Camaçari, no período de 2006 a 2008

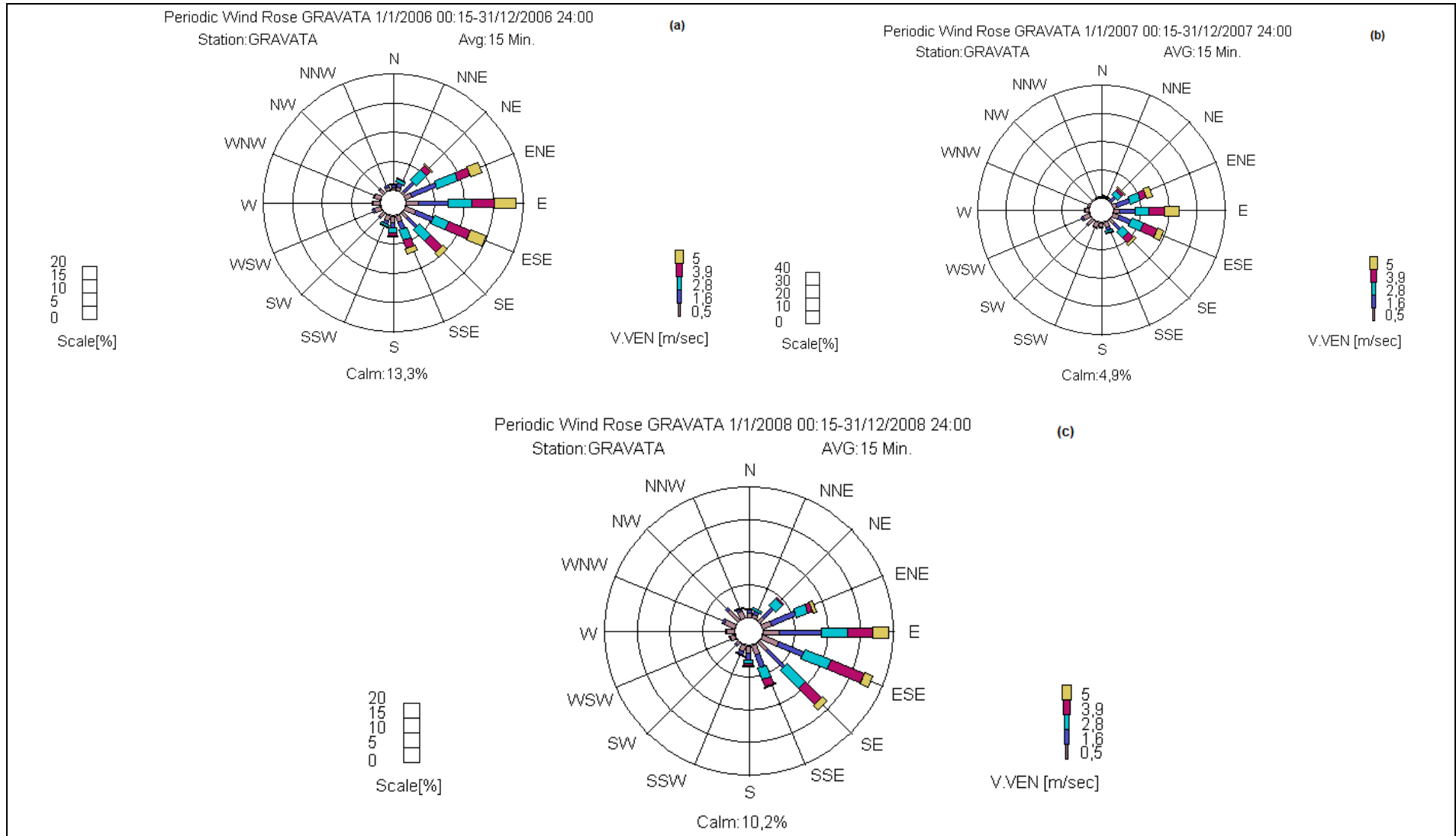


Figura AN02: Rosa de Ventos da estação Lamarão, localizada em Lamarão do Passé, no período de 2006 a 2008

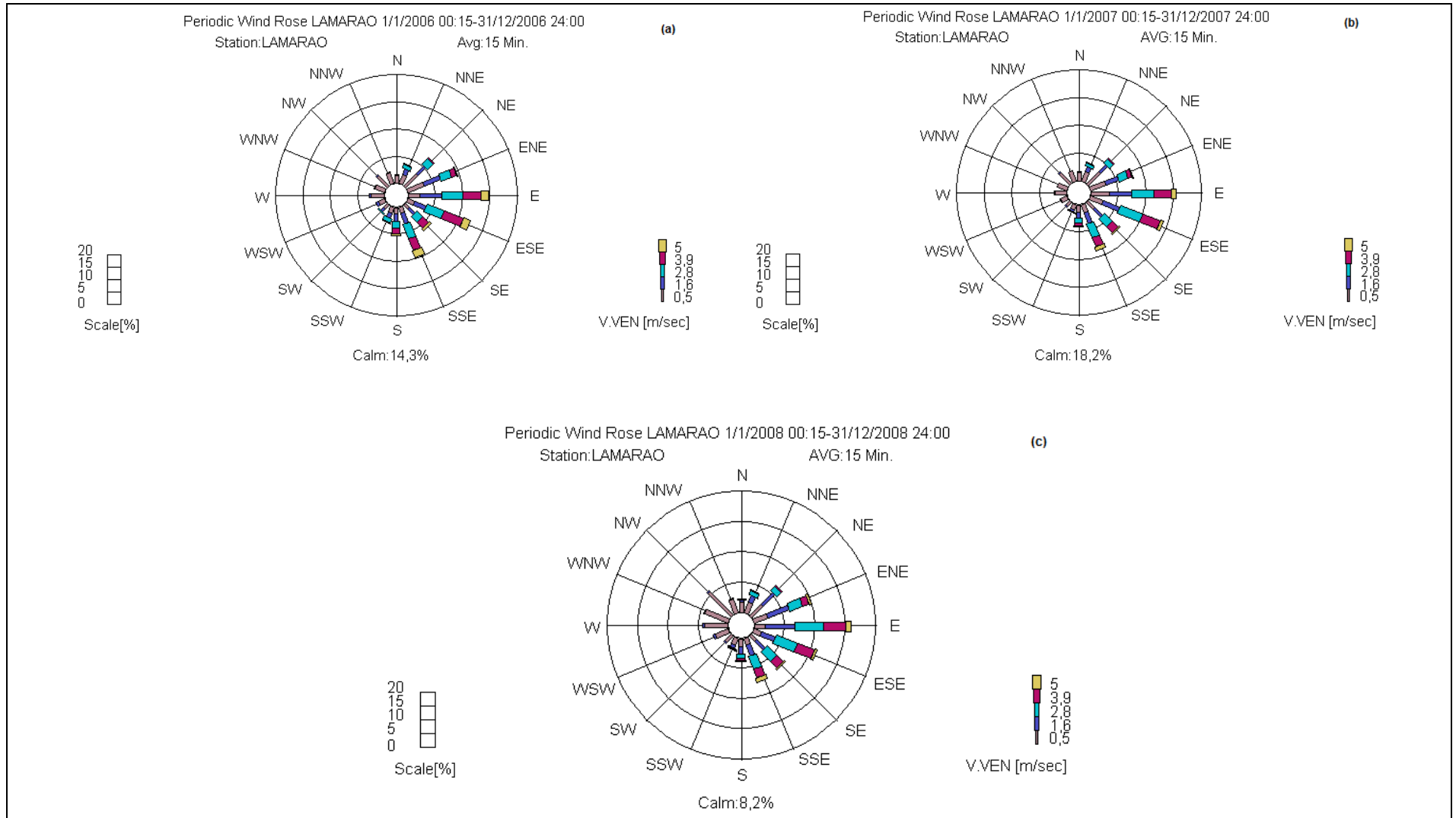


Figura AN03: Rosa de Ventos da estação Escola, localizada em Dias D'Ávila, no período de 2006 a 2008

