Márcia Inês Martin Silveira Lopes

**Fluxo de água, balanço químico e alterações no
solo da Floresta Atlântica atingida pela poluição
aérea de Cubatão, SP, Brasil**

**Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade de
São Paulo, para a obtenção do
Título de Doutora em Ciências, na
Área de Ecologia.**

Orientador: Professor Doutor Welington Braz Carvalho Delitti

**São Paulo
2001**

Ficha Catalográfica

Lopes, Márcia Inês Martin Silveira

Fluxo de água, balanço químico e alterações no solo da Floresta Atlântica atingida pela poluição aérea de Cubatão, SP, Brasil

188p.

Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia Geral.

1. Ciclos Biogeoquímicos 2. Ciclagem de nutrientes 3. Acidificação do solo I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Ecologia Geral.

Comissão Julgadora

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof. Dr. Wellington B.C. Delitti
Orientador

1964

a Filha: - *veja Pai, o meu nome no Jornal de Piracicaba. Passei em primeiro lugar no exame de admissão.*

o Pai: - *esqueça, você vai casar e ter filhos igual a sua mãe.*

a Mãe: - *estude para não ficar com a barriga no fogão que nem eu.*

1997

o Pai: - *se tem alguém que consegue entrar nesse hospital é a minha filha. Ela é Agrônoma, doutora em Botânica.*

a Filha: - *Pai, sou agrônoma, casei e tive filhas; mas, por favor, não me chame assim pois ainda não sou doutora.*

para Orlando (*in memoriam*) e Nelley, meus pais,
na certeza de que correspondi aos seus ideais,
e

para Roberto, meu marido, Flávia e Roberta, minhas filhas,
que tanto ajudaram a realizar os meus sonhos,

com gratidão, amor e carinho

ofereço.

Para Marli
Amariles
Neuzete
Seu Joaquim
Valdenice
Regina
Marisa
Mirian
Yuri
Patricia
Carla
Cláudia
Mayer
Sieg
Sidney
Rui
Wellington
e
Celeste

companheiros nas escaladas da Serra do Mar

dedico.

Muito Obrigada

Marli, Amariles, Seu Joaquim e Neuzete, pela companhia na subida escaldante da Ultrafértil, nas tardes maravilhosas do Pilões e nas dores de cabeça em Paranapiacaba;

Professor Robert Mayer e Siegfried Liess, pelo trabalho conjunto;

Professor Carlos Tadeu, da ESALQ, pelas análises estatísticas;

Quirino e Mirian, pelas análises químicas;

Wellington, pelo convite ao doutorado e pela orientação;

Regina e Marisa, pelo ombro amigo, pelas leituras e pelo incentivo constante;

Yuri e Cileide, pelas imagens maravilhosas;

Patricia, a “estagiária” preferida, pela correção incansável;

Carlos Rosa, Valdenice, Dorival, Seu Victor e “Sebastian”, pela colaboração amigável;

estagiários Patricia, Carla, Vicente, João Roberto, Izabel, Cristiane e Greicilene, pelo apoio e troca de idéias;

Denise, por oferecer a Seção de Sementes depois do dilúvio na Ecologia;

Mana Margarida, pela capa magnífica;

Instituto de Botânica, em especial à Seção de Ecologia, por todas as facilidades concedidas;

GKSS e CNPq, pelo auxílio financeiro;

Muitíssimo obrigada, também, a Roberto, Flávia e Roberta, Iraci e Ozila e, por fim, à minha cachorra Pituxa.

M.I.M.S.L

“Publiquei o primeiro livro em 1939 e o segundo precisamente vinte e cinco anos depois. Entre “Olha para o Céu, Frederico!” e “O Coronel e o Lobisomem” o mundo mudou de roupa e de penteado. Apareceu o imposto de renda, apareceu Adolf Hitler e o enfarte apareceu. Veio a bomba atômica, veio o transplante. E a lua deixou de ser dos namorados. Sobrevivi a todas essas catástrofes. E agora, não tendo mais o que inventar, inventaram a tal poluição, que é doença própria de máquinas e parafusos. Que mata os verdes da terra e o azul do céu. Esse tempo não foi feito para mim. Um dia não vai haver mais azul, não vai haver mais pássaros e rosas. Vão trocar o sabiá pelo computador. Estou certo que esse monstro, feito de mil astúcias e mil ferrinhos, não leva em consideração o canto do galo nem o brotar das madrugadas. Um mundo assim, primo, não está mais por conta de Deus. Já está agindo por conta própria”.

José Cândido de Carvalho
(Em *O Coronel e o Lobisomem*,
18ª edição, p. xvii)

ÍNDICE

	Página
Resumo.....	xxv
Abstract.....	xxvii
Introdução.....	1
I.1 O ciclo hidrológico em ecossistemas florestais.....	4
I.2 Poluição aérea e seus efeitos no ecossistema.....	6
II Objetivos e Hipóteses.....	13
III Material e Métodos.....	14
III.1 Região de Estudo.....	14
III.1.1 A Serra do Mar na região de Cubatão.....	14
III.1.1.1 Geomorfologia.....	14
III.1.1.2 Solos.....	16
III.1.1.3 Clima.....	19
III.1.1.4 Vegetação.....	22
III.1.2 Descrição das florestas estudadas.....	30
III.1.2.1 Solos.....	31
III.1.2.2 Balanço hídrico.....	40
III.1.2.3 Vegetação.....	45
III.1.2.4 Poluição.....	49
III.2 Métodos.....	52
III.2.1 Amostragem das diversas etapas do ciclo hidrológico.....	52
III.2.2 Análises químicas das amostras de água e limites de detecção.....	64
III.2.3 Balanço de água e de elementos.....	65
III.2.4 Solos.....	66
III.2.5 Análises estatísticas.....	66

	Página
IV Resultados e Discussão.....	67
IV.1 Solos.....	67
IV.1.1 Descrição.....	67
IV.1.2 Textura (granulometria).....	67
IV.1.3 Potencial de água no solo.....	69
IV.1.4 pH.....	70
IV.1.5 Complexo de troca.....	72
IV.1.6 Matéria orgânica, carbono e nitrogênio totais.....	75
IV.1.7 Fósforo e enxofre extraíveis.....	76
IV.1.8 Metais pesados extraíveis.....	77
IV.2 Fluxos de Água.....	80
IV.2.1 Precipitação.....	80
IV.2.2 Balanço hídrico.....	85
IV.2.3 Considerações sobre o modelo de balanço hídrico adotado para as florestas estudadas.....	88
IV.3 Concentrações de elementos.....	91
IV.3.1 Concentrações trimestrais, anuais e análise de perfil.....	91
IV.3.2 Análise de componentes principais.....	127
IV.3.3 Concentrações médias de cátions e ânions.....	133
IV.4 Fluxos de Elementos	144
IV.5 Solo e balanço entre entradas e saídas de elementos no ecossistema	148
 V Considerações finais.....	 158
 VI Conclusões.....	 159
 VII Bibliografia	 161