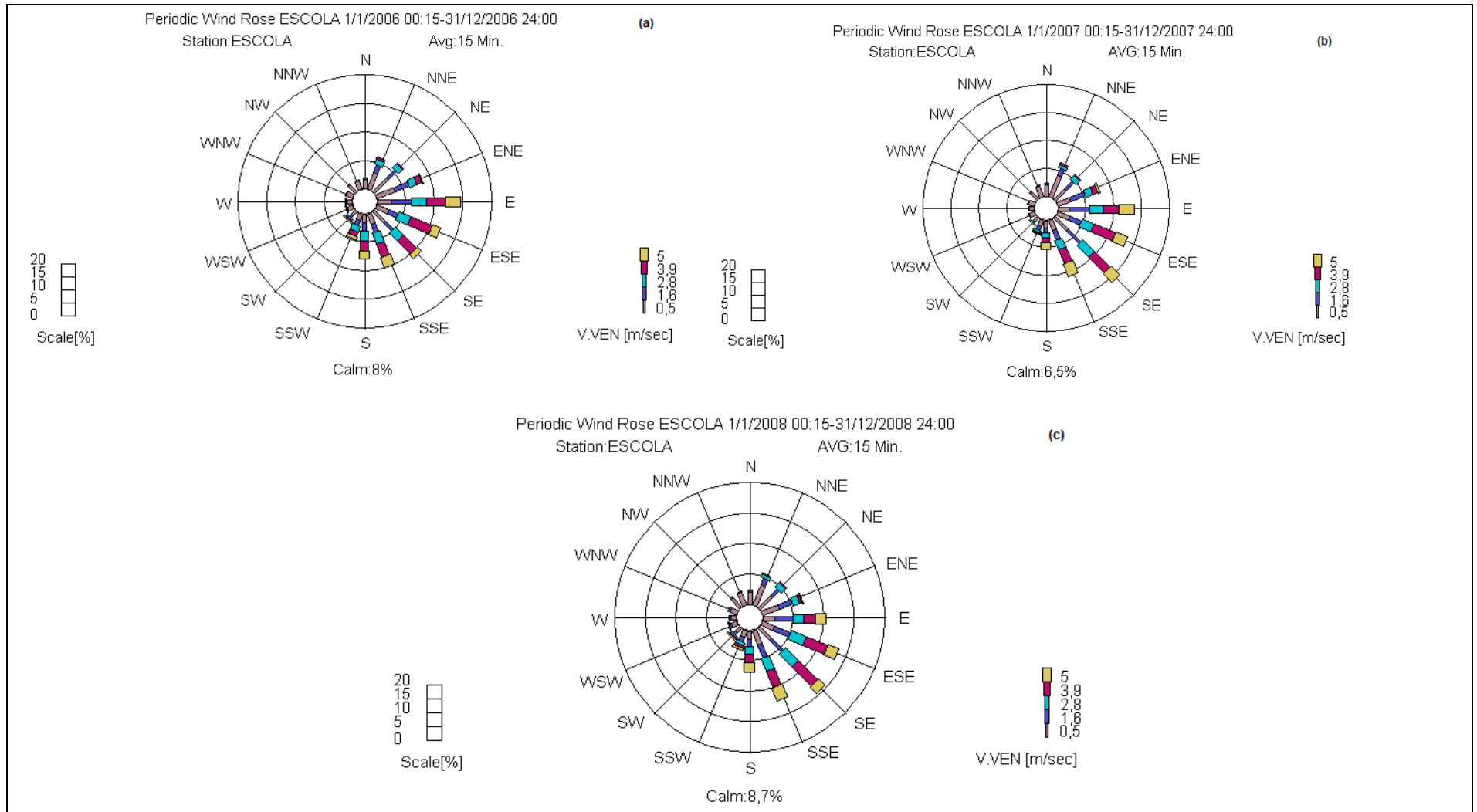


Tabela AN01: Comportamento dos ventos na estação Gravatá, localizada em Camaçari, em 2006

Comportamento dos Ventos - Estação Gravatá - 2006							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 (m s⁻¹)	1,6 - 2,8 (m s⁻¹)	2,8 - 3,9 (m s⁻¹)	3,9 - 5 (m s⁻¹)	> 5 (m s⁻¹)		
Janeiro	3,8	6,3	4,9	10,5	8,0	33,3	ESE
	3,1	7,2	6,9	6,0	4,0	27,1	E
	1,6	3,5	3,0	4,9	1,3	14,3	SE
Fevereiro	2,0	8,1	6,3	4,1	4,8	25,3	E
	1,9	4,1	4,9	7,6	5,2	23,8	ESE
	1,5	7,4	4,6	1,5	0,3	15,2	ENE
Março	3,4	7,4	4,5	3,6	5,5	24,4	E
	2,5	3,2	3,6	5,3	5,6	20,2	ESE
	1,0	4,0	2,8	1,9	0,4	10,1	ENE
Abril	1,7	2,2	3,6	1,5	0,1	9,0	SE
	2,9	1,6	1,8	1,3	0,7	8,2	E
	1,5	1,3	2,4	1,7	0,4	7,3	ESE
Mai	2,6	3,0	4,2	3,6	0,5	13,9	SSE
	2,0	2,2	3,1	1,8	0,7	9,8	S
	1,4	2,8	3,2	1,6	0,2	9,1	SE
Junho	0,5	4,7	9,1	11,7	4,9	30,8	SSE
	0,5	2,7	5,9	6,6	3,7	19,3	S
	0,5	2,2	4,7	3,9	3,2	14,4	SE
Julho	1,7	5,1	8,0	6,8	2,8	24,4	SSE
	1,0	4,1	5,9	6,5	2,9	20,4	SE
	2,5	3,2	1,8	1,2	0,5	9,2	S
Agosto	3,5	6,8	4,7	7,9	5,3	28,2	ESE
	3,2	5,2	4,6	4,7	3,0	20,6	SE
	2,4	4,6	3,1	3,3	2,8	16,3	E
Setembro	1,8	7,6	4,9	5,4	6,2	25,9	E
	1,5	4,6	2,7	4,1	3,0	15,9	ESE
	0,6	4,0	4,7	3,4	1,3	13,9	ENE
Outubro	1,8	9,0	8,6	6,2	7,9	33,6	E
	1,2	6,6	7,1	3,8	3,7	22,3	ENE
	0,7	2,2	6,1	3,7	0,5	13,2	NE
Novembro	2,0	10,0	8,6	7,4	7,9	35,9	ENE
	1,9	4,2	3,5	4,6	4,3	18,6	E
	0,8	6,6	5,9	2,1	0,8	16,2	NE
Dezembro	1,9	11,9	11,2	6,2	9,7	40,8	ENE
	2,5	4,1	3,0	6,9	6,3	22,7	E
	0,9	3,9	4,9	2,5	1,0	13,3	NE

Tabela AN02: Comportamento dos ventos na estação Gravatá, localizada em Camaçari, em 2007

Comportamento dos Ventos - Estação Gravatá - 2007							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 ($m s^{-1}$)	1,6 - 2,8 ($m s^{-1}$)	2,8 - 3,9 ($m s^{-1}$)	3,9 - 5 ($m s^{-1}$)	> 5 ($m s^{-1}$)		
Janeiro	1,7	9,9	12,5	9,5	11,8	45,5	ENE
	1,4	3,3	2,0	5,7	8,3	20,8	E
	0,8	5,9	5,6	4,3	1,0	17,7	NE
Fevereiro	2,3	8,8	5,3	4,0	4,8	25,2	ENE
	2,3	5,2	4,2	5,3	5,5	22,5	NE
	0,9	4,4	3,7	1,3	0,2	10,5	W
Março	3,9	6,8	4,5	9,5	4,2	29,0	E
	2,5	5,9	5,5	6,8	1,0	21,6	ESE
	2,5	6,2	2,3	1,1	0,7	12,8	ENE
Abril	2,7	6,8	6,2	6,0	2,2	23,9	ENE
	1,6	6,4	5,2	1,8	1,7	16,7	SSW
	2,4	4,4	5,5	2,8	0,2	15,2	ESE
Mai	2,6	4,0	5,2	4,4	3,0	19,2	SE
	2,8	3,9	5,1	4,9	1,0	17,6	ESE
	2,3	4,3	3,9	3,8	0,9	15,2	E
Junho	3,4	9,2	8,1	6,1	1,5	28,2	ESE
	2,1	5,2	4,4	5,1	2,4	19,2	E
	4,7	5,2	3,3	2,7	0,6	16,5	SE
Julho	2,8	5,0	5,7	5,3	2,8	21,6	E
	2,5	5,2	5,4	4,2	0,5	17,8	ESE
	2,7	2,5	3,2	1,9	2,5	12,6	SE
Agosto	3,0	6,9	7,2	8,5	4,2	29,8	ESE
	2,5	5,7	5,8	4,6	1,8	20,4	SE
	1,7	3,5	3,9	5,1	5,3	19,5	E
Setembro	2,3	8,3	6,8	8,4	3,7	29,5	SE
	1,9	5,3	5,9	7,6	6,2	26,9	ESE
	0,9	3,5	2,6	3,0	3,0	13,0	E
Outubro	1,7	7,0	8,4	5,2	8,7	30,8	E
	2,7	6,4	4,1	7,9	6,2	27,3	ESE
	1,8	3,0	2,3	3,6	0,7	11,3	SE
Novembro	2,6	10,1	8,5	6,9	12,2	40,2	E
	1,1	5,9	5,1	4,1	2,7	18,8	ENE
	1,3	2,6	1,7	5,7	4,9	16,1	ESE
Dezembro	2,8	8,9	6,0	7,6	8,1	33,3	E
	1,8	4,1	3,8	7,7	2,8	20,2	ESE
	1,7	7,6	4,4	2,2	0,8	16,8	ENE

Tabela AN03: Comportamento dos ventos na estação Gravatá, localizada em Camaçari, em 2008

Comportamento dos Ventos - Estação Gravatá - 2008							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 ($m s^{-1}$)	1,6 - 2,8 ($m s^{-1}$)	2,8 - 3,9 ($m s^{-1}$)	3,9 - 5 ($m s^{-1}$)	> 5 ($m s^{-1}$)		
Janeiro	2,9	9,1	6,9	5,8	5,4	30,0	E
	3,8	5,2	6,0	10,3	1,8	27,2	ESE
	2,1	4,7	3,2	0,7	0,4	11,1	ENE
Fevereiro	2,6	11,2	6,1	4,4	2,7	27,0	E
	1,3	3,0	4,5	10,9	2,0	21,7	ESE
	2,4	5,3	2,9	0,5	0,3	11,3	ENE
Março	3,0	5,3	6,6	6,9	0,4	22,2	ESE
	3,3	7,2	3,8	2,9	0,9	18,1	E
	1,8	2,6	3,1	2,8	0,1	10,4	SE
Abril	3,9	6,6	6,5	3,3	0,3	20,5	ESE
	2,6	8,6	5,2	2,5	0,1	19,0	E
	1,4	2,3	5,1	1,8	0,1	10,7	SE
Mai	2,3	4,9	6,6	4,1	0,6	18,5	SSE
	2,4	4,7	6,3	2,7	0,3	16,4	SE
	2,0	3,5	2,8	1,8	0,3	10,3	S
Junho	2,4	6,3	8,2	4,2	0,8	21,8	SE
	3,0	4,0	5,3	4,9	2,2	19,4	ESE
	2,9	3,2	3,5	2,2	0,1	11,9	SSE
Julho	2,2	7,1	5,5	5,7	3,8	24,3	SE
	2,5	6,8	4,7	3,0	0,7	17,6	SSE
	2,8	4,0	3,6	3,3	1,0	14,7	ESE
Agosto	4,2	9,1	7,3	8,0	2,2	30,8	SE
	4,2	4,7	3,4	3,0	0,8	16,1	ESE
	3,1	4,1	3,0	2,5	0,2	12,9	SSE
Setembro	2,5	7,5	5,6	5,1	1,8	22,5	ESE
	3,0	4,5	4,2	4,8	3,4	19,9	SE
	1,8	4,2	3,5	3,2	2,8	15,6	E
Outubro	3,7	10,8	6,2	8,2	4,3	33,3	E
	2,7	5,9	4,1	9,1	4,8	26,5	ESE
	1,9	4,6	3,5	3,9	1,0	15,1	SE
Novembro	4,1	9,1	6,4	9,0	9,2	37,7	E
	2,9	11,0	6,6	3,9	4,3	28,6	ENE
	1,8	6,1	5,2	1,2	0,3	14,6	NE
Dezembro	3,5	8,9	6,2	8,0	2,8	29,4	E
	2,8	7,8	3,1	0,9	0,2	14,8	ENE
	2,2	5,0	4,2	0,1	0,0	11,4	NE

Tabela AN04: Comportamento dos ventos na estação Lamarão, localizada em Lamarão do Passé, em 2006