Índice de tabelas

Número	Página
Tabela III.1. Normais climatológicos de Santos e Paranapiacaba, segundo Setzer (1976).....	20
Tabela III.2. Evapotranspiração efetiva, precipitação pluviométrica e excedente hídrico, em litros por m ² (mm), de Santos, Cubatão e Paranapiacaba	22
Tabela III.3. Parâmetros fitossociológicos de trechos de floresta dos vales dos rios Pilões e Moji, em Cubatão, SP, obtidos por Pompéia (1997).....	26
Tabela III.4. Valores de biomassa aérea e subterrânea das florestas de Cubatão, estimados por métodos indiretos por Pompéia (1997).....	28
Tabela III.5. Características do solo em duas profundidades, nas cotas medianas dos vales dos rios Pilões e Moji, Cubatão, SP.....	34
Tabela III.6. Características químicas do solo na profundidade de 0-10cm, no ano de 1998, nas duas floresta estudadas em Cubatão, SP: Pilões (menos poluída) e Moji (fortemente poluída)	35
Tabela III.7. Características químicas do solo encontradas em 1985 em áreas poluídas na Reserva Biológica de Paranapiacaba.....	37
Tabela III.8. Teores de enxofre inorgânico, extraível no solo mineral, no ano de 1985, em áreas mais e menos poluídas da Reserva Biológica de Paranapiacaba, SP.....	38
Tabela III.9. Entrada anual de enxofre no solo (1985) e estoque de enxofre inorgânico extraível no solo mineral das áreas mais e menos poluídas da Reserva Biológica de Paranapiacaba.....	38
Tabela III.10. Biomassa de raízes no ano de 1997 nos trechos de Floresta Atlântica estudados na região de Cubatão: Pilões (menos poluído), Moji (fortemente poluído) e Paranapiacaba (moderadamente poluído).....	39
Tabela III.11. Índices pluviométricos mensais (mm) registrados ao longo dos quatro anos de estudo (set/91 a ago/95), nos vales dos rios Pilões e Moji, Cubatão e em Paranapiacaba, nas proximidades das três florestas estudadas.	41

Número	Página
Tabela III.12. Valores mensais médios de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), registrados ao longo dos quatro anos de estudo (set/91 a ago/95), pelas estações de monitoramento instaladas nas florestas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	42
Tabela III.13. Valores mensais médios de umidade relativa do ar (%), registrados ao longo dos quatro anos de estudo (set/91 a ago/95), pelas estações de monitoramento instaladas nas florestas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).....	43
Tabela III.14. Médias anuais de temperatura (T) e umidade relativa do ar (U), índices pluviométricos anuais (P), evapotranspiração (ET) e produção hídrica (EXC) anuais, em $\text{L m}^{-2} \text{ano}^{-1}$, registrados nas florestas estudadas, durante o período de investigação.	45
Tabela III.15. Alguns dados fitossociológicos, obtidos por Celeste F. Rebelo e Marie Sugama, dos três trechos de Floresta Atlântica estudados na região de Cubatão: Pilões (menos poluído) Moji (fortemente poluído) e Paranapiacaba (moderadamente poluído).....	46
Tabela III.16. Fluxo de nutrientes pela queda de serapilheira no período que as investigações foram conduzidas (setembro de 1991 a agosto de 1995) nos três ecossistemas florestais estudados na região de Cubatão: Pilões (menos poluído), Moji (fortemente poluído) e Paranapiacaba (moderadamente poluído)	47
Tabela III.17. Decomposição anual das frações foliar e lenhosa da serapilheira no período entre abril de 1994 e março de 1995 nas três florestas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).....	48
Tabela III.18. Concentrações anuais médias de dióxido de enxofre, ozônio e óxidos de nitrogênio e ($\mu\text{g.m}^{-3}$) na atmosfera das florestas estudadas na região de Cubatão, obtidas entre 1991 e 1995, em estações de monitoramento instaladas nas imediações de cada floresta.....	50

Número	Página
Tabela III.19. Métodos analíticos e limites de detecção adotados pela CETESB nas análises químicas das amostras de água (CETESB 1985).....	65
Tabela IV.1. Análise granulométrica e classificação textural dos solos das florestas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).....	68
Tabela IV.2. Valores médios de pH do solo em água e em soluções de KCl (mol L^{-1}) e CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão.....	71
Tabela IV.3. Capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) e cátions trocáveis no solo, em $\mu\text{eq g}^{-1}$ de terra seca, em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão.....	72
Tabela IV.4. Cátions trocáveis extraíveis no solo e valores calculados da soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V) e saturação em alumínio (Al) em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).....	73
Tabela IV.5. Saturação do complexo de troca do solo com H^+ , cátions ácidos Al, Fe e Mn e cátions básicos Na, K, Ca e Mg (em % da CTCe).....	74
Tabela IV.6. Matéria orgânica ativa (MO), carbono (C) e nitrogênio (N) totais e relação C/N em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão.....	76
Tabela IV.7. Teores médios de fósforo (P) e enxofre (S) extraíveis, em mg pôr quilograma de solo mineral, em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão.	77
Tabela IV.8. Conteúdo de metais pesados extraíveis no solo (em mg kg^{-1} de T.F.S.E) em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão.....	78

Número	Página
Tabela IV.9. Precipitação mensal na clareira e sob as copas das árvores e interceptação da chuva pela floresta, em mm, entre setembro de 1991 a agosto de 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	81
Tabela IV.10. Precipitação trimestral média* na clareira e sobcopas, em litros por m ⁻² (mm), durante o período de estudo (set/91-ago/95), nas três florestas investigadas: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).....	83
Tabela IV.11. Precipitação mensal média $\pm$ erro padrão* (n=4) na clareira e sobcopas, em L por m ² (mm), nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).....	85
Tabela IV.12. Modelo de balanço hídrico para as florestas estudadas na região de Cubatão, conforme Mayer et al. (2000b).	87
Tabela IV.13. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de sulfato (SO ₄ -S mg.l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	97
Tabela IV.14. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de nitrato (NO ₃ -N mg.l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	98
Tabela IV.15. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de cloro (Cl ⁻ mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	99

Número	Página
Tabela IV.16. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de flúor (F^- mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	100
Tabela IV.17. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de fosfato (PO_4-P mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	101
Tabela IV.18. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de amônio (NH_4-N mg. l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	102
Tabela IV.19. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de potássio (K mg. l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	103
Tabela IV.20. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de sódio (Na mg. l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	104

Número**Página**

Tabela IV.21. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de magnésio (Mg mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	105
Tabela IV.22. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de cálcio (Ca mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	106
Tabela IV.23. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de alumínio (Al mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	107
Tabela IV.24. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de ferro (Fe mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	108
Tabela IV.25. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de manganês (Mn mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	109

Número**Página**

Tabela IV.26. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de cobre (Cu mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	110
Tabela IV.27. Concentração anual média $\pm$ erro padrão (n=4) de zinco (Zn mg.l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída)	111
Tabela IV.28. Valores anuais médios $\pm$ erro padrão de pH (n=4) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	125
Tabela IV.29. Valores anuais médios $\pm$ erro padrão (n=4) de saturação de cátions ácidos (%) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	126
Tabela IV.30. Resumo dos coeficientes padronizados dos dois primeiros componentes principais (PRIN1 e PRIN2) das concentrações de elementos químicos ¹ no ciclo hidrológico das três florestas estudadas em Cubatão.	128
Tabela IV.31. Concentração média $\pm$ erro padrão de ânions no período de setembro/91 a agosto/95 na água que atravessa as três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	134

Número	Página
Tabela IV.32. Concentração média $\pm$ erro padrão de cátions no período de setembro/91 a agosto/95 na água que atravessa as três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).....	135
Tabela IV.33. Valor médio $\pm$ erro padrão de pH e da porcentagem de saturação de cátions ácidos, no período de setembro/91 a agosto/95, na água que atravessa as três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	137
Tabela IV.34. Fluxo anual de elementos pela precipitação e solução do solo em diferentes profundidades nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	145
Tabela IV.35. Fluxo anual e estoque no solo de elementos solúveis (S, F, P) e trocáveis (K, Ca, Na, Mg e Al) nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída)	154

Índice de figuras

Número	Página
Figura I.1. Fluxodiagrama simplificado dos efeitos acidificantes de algumas transformações do nitrogênio (a) e enxofre (b) no solo (modificado de Freedman 1995).....	9
Figura I.2. Deposição ácida e lixiviação de elementos da folha (modificado de Smith 1990).....	10
Figura I.3. Deposição ácida e lixiviação de elementos do solo (modificado de Smith 1990).....	11
Figura III.1. Mapa da região de estudo mostrando os locais de florestas estudados em Cubatão, SP, a 23°45' – 23°55'S e 46°15' - 46°30'W. PIL – vale do rio Pilões, floresta de referência menos poluída, MOJ – vale do rio Moji, floresta fortemente poluída e PAR – Reserva de Paranapiacaba, floresta de referência moderadamente poluída.	15
Figura III.2. Representação da circulação atmosférica na Serra do Mar, região de Cubatão: A. período diurno; B. período noturno (retirado de Pompéia, 1997)	21
Figura III.3. Modelo adotado para mensuração do fluxo de elementos.....	53
Figura III.4. Pluviômetro utilizado na amostragem da água de chuva: a. Modelo de pluviômetro, b. Pluviômetro em clareira, c. Pluviômetro sob o dossel.	55
Figura III.5 Sistema de amostragem da água do solo: a. lisímetros (à frente) e tensiômetros (ao fundo) enterrados na unidade experimental. b. Frasco âmbar contendo solução do solo dentro de balde plástico enterrado no chão.	57
Figura III.6. Vista da unidade experimental: a. lisímetro (à frente) e dois tensiômetros (ao fundo com tampa preta) enterrados na unidade experimental. b. Conjunto de baldes plásticos contendo frascos com solução do solo ao lado da unidade amostral.	58
Figura III.7 Sistema de obtenção da solução do solo: a. Bomba manual utilizada na aplicação de vácuo nas florestas de Pilões e Moji. b. Sistema elétrico de extração da água do solo e de medição do potencial de umidade do solo instalado em Paranapiacaba.	59

Número	Página
Figura III 8. Modelo de tensiômetros utilizados. a. À esquerda tensiômetro de aferição eletrônica contínua utilizado em Paranapiacaba, à direita tensiômetro de aferição descontínua utilizado em Pilões e Moji. b. Tensiômetro descontínuo enterrado no solo.	62
Figura III.9. Alguns pontos de amostragem a água superficial: a. córrego em Pilões, b. córrego em Moji e c. nascente em Paranapiacaba.....	63
Figura IV.2. Perfil da precipitação (totais trimestrais) na clareira e sobcopas ao longo dos quatro anos (set/91 a ago/95) nas três florestas estudadas em Cubatão.....	84
Figura IV.3. Balanço hídrico de ecossistemas florestais da Serra do Mar. (Cunha, dados de Cicco & Arcova 1999).....	88
Figura IV.4. Perfil das concentrações trimestrais de sulfato ($\text{SO}_4\text{-S mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	92
Figura IV.5. Perfil das concentrações trimestrais de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	93
Figura IV.6. Perfil das concentrações trimestrais de cloreto (Cl mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	94
Figura IV.7. Perfil das concentrações trimestrais de fluoreto (F mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	95

Número	Página
Figura IV.8. Perfil das concentrações trimestrais de fosfato ($\text{PO}_4\text{-P}$ mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	96
Figura IV.9. Perfil das concentrações trimestrais de amônio ($\text{NH}_4\text{-N}$ mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	112
Figura IV.10. Perfil das concentrações trimestrais de potássio (K mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	113
Figura IV.11. Perfil das concentrações trimestrais de sódio (Na mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	114
Figura IV.12. Perfil das concentrações trimestrais de magnésio (Mg mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	115
Figura IV.13. Perfil das concentrações trimestrais de cálcio (Ca mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída)	116

Número**Página**

Figura IV.14. Perfil das concentrações trimestrais de alumínio (AL mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	117
Figura IV.15. Perfil das concentrações trimestrais de ferro (Fe mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	118
Figura IV.16. Perfil das concentrações trimestrais de manganês (Mn mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).....	119
Figura IV.17. Perfil das concentrações trimestrais de cobre (Cu mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	120
Figura IV.18. Perfil das concentrações trimestrais de zinco (Zn mg l ⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	121
Figura IV.19. Perfil dos valores trimestrais de pH na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).	123

Número	Página
Figura IV.20. Perfil da saturação de cátions ácidos na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída)	124
Figura IV.21. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na precipitação em clareira.....	129
Figura IV.22. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na precipitação que atinge o solo (sobcopas).	129
Figura IV.23. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na água do solo a 10 cm de profundidade.	130
Figura IV.24. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na água do solo a 60 cm de profundidade.....	130
Figura IV.25. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na água do solo a 100 cm de profundidade.....	131
Figura IV.26. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na água superficial (nascentes)	131
Figura IV.27. Balanço anual dos fluxos de nitrato em floresta tropicais e temperadas.	149
Figura IV.28. Balanço anual dos fluxos de amônio em florestas tropicais e temperadas.	150
Figura IV.29. Balanço anual dos fluxos de sulfato em floresta tropicais e temperadas	151
Figura IV.30. Balanço anual dos fluxos de alumínio em florestas tropicais e temperadas	152
Figura IV.31. Balanço anual dos fluxos de flúor nas florestas estudadas em Cubatão	153

Índice de anexos

Número	Página
Anexo 1. Concentração trimestral média de sulfato ($\text{SO}_4\text{-S mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	172
Anexo 2. Concentração trimestral média de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	173
Anexo 3. Concentração trimestral média de cloro ($\text{Cl}^- \text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	174
Anexo 4. Concentração trimestral média de flúor ($\text{F}^- \text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	175
Anexo 5. Concentração trimestral média de fósforo ($\text{PO}_4\text{-P mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	176
Anexo 6. Concentração trimestral média de amônio ($\text{NH}_4\text{-N mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	177

Número	Página
Anexo 7. Concentração trimestral média de potássio ($K\text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	178
Anexo 8. Concentração trimestral média de sódio ($Na\text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL= menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	179
Anexo 9. Concentração trimestral média de magnésio ($Mg\text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	180
Anexo 10. Concentração trimestral média de cálcio ($Ca\text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	181
Anexo 11. Concentração trimestral média de alumínio ($Al\text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	182
Anexo 12. Concentração trimestral média de ferro ($Fe\text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	183