Comportamento dos Ventos - Estação Lamarão - 2006							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 (m s⁻¹)	1,6 - 2,8 (m s⁻¹)	2,8 - 3,9 (m s⁻¹)	3,9 - 5 (m s⁻¹)	> 5 (m s⁻¹)		
Janeiro	1,7	3,8	6,9	12,6	4,0	29,0	ESE
	2,3	5,3	5,9	5,3	2,3	21,1	E
	3,2	3,5	2,0	0,6	0,0	9,2	ENE
Fevereiro	2,4	4,8	5,4	3,4	3,2	19,2	E
	1,2	2,4	3,5	6,4	4,6	18,2	ESE
	3,8	5,2	3,2	1,6	0,2	14,0	ENE
Março	1,7	5,8	4,0	3,3	4,1	19,0	E
	1,1	2,3	3,3	4,7	4,7	16,1	ESE
	3,1	4,4	2,9	1,1	0,3	11,9	ENE
Abril	1,3	2,8	2,7	2,4	0,5	9,7	SSE
	1,5	2,9	2,3	1,2	0,2	8,1	E
	1,0	2,2	2,7	1,1	0,2	7,2	ESE
Mai	1,1	3,8	5,3	4,7	1,9	16,8	SSE
	2,1	3,5	3,5	2,0	0,7	11,8	S
	2,6	2,8	2,8	1,1	0,1	9,4	SSW
Junho	2,5	4,3	5,8	4,5	4,6	21,6	SSE
	2,4	2,8	3,6	3,1	1,8	13,6	S
	1,1	2,0	2,4	1,8	1,7	9,0	SE
Julho	1,6	5,1	6,9	7,7	3,7	25,0	SSE
	2,7	3,6	1,8	1,8	0,9	10,8	S
	1,3	1,7	2,4	2,1	0,8	8,2	SE
Agosto	2,5	3,7	5,9	6,2	0,6	18,8	ESE
	3,7	4,3	2,4	3,0	0,4	13,8	E
	1,1	2,4	3,2	2,2	2,0	10,8	SSE
Setembro	3,3	4,5	4,8	4,0	0,7	17,3	E
	5,3	4,2	4,0	1,3	0,0	14,7	ENE
	1,6	2,4	3,8	3,8	0,5	12,0	ESE
Outubro	2,6	4,4	6,2	5,7	1,2	20,1	E
	5,5	4,6	4,2	2,0	0,2	16,5	ENE
	7,4	3,7	2,0	0,4	0,1	13,7	NE
Novembro	1,6	4,3	6,2	5,1	1,5	18,8	E
	4,9	5,1	3,7	1,3	0,2	15,3	ENE
	5,0	3,2	2,8	0,4	0,0	11,5	NE
Dezembro	2,0	6,4	5,4	6,9	1,6	22,3	E
	4,8	4,9	3,5	1,7	0,4	15,4	ENE
	5,5	3,1	2,5	1,1	0,2	12,4	NE

Tabela AN05: Comportamento dos ventos na estação Lamarão, localizada em Lamarão do Passé, em 2007

Comportamento dos Ventos - Estação Lamarão - 2007							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 (m s⁻¹)	1,6 - 2,8 (m s⁻¹)	2,8 - 3,9 (m s⁻¹)	3,9 - 5 (m s⁻¹)	> 5 (m s⁻¹)		
Janeiro	3,0	6,0	8,7	7,9	3,4	28,9	E
	4,4	6,3	4,9	1,3	0,2	17,2	ENE
	6,1	3,5	2,7	0,4	0,1	12,8	NE
Fevereiro	3,0	4,3	3,1	3,1	1,2	14,7	E
	1,5	2,8	3,5	5,1	0,6	13,6	ESE
	3,1	2,8	2,0	1,0	0,1	8,9	ENE
Março	1,8	3,5	5,7	4,5	0,7	16,1	ESE
	1,7	2,4	3,4	2,4	0,2	10,0	SE
	2,2	4,2	2,1	1,0	0,2	9,8	E
Abril	3,6	3,9	2,3	1,4	0,4	11,7	E
	2,6	3,1	4,0	1,0	0,6	11,4	ESE
	1,6	2,6	2,7	0,5	0,1	7,4	SE
Mai	1,9	2,6	5,2	4,6	2,2	16,5	SSE
	1,7	2,0	2,3	1,6	0,8	8,5	S
	1,7	2,7	2,1	0,7	0,0	7,2	ESE
Junho	2,8	3,4	4,1	3,9	0,9	15,1	SSE
	3,6	3,7	4,1	1,6	0,3	13,3	ESE
	3,5	3,2	2,3	1,3	0,3	10,6	SE
Julho	1,9	2,9	3,7	2,3	1,7	12,5	SSE
	2,7	3,4	3,1	1,9	0,5	11,5	ESE
	3,4	2,9	2,4	1,0	0,3	10,0	E
Agosto	2,3	5,4	5,9	3,9	2,1	19,7	SSE
	3,8	3,2	4,3	2,8	1,3	15,4	ESE
	3,1	4,1	3,8	2,7	1,6	15,3	SE
Setembro	5,6	5,6	6,3	4,1	0,8	22,4	ESE
	5,5	3,5	3,3	1,6	0,2	14,1	E
	4,1	3,4	2,5	2,7	0,4	13,1	SE
Outubro	6,9	5,2	7,1	5,4	0,6	25,2	E
	2,7	3,1	6,4	4,2	0,4	16,8	ESE
	5,3	1,6	2,2	1,0	0,0	10,1	ENE
Novembro	3,6	6,4	6,9	6,4	2,0	25,3	E
	5,1	4,9	5,4	2,0	0,3	17,7	ENE
	5,4	3,7	3,0	0,7	0,1	12,8	NE
Dezembro	1,7	5,8	7,0	7,0	1,7	23,1	E
	2,8	5,9	4,5	2,4	0,7	16,2	ENE
	0,5	2,1	4,4	5,1	0,4	12,5	ESE

Tabela AN06: Comportamento dos ventos na estação Lamarão, localizada em Lamarão do Passé, em 2008

Comportamento dos Ventos - Estação Lamarão - 2008							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 ($m s^{-1}$)	1,6 - 2,8 ($m s^{-1}$)	2,8 - 3,9 ($m s^{-1}$)	3,9 - 5 ($m s^{-1}$)	> 5 ($m s^{-1}$)		
Janeiro	1,4	6,2	6,8	7,5	1,9	23,8	E
	0,9	1,8	5,2	6,6	0,5	15,0	ESE
	1,8	6,0	3,6	1,9	0,9	14,2	ENE
Fevereiro	1,7	5,3	6,1	5,8	1,0	19,9	E
	2,6	6,4	3,0	1,3	0,5	13,7	ENE
	1,0	1,2	3,4	5,8	0,8	12,2	ESE
Março	1,8	6,2	4,8	3,0	0,4	16,3	E
	1,0	2,2	4,0	2,8	0,1	10,0	ESE
	1,8	3,8	1,4	0,6	0,1	7,7	ENE
Abril	2,3	6,5	5,3	1,5	0,0	15,6	E
	4,0	3,7	0,6	0,0	0,0	8,3	NE
	1,0	1,9	4,1	1,1	0,0	8,1	ESE
Mai	1,6	3,4	5,2	5,0	2,0	17,3	SSE
	2,5	2,8	2,8	1,6	0,1	9,8	S
	0,8	2,3	3,1	1,4	0,4	8,0	SE
Junho	1,8	2,9	4,2	2,5	0,9	12,3	SSE
	2,0	3,1	3,9	2,3	0,3	11,6	ESE
	2,2	2,9	4,3	1,1	0,0	10,5	SE
Julho	2,4	4,0	3,9	3,5	1,9	15,6	SSE
	1,8	2,3	3,0	3,8	1,2	12,1	SE
	1,8	2,4	2,7	1,1	0,0	8,1	ESE
Agosto	3,2	4,1	3,9	3,3	0,9	15,4	SE
	2,9	4,3	4,2	2,5	0,6	14,6	ESE
	1,6	3,7	4,3	3,1	1,2	13,9	SSE
Setembro	2,4	4,8	7,9	2,6	0,1	17,7	ESE
	2,4	6,0	4,9	2,5	0,3	16,0	E
	1,8	3,8	2,9	2,1	0,3	10,8	SE
Outubro	2,3	6,6	7,3	6,3	1,3	23,7	E
	1,6	3,4	5,5	6,9	0,8	18,2	ESE
	3,2	5,1	3,2	1,4	0,1	13,1	ENE
Novembro	4,6	9,0	7,0	4,6	2,2	27,3	ENE
	1,9	4,4	7,1	8,8	3,8	26,1	E
	3,9	5,2	3,3	2,0	0,4	14,8	NE
Dezembro	1,7	5,8	6,9	5,0	0,6	20,0	E
	3,9	5,6	3,8	0,9	0,0	14,3	ENE
	3,9	5,5	2,2	0,4	0,0	12,0	NE