Número	Página
Anexo 13. Concentração trimestral média de manganês (Mn mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	184
Anexo 14. Concentração trimestral média de cobre (Cu mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	185
Anexo 15. Concentração trimestral média de zinco (Zn mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	186
Anexo 16. Concentração trimestral média de H^+ na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	187
Anexo 17. Valor trimestral médio de pH na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL=menos poluída), Moji (MOJ=fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR=moderadamente poluída).....	188

FLUXO DE ÁGUA, BALANÇO QUÍMICO E ALTERAÇÕES NO SOLO DA FLORESTA ATLÂNTICA ATINGIDA PELA POLUIÇÃO AÉREA DE CUBATÃO, SP, BRASIL

MÁRCIA INÊS MARTIN SILVEIRA LOPES

Orientador: WELINGTON BRAZ CARVALHO DELITTI

Resumo

Estudaram-se neste trabalho os efeitos da deposição atmosférica sobre o balanço de elementos químicos, analisando-se as entradas e saídas dos elementos através do ciclo hidrológico durante quatro anos (setembro de 1991 a agosto de 1995) na Floresta Atlântica, situada nas vizinhanças do pólo industrial de Cubatão, São Paulo. Por meio de amostragens quinzenais e de determinação da concentração iônica, avaliaram-se, em três florestas diferentemente atingidas pelo impacto da poluição aérea – Pilões-menos poluída, área de referência; Moji-fortemente poluída e Paranapiacaba-moderadamente poluída – os seguintes aspectos: entrada de elementos pela água de chuva; transferência pela água que atravessa a cobertura vegetal e pela solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade; saída e neutralização pela água de nascentes e de pequenos córregos, bem como as alterações químicas no solo induzidas pela deposição atmosférica.

Na área mais poluída (Moji), as concentrações iônicas médias encontradas na precipitação que atinge a floresta e na precipitação que atinge o solo foram, respectivamente: 5 e 10 mg.L⁻¹ para o sulfato-S, 0,5 e 0,7 mg.L⁻¹ para o nitrato, 0,63 e 1,14 mg.L⁻¹ para o fluoreto, 2,2 e 2,8 mg.L⁻¹ para o amônio-N, 0,69 e 2,15 mg.L⁻¹ para o magnésio, 3,1 e 7,7 mg.L⁻¹ para o cálcio. Na floresta de referência, menos poluída (Pilões), as concentrações iônicas foram em média, 1/3 a 1/9 inferior a esses valores, refletindo claramente as diferenças nas cargas poluidoras que atingem cada floresta.

Verificou-se que a composição química da solução do solo muda completamente com a infiltração da água. As concentrações de nitrato aumentaram de 3 a 22 vezes com a infiltração da água nos primeiros 10cm de solo do Pilões e Moji, respectivamente, valores estes bastante expressivos. Em menor proporção, isso também foi observado para o sulfato e cloreto.

As mudanças nas concentrações dos elementos durante a passagem da água pelo ecossistema são explicadas pelas reações químicas que ocorrem nos diferentes compartimentos. Assim, nas florestas mais poluídas (Moji e Paranapiacaba) elas são caracterizadas pela retenção praticamente total do amônio, e parcial do sulfato, nas camadas superficiais do solo, pela liberação do alumínio dos minerais do solo e pela lixiviação extremamente alta de nitrato em consequência do processo de nitrificação da matéria orgânica.

A deposição atmosférica nas florestas investigadas é bastante elevada e variável. Entram anualmente no solo, pela precipitação: de 122 a 255 kg.ha⁻¹ de enxofre na forma de sulfato; de 7 a 70 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, principalmente na forma de amônio; e de 4 a 28 kg.ha⁻¹ de fluoreto. Com a entrada de amônio e de nitrogênio orgânico no sistema, reações de nitrificação ocorrem na camada superficial do solo, principalmente das áreas mais atingidas pela poluição. Na floresta mais poluída (Moji), a saída de nitrato pela água do solo a 100cm de profundidade chega anualmente a 271 kg de N por hectare, enquanto a saída de enxofre alcança o valor de 386 kg de S por hectare, anualmente. A acidificação do solo em decorrência da entrada e transferência de nitrogênio e enxofre provoca a liberação de alumínio dos minerais do solo e a lixiviação de formas iônicas (mais de 240 kg de Al por ha anualmente). A transferência de íons alumínio para o lençol freático e para águas de nascentes e córregos acarreta um problema ecológico sério, pois esses íons consomem a alcalinidade e a água fica sujeita a acidificação.

WATER FLUX, CHEMICAL BALANCE AND SOIL CHANGES IN THE
ATLANTIC FOREST REACHED BY AIR POLLUTION FROM
CUBATÃO, SÃO PAULO, SP, BRAZIL

MÁRCIA INÊS MARTIN SILVEIRA LOPES

Tutor: WELINGTON BRAZ CARVALHO DELITTI

Abstract

The effects of atmospheric deposition upon element balance (input and output) and turnover through the hydrological cycle have been investigated from September 1991 to August 1995 (four years), in the vicinity of the industrial complex of Cubatão, State of São Paulo, Brazil. The aim was to assess atmospheric deposition and fluxes through precipitation, soil water at 10cm, 60cm and 100cm depths, and surface water as well as to investigate possible soil changes induced by atmospheric deposition. Three sites were chosen which differed significantly with respect to pollution impact: Pilões (reference site, less polluted), Moji (most polluted) and Paranapiacaba (mildly polluted).

Annual averages of ionic concentrations in precipitation found in open field and below the tree canopy amounted to 5 and 10 mg.L⁻¹, respectively, for sulfate-S, 0.5 and 0.7 mg.L⁻¹ for nitrate, 0.63 and 1.14 mg.L⁻¹ for fluoride, 2.2 and 2.8 mg.L⁻¹ for ammonium-N, 0.69 and 2.15 mg.L⁻¹ for Mg, and 3.1 and 7.7 mg.L⁻¹ for Ca at the most polluted site (Moji). The relatively "clean" reference site (Pilões) attained 1/3 to 1/9 of these averages, thus clearly reflecting the difference in air pollution load.

Chemical composition in the liquid phase is completely changed when precipitation infiltrates the soil profile. Nitrate concentration increases by the factor 3 to 22. A clear increase is also found for sulfate and chloride. Concentration changes during ecosystem passage of seepage are interpreted in relation to chemical reactions taking place in different compartments. They are characterized by an almost complete retention of ammonium and some retention of sulfate in the upper soil layers, and at the most polluted site by mobilization of Al from soil minerals and very high leaching of nitrate as a consequence of nitrification of organic matter.

The forests under investigation are characterized by a very high input from the atmosphere. Between 122 and 255 kg S per hectare are annually carried into soil by precipitation in the form of sulfate, 7 to 70 kg of nitrogen mainly in the form of ammonium, 4 to 28 kg of fluoride. Input of ammonium and organic bound nitrogen is followed by nitrification in the topsoil. At the most polluted site (Moji), nitrate output with seepage amounts to 271 kg N per ha and year, sulfate output to more than 386 kg S. Soil acidification associated with turnover of sulfur and nitrogen is followed by the release of aluminum from soil minerals, and leaching of ionic forms of Al (up to 240 kg Al per hectare annually). Transfer of aluminum ions to groundwater and surface water can have serious ecological effects. Alkalinity is consumed, and the water is subject to acidification.