Tabela AN07: Comportamento dos ventos na estação Escola, localizada em Dias D' Ávila, em 2006

Comportamento dos Ventos - Estação Escola - 2006							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 (m s⁻¹)	1,6 - 2,8 (m s⁻¹)	2,8 - 3,9 (m s⁻¹)	3,9 - 5 (m s⁻¹)	> 5 (m s⁻¹)		
Janeiro	4,1	2,3	4,1	9,4	2,7	22,5	ESE
	3,0	5,5	3,6	5,6	1,8	19,5	E
	4,3	2,7	3,0	7,5	1,6	19,0	SE
Fevereiro	3,4	4,6	3,6	3,7	4,2	19,5	E
	2,6	2,1	2,9	7,6	2,4	17,5	ESE
	6,2	4,7	2,9	0,6	0,0	14,3	ENE
Março	2,8	4,3	2,7	3,6	4,6	17,9	E
	2,4	2,1	2,6	5,1	1,9	13,9	ESE
	5,0	3,4	2,0	0,8	0,3	11,5	ENE
Abril	2,9	2,6	3,3	3,0	0,1	11,9	SSE
	3,2	2,0	3,5	1,7	0,0	10,4	SE
	2,5	1,9	1,8	1,5	0,5	8,2	E
Mai	2,8	2,7	4,2	4,4	2,3	16,3	SSE
	2,6	4,3	3,7	4,0	0,9	15,6	S
	1,5	2,1	2,6	2,0	2,0	10,1	SSW
Junho	2,1	3,4	6,3	5,1	3,7	20,5	S
	2,7	2,3	4,7	5,1	4,5	19,3	SSE
	1,4	2,4	3,4	2,8	1,9	11,9	SSW
Julho	2,3	4,1	5,4	6,3	8,1	26,2	SSE
	1,8	3,1	3,5	4,8	3,4	16,6	S
	2,8	3,0	2,6	2,1	1,1	11,7	SE
Agosto	5,7	4,7	2,6	6,1	1,6	20,8	SE
	3,8	2,9	3,1	6,3	2,0	18,1	ESE
	2,8	2,5	2,2	3,2	3,8	14,5	SSE
Setembro	2,8	3,0	3,1	5,0	3,6	17,5	E
	4,1	2,9	2,0	2,8	0,2	12,0	ENE
	2,2	2,1	1,9	3,8	1,7	11,8	ESE
Outubro	3,8	5,3	3,5	7,2	4,3	24,1	E
	4,5	4,4	3,0	3,3	0,6	15,8	ENE
	5,0	3,8	2,3	1,1	0,3	12,4	NE
Novembro	3,0	4,6	3,8	5,8	4,7	21,9	E
	4,8	4,8	2,7	0,8	0,2	13,3	ENE
	1,5	1,9	2,3	3,9	2,9	12,6	ESE
Dezembro	2,5	7,8	4,0	4,7	6,6	25,6	E
	3,7	5,9	2,9	1,6	1,3	15,4	ENE
	2,1	1,9	2,3	4,6	2,8	13,6	ESE

Tabela AN08: Comportamento dos ventos na estação Escola, localizada em Dias D' Ávila, em 2007

Comportamento dos Ventos - Estação Escola - 2007							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 (m s⁻¹)	1,6 - 2,8 (m s⁻¹)	2,8 - 3,9 (m s⁻¹)	3,9 - 5 (m s⁻¹)	> 5 (m s⁻¹)		
Janeiro	2,2	6,7	5,5	6,8	7,3	28,4	E
	3,9	8,5	4,9	3,2	0,8	21,3	ENE
	1,5	1,8	1,6	5,8	4,9	15,6	ESE
Fevereiro	2,4	4,7	2,9	2,8	3,2	15,9	E
	1,8	1,5	1,4	5,1	1,9	11,6	ESE
	2,1	2,5	2,4	3,6	1,0	11,5	SE
Março	4,2	3,2	4,0	8,4	1,7	21,4	SE
	3,3	3,1	2,8	4,6	0,6	14,3	ESE
	2,7	2,9	2,4	3,9	1,9	13,8	SSE
Abril	4,0	3,1	5,2	2,9	0,9	16,0	SE
	2,7	3,4	3,5	2,6	0,5	12,7	ESE
	2,3	1,7	2,7	2,5	0,9	10,1	SSE
Mai	1,7	1,1	2,3	3,9	5,1	14,1	S
	2,0	2,1	1,6	4,0	3,7	13,4	SSE
	3,5	2,7	3,7	2,0	0,1	12,0	SE
Junho	5,2	6,3	3,9	3,5	0,9	19,7	SE
	3,3	3,7	3,2	4,7	3,8	18,7	SSE
	2,6	1,7	1,9	2,1	1,7	10,0	S
Julho	3,4	3,7	3,7	3,4	1,6	15,8	SE
	2,1	2,1	2,8	2,9	1,8	11,7	SSE
	2,2	2,2	2,4	2,6	1,5	10,8	ESE
Agosto	4,0	5,9	3,7	5,0	6,7	25,2	SE
	2,3	3,5	4,7	4,5	8,2	23,1	SSE
	2,5	1,6	2,1	2,1	1,8	10,0	ESE
Setembro	5,5	7,2	4,3	6,3	7,2	30,5	NNE
	3,0	3,6	1,9	3,5	4,6	16,7	NE
	2,0	2,3	3,3	5,2	3,1	16,0	ENE
Outubro	2,9	6,1	3,4	4,9	4,9	22,2	E
	3,4	3,7	3,1	6,7	4,7	21,6	ESE
	3,0	2,8	2,4	4,8	2,1	15,0	SE
Novembro	2,7	7,2	3,9	4,9	8,0	26,6	E
	4,5	5,9	4,9	3,2	1,6	20,0	ENE
	1,4	1,6	2,0	4,7	3,3	13,1	ESE
Dezembro	2,5	5,9	3,3	4,2	6,6	22,6	E
	2,2	2,3	1,6	5,7	3,7	15,5	ESE
	4,4	4,8	2,3	2,3	0,7	14,6	ENE

Tabela AN09: Comportamento dos ventos na estação Escola, localizada em Dias D' Ávila, em 2008