I. INTRODUÇÃO

Diferentemente do que se pode observar nos países do Hemisfério Norte, nos quais a tradição de pesquisa sobre os efeitos da poluição do ar em florestas remonta ao início do século XX, os estudos relativos ao impacto da poluição atmosférica em ambientes tropicais constituem um campo recente e ainda pouco explorado. No Brasil, a poluição atmosférica passou a constituir um novo fator de degradação da vegetação a partir da 1960, com o forte impulso de industrialização do país e o surgimento de grandes centros urbanos (Pompéia 1997).

Dentre todos os locais sujeitos à poluição atmosférica no país, a região da Serra do Mar, situada em torno do pólo industrial de Cubatão, no Estado de São Paulo, é, sem dúvida, a que sofreu os maiores impactos, tornando-se o primeiro grande laboratório natural para a investigação dos efeitos da poluição sobre a floresta tropical úmida (Pompéia 2000). Mesmo após a implantação de sistemas de controle da poluição do ar, ainda se observam (1997) emissões elevadas de poeiras ($56.000 \text{ t.ano}^{-1}$), SO_2 ($41.000 \text{ t.ano}^{-1}$) e NO_x (8.000 t.ano^{-1}) na atmosfera, além de outros poluentes fitotóxicos, como a amônia anidra e os fluoretos gasosos, (ambos com 113 t.ano^{-1}), que provocam a acidificação dos solos (CETESB 1998).

O grande problema ambiental de Cubatão levou à realização de um projeto integrado, desenvolvido por pesquisadores do Brasil e da Alemanha, entre 1990 e 1996, para estudar a real situação dessa área. Entre os países europeus, a Alemanha é um dos que mais se destaca na avaliação dos impactos da poluição aérea em florestas. A larga experiência acumulada por seus pesquisadores no monitoramento das alterações ocasionadas pela poluição, principalmente aquelas induzidas no solo florestal, foi trazida ao Brasil, por meio do desenvolvimento do referido projeto, intitulado *Air pollution and vegetation damage in the tropics – The Serra do Mar as an example*.

O projeto foi realizado como parte do Programa SHIFT (*Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics*), envolvendo no seu desenvolvimento diversas instituições científicas brasileiras e alemãs. Seus objetivos principais foram: estabelecer um nível básico de conhecimentos sobre dispersão, transformação e deposição de poluentes aéreos na região do complexo industrial de Cubatão e delimitar os danos e os riscos a que estão submetidos o solo e a vegetação e na Serra do Mar. Para alcançar tais objetivos, os trabalhos foram organizados em quatro módulos de trabalho: “Circulação Atmosférica e Transporte de Massa”, “Química”, “Solo” e “Vegetação” (Targa & Klockow 1997).

Diversas pesquisas, em vários níveis de organização biológica, conforme se mostra no Quadro I.1, foram então desenvolvidas em Cubatão, tanto ao longo do projeto Brasil/Alemanha como posteriormente, enfocando sobretudo os efeitos da poluição sobre a comunidade de plantas ou sobre algumas espécies arbóreas.

Quadro I.1 Pesquisas realizadas na última década na Serra do Mar, região de Cubatão, São Paulo

Nível	Pesquisa	Referência
Paisagem	Fotointerpretação	Bragança et al. 1987
Ecossistema	Fitossociologia Ciclagem de nutrientes	Leitão-Filho et al. 1993 Domingos et al. 1990, 1995, 2000; Lopes et al. 1990, 1993; Mayer & Lopes 1997; Mayer et al. 2000 a,b; Pompéia 1997
Espécie	Alterações anatômicas Concentração de flúor Concentração de enxofre Herbivoria Fotossíntese Biomonitoramento ativo e passivo/alterações químicas, fisiológicas e bioquímicas Crescimento de <i>Euterpe edulis</i> /alterações químicas	Segala-Alves 1995; Mazzoni-Viveiros 1996 Fialho 1998 Szabo 1998 Furlan 1998; Furlan et al. 1999 Pradella 1997; Moraes 1999; Moraes et al. 2000 a,b Gutberlet 1996; Pompéia 1997; Domingos 1998; Domingos et al. 1998; Klumpp et al. 1994, 1995, 1996 a,b, 1997, 1998, 2000 a,b Bulbovas 2000

Alguns dos estudos do projeto Brasil/Alemanha que visaram estabelecer os impactos da poluição aérea no ecossistema foram desenvolvidos dentro do módulo de Solo por pesquisadores alemães provenientes da Universidade de Kassel e por pesquisadores brasileiros do Instituto de Botânica. No presente trabalho, será apresentada parte dos resultados obtidos nessas pesquisas.

Pretende-se, no presente estudo, mostrar detalhadamente, e de maneira mais completa do que já foi feito até o momento, a dinâmica de elementos minerais em florestas preservadas e impactadas, informação básica para compreender outras alterações decorrentes da poluição ambiental. Serão abordados também a circulação de elementos minerais originários da poluição aérea no ecossistema e as alterações que ela provoca, como a acidificação do solo e suas conseqüências sobre o sistema solo-planta. Finalmente, seria interessante responder quais seriam os efeitos da poluição sobre o solo e a vegetação das encostas da Serra do Mar. A chuva é ácida ou provoca acidificação? Quais seriam seus efeitos sobre a acidificação natural dos solos na região?

Já é bem descrito para as regiões temperadas que a deposição ácida tem sido responsável pela acidificação e lixiviação de nutrientes do solo e pela solubilização de elementos tóxicos, como alumínio e metais (Smith 1990, Ulrich 1989). Nessas condições, o solo perde a capacidade de neutralizar o impacto dos poluentes sobre a vegetação, provocando alterações no balanço nutricional das plantas, como foi descrito, por exemplo, em Domingos (1998), para a região de Cubatão. Para as regiões tropicais, onde o solo é normalmente ácido e pobre em nutrientes, supõem-se que os efeitos deletérios da poluição área sejam muito mais intensos.

Assim sendo e considerando que a água é o principal veículo de circulação dos elementos minerais nos ecossistemas, objetivou-se neste trabalho avaliar detalhadamente o fluxo e o balanço de elementos minerais na etapa atmosfera-planta-solo e seus efeitos sobre o estado químico do solo em ecossistemas florestais sob a influência dos poluentes aéreos na região de Cubatão.

I.1 O Ciclo Hidrológico em Ecossistemas Florestais

A transferência dos nutrientes no sistema solo-planta é dependente do ciclo da água, que afeta sua disponibilidade e movimento. A água (solvente universal) que entra no ecossistema depende do regime de chuvas e carrega elementos provenientes da atmosfera. Uma parte dessa água é inicialmente retida pelas folhas da vegetação, podendo evaporar-se em função da temperatura, da radiação solar e do vento, ou ser absorvida pela folhagem e pela flora epífita. Outra parte chega ao solo após ter lavado as copas e troncos, podendo escorrer sobre a superfície do solo ou infiltrar-se. Quando a água infiltrada ultrapassa a capacidade de retenção do solo, passa para o lençol freático, saindo do sistema solo-planta. A água armazenada no solo, que é função de suas características texturais (granulométricas) e estruturais, representa a reserva energética e nutricional para o desenvolvimento das plantas. Uma vez absorvida pelas plantas através das raízes, a água se difunde pelos tecidos vegetais e passa à atmosfera sob a forma de vapor d'água, através da transpiração (Reichardt 1985, Klar 1988).