Comportamento dos Ventos - Estação Escola - 2008							
Mês	Frequência da Intensidade dos Ventos (%)					Frequência da Direção dos Ventos (%)	
	0,5 - 1,6 (m s⁻¹)	1,6 - 2,8 (m s⁻¹)	2,8 - 3,9 (m s⁻¹)	3,9 - 5 (m s⁻¹)	> 5 (m s⁻¹)		
Janeiro	2,2	2,4	2,8	8,6	3,8	19,9	SE
	2,2	4,9	3,6	4,9	3,2	18,9	ESE
	2,0	5,5	2,5	2,5	2,5	15,0	E
Fevereiro	1,8	3,8	3,5	5,6	3,5	18,1	ESE
	2,5	6,1	2,4	1,9	1,9	14,7	E
	1,5	1,3	2,0	5,8	2,4	13,1	SE
Março	2,4	2,8	4,1	6,7	0,7	16,5	SE
	2,6	2,7	3,0	3,7	0,9	12,7	ESE
	1,9	2,9	1,4	1,6	0,5	8,3	E
Abril	3,0	3,2	4,0	3,2	0,5	13,9	SE
	2,7	3,1	3,3	3,7	0,3	13,0	ESE
	2,4	1,6	2,9	3,5	0,2	10,6	SSE
Mai	1,6	2,3	3,7	5,6	5,3	18,5	S
	2,8	2,8	4,5	3,3	2,0	15,4	SSE
	1,3	2,1	1,9	1,7	1,5	8,5	SSW
Junho	2,9	3,6	4,8	5,1	2,4	18,7	SSE
	4,0	4,0	3,9	4,6	1,5	17,9	SE
	1,5	1,4	1,8	2,8	1,9	9,5	S
Julho	3,3	4,5	3,3	4,1	6,7	21,9	SSE
	2,0	2,6	3,6	3,2	4,1	15,5	S
	3,8	2,9	3,5	2,6	1,0	13,8	SE
Agosto	4,0	4,9	4,0	4,8	6,0	23,7	SSE
	4,6	4,6	3,3	4,2	2,0	18,7	SE
	1,9	2,1	1,4	1,9	3,5	10,8	S
Setembro	4,1	4,2	5,2	5,9	1,0	20,4	SE
	4,2	3,4	3,4	4,0	3,4	18,4	SSE
	2,8	1,7	2,5	4,2	0,5	11,8	ESE
Outubro	2,6	4,5	3,5	7,8	5,2	23,5	ESE
	3,5	4,1	2,2	5,7	3,1	18,5	SE
	2,2	4,1	2,7	2,9	1,9	13,8	E
Novembro	3,1	5,5	4,4	6,4	10,2	29,6	E
	5,9	7,4	4,3	2,7	0,9	21,2	ENE
	2,5	3,5	1,9	5,1	5,4	18,3	ESE
Dezembro	3,8	5,0	3,2	3,7	2,3	17,9	E
	2,0	2,9	3,7	5,8	2,7	17,1	ESE
	5,1	3,9	2,8	0,8	0,1	12,7	ENE

Tabela AN10: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Gravatá em Camaçari (2006-2007)

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
9-12/06/06	(a)	1,8
12-13/06/06	(a)	2,1
13-14/06/06	(a)	2,6
14-15/06/06	(a)	2,2
15-16/06/06	(a)	1,2
16-19-06/06	(a)	2,8
19-20-06/06	(a)	2,8
21-22-06-06	(a)	1,9
30/06/06 a 03/07/06	162	3,8
03-04/07/06	162	3,1
10-11-07-06	(a)	2,6
14-17/07/06	151	3,5
21-24-07-06	166	2,5
03-04-08-06	134	2,6
04-07-08-06	125	3,2
07-08-08-06	139	3,5
11-14-08-06	120	2,6
15-16-08-06	112	3,0
18-21-08-06	110	2,4
22-23-08-06	120	3,1
25-29-08-06	101	2,8
30-31-08-06	151	3,9
06-11-09-06	140	3,6
11-12-09-06	121	3,5
12-13/09/06	127	2,9
14-15-09-06	97	3,0
15-18-09-06	86	3,2
26-27-09-06	137	3,1
27-28-09-06	157	3,7
28-09 a 02-10-06	131	3,1
04-05-10-06	94	3,4
06-09-10-06	89	3,5
09-10-10-06	89	3,4
20-23-10-06	(a)	(a)
23-24-10-06	(a)	(a)
24-25-10-06	(a)	(a)
25-26-10-06	(a)	5,2
9-10-11-06	83	2,3
10-13-11-06	101	2,4
14-16/11/06	84	3,6
16-17/11/06	100	3,7
24-27/11/06	87	3,1
01-04/12/06	80	3,0
04-05/12/06	78	2,5
13-14/12/06	74	3,2
21-22/12/06	86	3,0
29-12/06 a 02/01/07	95	3,2

(a) = sensor se encontrava em manutenção

Cont. Tabela AN10

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
03-04/01/07	83	3,4
04-05/01/07	68	3,6
12-15/01/07	46	4,3
19-22/01/07	64	3,3
09-12/02/07	70	3,0
14-15/02/07	342	2,7
15-16/02/07	178	2,5
22-23/02/07	128	2,1
23-26/02/07	95	2,5
01-02/03/07	109	2,8
02-05/03/07	107	2,8
06-07/03/07	109	2,5
07-08/03/07	106	2,6
09-12/03/07	114	2,2
13-14/03/07	106	2,4
22-23/03/07	111	2,5
23-26/03/07	111	2,9
26-27/03/07	103	3,1
27-28/03/07	118	2,6
10-11/04/07	61	3,5
11-12/04/07	84	3,4
12-13/04/07	111	2,4
13-16/04/07	118	2,2
18-19/04/07	128	2,1
19-20/04/07	110	2,8
20-23/04/07	124	2,6
23-24/04/07	174	2,0
24-25/04/07	168	2,0
27-04/07 a 02-05/07	126	1,9
04-07/05/07	132	2,5
08-09/05/07	136	2,1
10-11/05/07	145	4,0
11-14/05/07	142	3,2
14-15/05/07	151	2,5
16-17/05/07	106	2,5
18-21/05/07	123	2,1
08-11/06/07	147	2,3

Tabela AN11: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Gravatá em Camaçari (2007-2008)

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
11-12/06/07	131	2,3
12-13/06/07	119	2,3
15-18/06/07	126	2,4
20-21/06/07	107	2,9
21-22/06/07	97	3,2
22-26/06/07	113	2,6
26-27/06/07	112	2,9
27-28/06/07	121	2,9
28-29/06/07	146	2,3
29/06/07 a 03/07/07	157	2,0
04-05/07/07	111	3,1
06-09/07/07	114	2,6
12-13/07/07	123	2,3
13-16/07/07	137	2,0
26-30/07/07	121	3,1
02-03/08/07	123	3,2
03-06/08/07	120	2,8
06-07/08/07	113	2,5
07-08/08/07	108	2,6
08-09/08/07	104	3,2
10-13/08/07	109	3,5
14-15/08/07	99	4,6
15-16/08/07	113	4,0
17-20/08/07	140	2,8
28-29/08/07	106	2,8
30/08/07 a 03/09/07	148	2,8
03-04/09/07	138	3,7
05-06/09/07	117	3,8
06-10/09/07	130	3,2
10-11/09/07	136	3,5
12-13/09/07	131	3,4
13-14/09/07	131	3,1
14-17/09/07	118	2,6
20-21/09/07	129	3,1
27/09/07 a 01/10/07	121	2,8
01-02/10/07	120	2,8
03-04/10/07	141	2,4
04-05/10/07	139	2,3
05-08/10/07	123	2,7
08-09/10/07	136	3,0
10-11/10/07	131	3,0
15-16/10/07	132	2,7
14-19/11/07	115	3,2
23-26/11/07	86	3,1
28-29/11/07	69	(a)
30/11/07 a 03/12/07	91	3,3
07-10/12/07	77	3,6
14-17/12/07	58	3,4

(a) = sensor se encontrava em manutenção

Cont.Tabela AN11

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
21-26/12/07	100	3,1
11-14/01/08	108	2,9
16-17/01/08	99	2,9
31/01/08 a 01/02/08	32	2,6
01-07/02/08	71	2,9
15-18/02/08	93	2,2
26-27/02/08	24	2,8
28-29/02/08	324	2,8
28-31/03/08	79	1,8
31/03/08 a 01/04/08	184	1,9
02-03/04/08	150	1,8
04-07/04/08	76	2,5
07-08/04/08	90	2,4
17-18/04/08	108	2,3
22-23/04/08	127	1,9
28-29/04/08	104	2,0
08-09/05/08	177	1,5
09-12/05/08	154	2,7
14-15/05/08	167	1,8
22-26/05/08	159	2,0
30/05/08 a 02/06/08	143	2,2
02-03/06/08	147	2,2
05-06/06/08	169	2,5
11-12/06/08	185	2,1

Tabela AN12: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Gravatá em Camaçari (2008)

Data de Coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
12-13/06/08	132	1,9
20-25/06/08	135	2,0
25-26/06/08	197	1,8
26-27/06/08	184	2,4
27-30/06/08	126	2,8
30/06/08 a 01/07/08	100	2,4
01-03/07/08	124	2,2
04-07/07/08	172	2,5
07-08/07/08	181	2,6
09-10/07/08	160	1,8
10-11/07/08	142	2,5
11-14/07/08	168	3,0
14-15/07/08	150	3,1
18-21/07/08	131	2,2
21-22/07/08	129	3,0
25-29/07/08	140	2,6
01-04/08/08	134	1,7
06-07/08/08	137	2,0
08-11/08/08	144	1,9
11-12/08/08	144	2,4
15-18/08/08	137	2,6
01-02/09/08	(a)	2,7
04-05/09/08	(a)	2,0
19-22/09/08	111	3,2
25-26/09/08	132	3,5
07-08/10/08	126	3,2
08-09/10/08	132	2,9
09-10/10/08	139	3,0
13-14/10/08	124	3,8
14-15/10/08	119	3,5

(a) = sensor se encontrava em manutenção

Tabela AN13: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Lamarão em Lamarão do Passé (2006-2007)

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
9-12/06/06	198	2,2
12-13/06/06	168	2,4
14-15/06/06	190	2,9
15-16/06/06	219	1,7
16-19/06/06	180	2,8
19-20/06/06	151	3,2
21-22/06/06	131	2,9
29-30/06/06	148	3,6
30/06/06 a 03/07/06	170	3,3
05-06/07/06	173	2,3
10-11/07/06	176	1,9
14-17/07/06	163	3,0
21-24/07/06	184	2,0
01-02-08-06	118	1,9
03-04-08-06	112	2,1
04-07-08-06	114	2,4
07-08-08-06	144	2,6
11-14-08-06	87	1,9
22-23-08-06	103	2,1
25-29-08-06	61	1,6
30-31-08-06	163	3,3
06-11-09-06	141	2,9
11-12-09-06	114	2,6
12-13-09-06	121	2,2
15-18-09-06	60	2,0
26-27-09-06	132	2,1
28-09 a 02-10-06	134	2,4
02-03-10-06	120	1,8
04-05-10-06	72	2,3
06-09-10-06	75	2,2
09-10-10-06	76	2,0
20-23-10-06	136	2,9
23-24-10-06	147	2,8
24-25-10-06	153	3,0
9-10-11-06	77	1,7
14-16/11/06	90	2,6
16-17/11/06	119	2,8
17-20/11/06	89	2,1
21-22/11/06	53	2,0
23-24/11/06	61	2,2
24-27/11/06	64	2,0
04-05/12/06	88	1,7
15-18/12/06	64	2,3
29-12/06 a 02/01/07	87	2,3
03-04/01/07	88	2,3
12-15/01/07	54	2,8
09-12/02/07	71	2,2
14-15/02/07	185	1,7

Cont.Tabela AN13

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
15-16/02/07	184	1,5
27-28/02/07	77	1,9
02-05/03/07	114	2,0
06-07/03/07	121	2,0
12-13/03/07	117	1,4
13-14/03/07	171	1,5
23-26/03/07	142	2,1
26-27/03/07	115	2,2
10-11/04/07	71	2,2
12-13/04/07	138	1,8
13-16/04/07	144	1,7
18-19/04/07	196	1,2
20-23/04/07	177	1,9
23-24/04/07	264	1,2
24-25/04/07	276	1,1
04-07/05/07	159	1,9
08-09/05/07	180	1,2
10-11/05/07	184	4,0
11-14/05/07	191	2,6
14-15/05/07	198	1,9
16-17/05/07	99	2,0
18-21/05/07	169	1,5
05-06/06/07	199	1,2
08-11/06/07	209	1,5

Tabela AN14: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Lamarão em Lamarão do Passé (2007-2008)

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
15-18/06/07	180	1,6
19-20/06/07	145	2,2
20-21/06/07	128	2,2
21-22/06/07	109	2,4
22-26/06/07	134	1,8
26-27/06/07	140	2,3
27-28/06/07	152	2,4
28-29/06/07	208	1,8
29/06/07 a 03/07/07	220	1,5
04-05/07/07	83	1,9
05-06/07/07	120	2,3
06-09/07/07	113	1,9
24-25/07/07	78	1,2
26-30/07/07	141	2,5
01-02/08/07	179	2,2
06-07/08/07	131	1,8
07-08/08/07	100	1,7
08-09/08/07	105	2,0
09-10/08/07	124	2,0
13-14/08/07	133	3,5
15-16/08/07	133	2,7
17-20/08/07	167	2,0
28-29/08/07	78	1,8
30/08/07 a 03/09/07	143	2,1
03-04/09/07	127	2,4
05-06/09/07	107	2,3
06-10/09/07	117	1,9
10-11/09/07	130	2,4
13-14/09/07	126	1,9
14-17/09/07	102	1,4
19-20/09/07	154	1,9
20-21/09/07	121	2,1
04-05/10/07	136	1,5
05-08/10/07	100	1,8
08-09/10/07	117	2,0
10-11/10/07	121	1,7
13-14/11/07	74	2,6
14-19/11/07	92	2,1
27-28/11/07	54	2,2
28-29/11/07	62	2,0
30/11/07 a 03/12/07	76	2,4
07-10/12/07	62	2,8

Cont.Tabela AN14

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
14-17/12/07	42	2,6
21-26/12/07	86	2,6
11-14/01/08	85	2,6
16-17/01/08	90	2,6
31/01/08 a 01/02/08	191	1,9
01-07/02/08	101	2,3
28-29/02/08	331	2,3
25-26/03/08	121	1,6
02-03/04/08	118	1,5
04-07/04/08	50	2,0
08-09/04/08	86	1,9
09-10/04/08	156	1,9
15-16/04/08	52	1,9
18-22/04/08	94	1,9
22-23/04/08	175	1,7
28-29/04/08	70	1,6
16-19/05/08	210	2,5
29-30/05/08	61	1,7
02-03/06/08	157	2,0
11-12/06/08	173	1,9
12-13/06/08	186	1,7
20-25/06/08	162	1,7

Tabela AN15: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Lamarão em Lamarão do Passé (2008)