Assim, a maioria dos aspectos referentes à circulação de elementos minerais no ecossistema tem estreita ligação com a dinâmica do ciclo hidrológico. As entradas e saídas de nutrientes estão diretamente relacionadas com a quantidade de água que penetra e deixa o ecossistema.

A rigor, as entradas e saídas de elementos nos ecossistemas florestais podem ser derivadas de três fontes principais: geológicas, meteorológicas e biológicas. As geológicas compõem-se de materiais particulados ou dissolvidos que podem ser conduzidos para dentro ou para fora de um sistema através da movimentação das águas, da ação coluvial ou de ambas. As meteorológicas são entradas e saídas provenientes da atmosfera, compostas pelos materiais gasosos particulados ou dissolvidos na precipitação, poeiras em suspensão e outros materiais transportados pelos ventos. Nessa categoria é incluída a entrada de compostos químicos como o nitrogênio, cuja fixação se desenvolve a partir da atividade biológica. Os incrementos e perdas biológicas são resultantes da atividade animal, inclusive a do homem, e ocorrem principalmente através da deposição de materiais (Faure 1998).

O balanço entre as entradas e saídas de elementos minerais em um ecossistema pode ser positivo ou negativo, ou seja, os nutrientes podem estar se acumulando ou o sistema pode estar sofrendo um processo de perda (Jordan 1985). A acumulação de elementos na porção biótica do ecossistema ocorre, freqüentemente, como resultado de processos sucessionais. Há uma tendência para o aumento gradativo da ciclagem, a medida que a quantidade de biomassa no sistema vai aumentando. Um balanço positivo pode ser indicação de que o processo sucessional ainda está ocorrendo, enquanto um balanço levemente negativo pode representar a taxa normal de perdas da paisagem (Likens & Borman 1967, Likens et al. 1996). No caso de um grande déficit pode estar ocorrendo uma ruptura dos processos normais do ecossistema, devido a agentes estressores (Likens et al. 1970).

Ao longo dos últimos 25 anos, diversos trabalhos foram realizados no Brasil enfocando aspectos quantitativos das transferências de nutrientes entre os diferentes compartimentos de ecossistemas florestais. Entretanto, poucos foram os estudos que apresentaram o balanço entre as entradas e saídas de elementos no sistema solo-planta, via ciclo hidrológico. Destacam-se nesse particular apenas os trabalhos

desenvolvidos em Campo Cerrado de Mogi-Guaçu, São Paulo (Pompéia 1989); em Floresta Atlântica poluída na região de Cubatão (Leitão-Filho et al. 1993); e em floresta secundária de Igarapé Açu, no Pará (Holscher 1995). Devido a uma série de dificuldades metodológicas, amostrais, financeiras, dentre outras, esses autores estabeleceram o balanço entre entradas e saídas de nutrientes baseando-se em um ano de amostragens. Em regiões temperadas, os ecossistemas são monitorados continuamente e o balanço de elementos é estabelecido com base em muitos anos de investigação, detalhamento inexistente em nosso país, mas que é importante para detectar tendências ou flutuações ao longo do tempo.

I.2 Poluição Aérea e seus Efeitos no Ecossistema

Do ponto de vista florestal, poluição aérea é aquela na qual os poluentes ocorrem em concentrações altas o suficiente para causar injúrias às árvores e restrições ao crescimento normal da floresta (Lima 1980).

Smith (1990) dividiu a interação entre poluição e ecossistemas florestais em três classes. Na classe I, em que as florestas estão expostas a baixas doses de poluentes, a vegetação e o solo desempenham importante papel na retenção dos contaminantes. Nesse caso, o efeito no ecossistema pode não ser detectável ou até mesmo pode ser estimulante devido a uma leve fertilização.

Na classe II, em que as florestas estão expostas a doses moderadas de poluentes, as diferentes espécies e mesmo as árvores individualmente são afetadas pela poluição. Nessa classe ocorrem, por exemplo, alterações na ciclagem de nutrientes devido à redução na decomposição da serapilheira, diminuição na absorção de nutrientes, aumento na lixiviação de elementos da planta e do solo, aumento na intemperização dos minerais e distúrbios nos microorganismos simbióticos; há ainda inibição da reprodução das plantas, decréscimo da fotossíntese e aumento da respiração e da predisposição ao ataque de pragas e

doenças. Aqui, os efeitos no ecossistema são a redução de produtividade e biomassa, e alteração na composição de espécies ou na estrutura da comunidade (Smith 1990).

Por fim, na classe III, as florestas estão expostas a altas concentrações de poluentes que induzem a aparição de sintomas agudos, podendo sobrevir a morte das plantas. Nesse caso, o impacto no ecossistema é grande, ocorrendo mudanças drásticas na composição de espécies, erosão, perda de nutrientes, alterações no balanço de energia e da ciclagem biogeoquímica, mudanças microclimáticas e hidrológicas e, finalmente, a simplificação geral e a destruição da floresta (Smith 1990).

Os poluentes aéreos são classificados em três grupos: nutrientes (Ca, Mg, NH_4 , NO_3), ácidos (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl) e tóxicos (SO_2 , HF, metais pesados, compostos orgânicos). Em consequência da entrada desses poluentes nos ecossistemas florestais, observa-se primeiramente uma fase de acumulação dos poluentes, seguida por uma fase de desestabilização e, finalmente, por uma etapa de sucessão. Na primeira fase, devido à acumulação de nutrientes, especialmente de nitrogênio, o crescimento da floresta aumenta (Ulrich & Pankrath 1983, Ulrich 1983, 1987, 1989).

Na fase de desestabilização, as raízes são irreversivelmente danificadas. A solução do solo contém toxinas como alumínio, íons metálicos, toxinas orgânicas, como fenóis, e H_2S em condições de redução. A toxidez de alumínio e metais pesados ocorre após a lixiviação de cálcio e magnésio e a acumulação de ácidos de íons metálicos (Al, Fe e Mn) e orgânicos no solo. Nessas condições, a saturação de cálcio no solo é menor que 5% e a relação molar Ca/Al na solução do solo e nas raízes é menor que 1. A desestabilização inicia-se com danos às bactérias decompositoras, devido à toxidez do alumínio. Desequilíbrios na ciclagem iônica e injúrias aos decompositores acarretam a produção interna de ácidos e o aparecimento de substâncias orgânicas, dissolvidas na solução do solo. Nesse

estágio, o ecossistema pode ainda ser estável, mas não por muito tempo. Os efeitos mais severos ocorrem após anos secos associados ao aumento da acidificação na zona radicular de camadas mais profundas de solo e ao decréscimo da matéria orgânica dissolvida na solução do solo (Ulrich & Pankrath 1983, Ulrich 1983, 1987, 1989).

A deposição ácida e a acidificação do solo são atualmente os dois fatores mais importantes associados à poluição ambiental em regiões industrializadas (Rodhe & Herrera 1988, Freedman 1995, Likens et al. 1996). Em condições naturais a acidificação do solo é determinada principalmente pela produção de ácidos orgânicos, pela dissociação do ácido carbônico (H_2CO_3) e pela absorção de cátions pelas plantas. Entradas elevadas de íons acidificantes da atmosfera (H^+ , NH_4^+) podem acelerar a acidificação do solo e alterar a ciclagem biogeoquímica do ecossistema. Em áreas fortemente atingidas por deposição ácida, os principais processos envolvidos na acidificação do solo são o aumento na produção de prótons (H^+), na absorção de NH_4^+ pelas plantas, da nitrificação do NH_4^+ e da lixiviação do NO_3^- e SO_4^{2-} para fora da zona radicular (Freedman 1995, Merino et al. 2000).

Os prótons são consumidos em várias reações de tamponamento dentro do solo, que envolvem tanto a solubilização de cátions básicos e alumínio como a retenção de ânions (SO_4^{2-} , NO_3^- e ácidos orgânicos). A ocorrência dessas reações depende principalmente das propriedades do solo e das condições ambientais, e a influência de uma ou outra nos processos de acidificação varia bastante entre os diferentes tipos de solo. Além disso, os mecanismos de tamponamento da acidez do solo podem, por exemplo, aumentar a capacidade de retenção do sulfato ou ainda as taxas de intemperização dos silicatos (Ulrich 1983, 1987, 1989).

Os efeitos acidificantes de algumas transformações do nitrogênio e do enxofre no solo, conforme Freedman 1995, são apresentados na Figura I.1.

(a) transformações do nitrogênio

(b) transformações do enxofre

Figura I.1. Fluxodiagrama simplificado dos efeitos acidificantes de algumas transformações do nitrogênio (a) e do enxofre (b) no solo (modificado de Freedman 1995).

A deposição ácida pode provocar a lixiviação de elementos da vegetação (Figura I.2). A lixiviação de elementos das folhas pode, por exemplo, resultar da deposição de ácido nítrico. Os íons hidrogênio do ácido nítrico deslocam cátions nutrientes dos sítios de troca da parede celular. Os íons nitrato do ácido, se não absorvidos pelas folhas ou microorganismos, estão disponíveis para se combinar com o potássio e remover esse nutriente da folha. Se os íons potássio não forem repostos pelas raízes, as árvores podem vir a sofrer deficiência desse nutriente (Smith 1990).

Figura I.2. Deposição ácida e lixiviação de elementos da folha (modificado de Smith 1990).

A lixiviação de elementos do solo pode, por sua vez, resultar da deposição (entrada) de ácido sulfúrico. (Figura I.3). Os íons hidrogênio, liberados do ácido, deslocam cátions nutrientes dos sítios de troca da matéria orgânica ou da argila. Os íons sulfato do ácido sulfúrico, se não utilizados pela biota do solo ou se não adsorvidos aos óxidos de ferro alumínio, podem se combinar com o cálcio e remover esse nutriente para fora da zona radicular. Se uma quantidade suficiente de íons cálcio não for reposta pela decomposição ou intemperização, as plantas podem vir a sofrer falta desse nutriente (Smith 1990).

Figura I.3. Deposição ácida e lixiviação de elementos do solo (modificado de Smith 1990).

Nota-se, portanto, que a interação dos poluentes com os ecossistemas constitui-se como um conjunto de processos interrelacionados e deve ser analisada sob diferentes pontos de vista e em diferentes níveis de organização. Por esse motivo, a análise integrada dos ciclos de biogeoquímicos e as taxas de transferências de elementos constitui em etapa fundamental para o esclarecimento dos efeitos dos poluentes sobre a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas. No Brasil, os estudos desse tipo são extremamente escassos, e a obtenção de dados científicos suficientes é uma meta muito distante, pois mesmo na Europa e na América do Norte essas questões ainda estão por ser respondidas, após mais de vinte anos de estudos intensivos (Bussotti & Ferretti 1999).

A Serra do Mar apresenta diversas características de regiões tropicais. Predominam nela solos formados a partir de rochas ácidas e que são naturalmente ácidos e pobres em nutrientes. Além disso, o clima na Serra do Mar registra altos índices de chuva e temperatura e umidade elevadas, que convivem em atrito constante com o relevo montanhoso, intensificando a intemperização física e química do solo. Nessas condições, os efeitos da deposição ácida por ação antrópica sobre a acidificação dos solos da região devem ser mais intensos do que nas regiões temperadas, para as quais o fenômeno já é bem descrito.

Desse modo, os conhecimentos gerados nos estudos realizados na Europa e nos Estados Unidos não podem servir como base para o entendimento das alterações causadas pela acidificação nas florestas tropicais, o que justifica a apresentação do presente trabalho.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESES

Nesse trabalho pretendeu-se esclarecer alguns tópicos relacionados aos efeitos dos poluentes aéreos sobre a Floresta Atlântica da região de Cubatão, que, em conjunto com os demais trabalhos já realizados, poderão contribuir para o esclarecimento deste tema tão importante para o gerenciamento de áreas submetidas a impactos antrópicos.

Os objetivos específicos dessa pesquisa foram:

- Quantificar o fluxo de elementos através do ciclo hidrológico, na fase atmosfera-planta-solo;
- Estabelecer o balanço entre entradas e saídas do sistema para todos os elementos importantes ao ecossistema;
- Estimar a contribuição dos poluentes atmosféricos na acidificação do solo;
- Inferir sobre as alterações no solo provocadas pela deposição atmosférica.

O estudo foi proposto considerando a hipótese de que os níveis atuais de poluentes atmosféricos na região de Cubatão, em São Paulo, variáveis ao longo do ano, podem causar efeitos diferenciais no fluxo e balanço de elementos minerais da água que atravessa a Floresta Atlântica na região de Cubatão, e que esses efeitos acarretam alterações químicas no solo e, em consequência, a acidificação do solo e das águas de superfície e de nascentes.

III. MATERIAL E MÉTODOS

III.1 Região de Estudo

III.1.1 Serra do Mar na Região de Cubatão

As características gerais da Serra do Mar, na região de Cubatão já foram exaustivamente apresentadas em Leitão-Filho et al. (1993), Pompéia (1997), Domingos (1998), Furlan (1998), Moraes (1999), Szabo (1999), Bulbovas (2000). Assim, será apresentada uma descrição dos aspectos gerais da área, detalhando mais os aspectos menos abordados.

III.1.1.1 Geomorfologia

A área de estudo situa-se nas escarpas da Serra do Mar (no Parque Estadual da Serra do Mar), nas proximidades do Trópico de Capricórnio, entre as longitudes 46° 15' e 46° 30'W e as latitudes 23° 45'e 23° 55'S, abrangendo parte dos municípios de Cubatão, São Vicente e Santo André, SP. A região compreende uma estreita planície litorânea, onde fica o complexo industrial de Cubatão, e estende-se pelas encostas, de grande declividade da Serra do Mar, alcançando seu platô a cerca de 800m de altitude (Figura III.1).