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
25-26/06/08	253	1,6
26-27/06/08	196	2,2
27-30/06/08	125	2,3
30/06/08 a 01/07/08	72	1,9
01-03/07/08	84	1,9
04-07/07/08	206	2,2
07-08/07/08	191	2,5
09-10/07/08	186	1,7
10-11/7/2008	150	2,0
11-14/07/08	184	2,6
14-15/07/08	177	2,6
18-21/07/08	137	1,9
21-22/07/08	108	2,3
25-29/07/08	197	2,1
29-30/07/08	117	1,8
01-04/08/08	126	1,8
06-07/08/08	128	1,9
08-11/08/08	150	1,9
11-12/08/08	173	2,4
12-13/08/08	(a)	2,2
15-18/08/08	138	2,3
01-02/09/08	135	2,6
04-05/09/08	62	1,8
19-22/09/08	102	2,3
25-26/09/08	126	2,9
07-08/10/08	119	2,6
08-09/10/08	136	2,5
09-10/10/08	148	2,8
13-14/10/08	121	3,1
14-15/10/08	115	3,0
24-25/11/08	76	2,1
25-26/11/08	72	2,6

(a) = sensor se encontrava em manutenção

Tabela AN16: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Escola em Dias D'Ávila (2006-2007)

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
9-12/06/06	185	2,6
12-13/06/06	170	3,2
13-14/06/06	166	3,8
14-15/06/06	184	3,5
15-16/06/06	198	2,3
16-19/06/06	181	3,5
19-20/06/06	155	4,1
21-22/06/06	139	3,4
30/06/06 a 03/07/06	173	3,9
05-06/07/06	150	2,6
06-07-07-06	162	2,7
10-11/07/06	158	2,4
22-23-08-06	130	2,6
25-29-08-06	93	2,4
30-31-08-06	171	4,4
06-11-09-06	153	3,8
11-12-09-06	128	3,1
12-13/09/06	136	2,7
14-15-09-06	94	2,6
15-18-09-06	83	2,7
26-27-09-06	153	2,7
27-28-09-06	177	4,0
28-09 a 02-10-06	132	3,0
09-10-10-06	85	2,5
10-11/10/06	92	2,2
20-23-10-06	149	3,6
23-24-10-06	163	3,6
24-25-10-06	166	3,9
25-26-10-06	211	3,2
9-10-11-06	95	2,3
14-16/11/06	106	3,1
16-17/11/06	135	3,2
24-27/11/06	80	2,5
04-05/12/06	105	2,3
29-12/06 a 02/01/07	100	2,8
03-04/01/07	88	3,0
04-05/01/07	72	3,2
12-15/01/07	62	3,6
19-22/01/07	68	2,8
06-07/02/07	138	2,7
09-12/02/07	86	2,7
13-14/02/07	84	2,3
15-16/02/07	36	2,2
23-26/02/07	111	2,3
26-27/02/07	95	2,6
27-28/02/07	116	2,5
02-05/03/07	129	2,5
06-07/03/07	103	2,4

Cont.Tabela AN16

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
07-08/03/07	125	2,6
13-14/03/07	83	2,2
22-23/03/07	134	2,2
23-26/03/07	141	2,7
26-27/03/07	132	2,7
11-12/04/07	40	3,0
12-13/04/07	141	2,3
13-16/04/07	135	2,2
18-19/04/07	85	2,0
19-20/04/07	125	2,6
24-25/04/07	191	2,0
27-04/07 a 02-05/07	136	1,9
04-07/05/07	135	2,5
09-10/05/07	134	2,7
10-11/05/07	189	4,7
11-14/05/07	183	3,6
14-15/05/07	190	2,5
16-17/05/07	124	2,3
18-21/05/07	127	2,1
30-31/05/07	71	2,0
05-06/06/07	180	2,0
08-11/06/07	160	2,5

Tabela AN17: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Escola em Dias D'Ávila (2007-2008)

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
11-12/06/07	145	2,4
12-13/06/07	138	2,2
15-18/06/07	153	2,3
19-20/06/07	156	3,1
21-22/06/07	119	2,9
22-26/06/07	131	2,6
26-27/06/07	148	2,9
27-28/06/07	154	3,0
29/06/07 a 03/07/07	147	2,9
04-05/07/07	119	2,8
05-06/07/07	129	3,0
11-12/07/07	115	2,3
13-16/07/07	121	2,0
26-30/07/07	148	3,2
01-02/08/07	170	3,4
02-03/08/07	168	3,3
03-06/08/07	154	2,9
06-07/08/07	123	2,6
07-08/08/07	113	2,4
09-10/08/07	137	3,3
10-13/08/07	144	3,6
13-14/08/07	145	4,5
14-15/08/07	136	4,5
15-16/08/07	141	4,1
17-20/08/07	144	2,8
30/08/07 a 03/09/07	154	3,1
05-06/09/07	123	3,6
06-10/09/07	136	3,1
10-11/09/07	142	3,6
12-13/09/07	143	3,5
13-14/09/07	136	3,1
14-17/09/07	118	2,3
20-21/09/07	126	3,0
27/09/07 a 01/10/07	118	2,5
01-02/10/07	116	2,5
03-04/10/07	140	2,2
08-09/10/07	128	3,1
10-11/10/07	120	2,7
12-13/11/07	90	3,3
30/11/07 a 03/12/07	89	2,9
07-10/12/07	58	3,7
14-17/12/07	57	3,3
28/12/07 a 02/01/08	119	2,6
11-14/01/08	120	2,7
15-16/01/08	122	2,7
16-17/01/08	105	2,7

Cont.Tabela AN17

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
31/01/08 a 01/02/08	39	2,4
15-18/02/08	94	2,2
28-29/02/08	182	2,8
25-26/03/08	123	2,0
26-27/03/08	118	2,0
31/03/08 a 01/04/08	214	2,4
01-02/04/08	217	2,1
04-07/04/08	73	2,1
07-08/04/08	97	2,2
09-10/04/08	150	2,2
15-16/04/08	84	2,0
16-17/04/08	113	2,3
18-22/04/08	129	2,2
22-23/04/08	125	2,0
30/04/08 a 05/05/08	156	2,0
06-07/05/08	65	1,6
09-12/05/08	174	3,4
12-13/05/08	179	4,0
16-19/05/08	189	2,7
22-26/05/08	179	2,2
30/05/08 a 02/06/08	162	2,5
02-03/06/08	164	2,6
04-05/06/08	242	2,8
05-06/06/08	181	2,9

Tabela AN18: Dados meteorológicos consolidados (média aritmética) na estação Escola em Dias D'Ávila (2008)

Data da coleta	Direção (graus)	Velocidade (m s ⁻¹)
12-13/06/08	132	2,0
20-25/06/08	119	2,1
25-26/06/08	176	2,3
26-27/06/08	212	2,9
27-30/06/08	133	3,1
30/06/08 a 01/07/08	84	2,4
01-03/07/08	193	2,4
04-07/07/08	155	2,6
07-08/07/08	213	2,9
09-10/07/08	145	2,1
10-11/07/08	162	2,8
11-14/07/08	193	3,7
14-15/07/08	189	3,0
18-21/07/08	141	2,4
21-22/07/08	143	3,0
25-29/07/08	148	2,8
29-30/07/08	135	2,4
01-04/08/08	144	2,0
06-07/08/08	141	2,4
11-12/08/08	159	3,0
12-13/08/08	140	2,8
15-18/08/08	151	2,8
01-02/09/08	158	3,1
04-05/09/08	110	2,1
19-22/09/08	118	2,7
25-26/09/08	149	3,4
07-08/10/08	147	3,0
08-09/10/08	157	3,2
09-10/10/08	166	3,5
13-14/10/08	147	3,9
14-15/10/08	139	3,4
24-25/11/08	108	2,3
25-26/11/08	104	2,2
26-27/11/08	89	2,9

Figura AN04: Esquema básico da macro estrutura do Pólo Industrial de Camaçari