Genericamente é ocupada por formações geológicas das fases Pré-Carbonífero (série Paraná e Embasamento), Holoceno e formação Cenozóica indiscriminada. Apresenta embasamento cristalino composto, predominantemente, por granitos e gnaisses, encontrando-se também filitos, micaxistos e quartzitos (Brasil 1960).

Figura III.1. Mapa da região de estudo mostrando os locais de florestas estudados em Cubatão, SP, a $23^{\circ}45' - 23^{\circ}55'S$ e $46^{\circ}15' - 46^{\circ}30'W$. **PIL** – vale do rio Pilões, floresta de referência menos poluída, **MOJ** – vale do rio Moji, floresta fortemente poluída e **PAR** – Reserva de Paranapiacaba, floresta de referência moderadamente poluída.

III.1.1.2 Solos

As encostas íngremes da Serra do Mar são recobertas por solos ora mais profundos (Latossolos vermelho amarelo), ora mais rasos e sub-rochosos (Litossolo) que dão sustentação à exuberante floresta pluvial tropical de encosta, denominada Mata Atlântica (SMA 1990).

No levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo, em sua carta de solos publicada por Brasil (1960), é apontada para a região de Cubatão a ocorrência das seguintes unidades taxonômicas: Latossolo Vermelho-Amarelo fase rasa, Solos de Campos do Jordão, Podzol Hidromórfico, Litossolo fase Substrato Granito-Gnaiss e Solos Aluviais.

No levantamento dos principais solos da Baixada Santista, Queiroz Neto & Küpper (1965) descrevem a ocorrência de alguns tipos. Nas porções superiores do relevo predomina a associação de Latossolo Vermelho-Amarelo e Litossolo Granito-Gnaiss; nas baixas vertentes, acompanhando o vale dos rios principais que descem a Serra, os solos de Aluvião não argilosos e uma associação de Aluvião argiloso e Glei pouco húmico.

Na bacia do Ribeirão do Leme, afluente do rio Cubatão, predominam nas posições superiores da bacia, o Latossolo Vermelho-Amarelo; nas intermediárias, o Litossolo fase Substrato Granito-Gnaiss e, acompanhando o trajeto dos rios principais, os solos Aluviais (Domingues & Pfeifer 1985).

O Radambrasil (1983), no levantamento exploratório da Serra do Mar, utilizando imagens de radar, classifica os solos da região de Cubatão como sendo Cambissolo Álico, Podzol Hidromórfico e Solonchak Sódico.

Em 1987, Rossi & Pfeifer (1991a), realizando o levantamento de reconhecimentos dos solos do Parque Estadual da Serra do Mar, separaram oito associações de solos na área de Cubatão, sendo as principais unidades taxonômicas constituídas pelo: Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Litossolo, Aluvial, Gley, Orgânico e Solos Indiscriminados de Mangue.

Resumindo, os solos predominantes na região de Cubatão são: Cambissolos, em formação e pouco profundos; Latossolos, desenvolvidos e com boa drenagem interna; Litossolos, rasos com menos de 0,40 metros de profundidade; e Podzólicos, compostos por horizonte B textural mais argiloso e um horizonte superficial com menor teor de argila. Esses solos são encontrados em associações com maior ou menor participação de cada um dos tipos mencionados (Rossi & Pfeifer 1991b).

As principais características dos solos da região de Cubatão, segundo Rossi & Pfeifer (1991a,b), são descritas a seguir:

- Latossolo Vermelho-Amarelo: solos minerais, não hidromórficos com horizonte B latossólico, apresentando relação molecular K_i baixa, inferior a 1,9, de coloração variando do vermelho ao amarelo. Os solos de textura argilosa apresentam teores de Fe_2O_3 no horizonte B inferiores a 9%. São normalmente muito profundos ou profundos, com seqüência de horizontes A, B e C e bem drenados. O tipo de horizonte A predominante é o moderado. Em sua maior parte são álicos, ou seja, com percentagem de saturação por alumínio superior a 50%. Apresentam avançado estágio de intemperismo com predominância de minerais de argila do tipo 1:1, baixa quantidade de minerais primários e baixa reserva de elementos nutritivos para as plantas. A relação silte/argila é menor do que 0,70 e o grau de flocculação é normalmente igual ou próximo a 100%, refletindo o alto grau de agregação dos colóides. Ocorrem em relevo fortemente ondulado à montanhoso. As unidades encontradas no levantamento apresentam horizonte A moderado e proeminente. Os perfis apresentam profundidades entre 0,71 a 1,62 metros. A textura varia de franco argilosa a argilosa, com relação silte/argila no horizonte B entre 0,32 a 1,14, indicando solos mais intemperizados. A saturação em bases mostra valores muito baixos tanto no horizonte A quanto no B, indicando solos potencialmente fracos. A saturação em Al^{3+} indica que são solos álicos, com valores entre 63 a 97% no horizonte A e de 72 a 95% no horizonte B. Esses solos são observados em relevos ondulados e montanhosos (Rossi & Pfeifer 1991 a, b).

- Podzólico Vermelho-Amarelo: solos minerais com horizonte B textural não hidromórficos, normalmente com argila de baixa atividade, profundos e com seqüência de horizontes A, B e C. São moderadamente a bem drenados. Na área de Cubatão esses solos apresentam A moderado, e horizonte B bruno-amarelado ou mais vermelho. As classes texturais no horizonte B variam de franco argilo-arenoso a franco argiloso com teores de argila de 29 a 33%. A relação silte/argila encontrada varia de 0,4 a 0,94. São solos álicos com valores da saturação por alumínio variando no horizonte A de 69 a 78% e no B de 79 a 85%. O incremento de argila do horizonte A para o B alcança relação textural B/A de 2,1 a 2,34. Esses solos estão situados em áreas de relevo montanhoso (Rossi & Pfeifer 1991 a, b).

- Cambissolo: solos minerais com horizonte B câmbico ou incipiente, não hidromórficos e com pouca diferenciação de textura do horizonte A para o B. São solos com certo grau de evolução, porém não suficientes para meteorizar completamente minerais primários. São de fácil intemperização, com feldspatos, micas e outros. Não possuem acumulação significativa de óxido de ferro, húmus e argilas que permitam identificá-los como B textural ou B podzol. Muitas vezes, apresentam características similares aos solos com B latossólico, mas se diferenciam por serem menos evoluídos e menos profundos, com minerais primários de fácil intemperização, atividade de argila normalmente superior a do latossolos e/ou presença de relação silte/argila mais elevada. Normalmente, apresentam atividade de argila sempre baixa, em geral superior a 13 meq/100g de argila. O Ki está em torno de 2 e a relação silte/argila superior a 0,7. A seqüência de horizontes é A, (B) ou Bi, C. A textura é argilosa a média e com boa a moderada drenagem. Na maioria são álicos e distróficos. Ocorrem nas regiões serranas, em relevo montanhoso, forte ondulado e escarpado. As unidades mapeadas apresentam perfis com profundidade variando de 0,6 a 1,50 metros. A textura varia de franco, franco argilo-arenoso e franco argiloso, com relação silte/argila no horizonte B variando de 0,61 a 5,43, indicando solos menos intemperizados ou em formação. A saturação em bases mostra valores muito baixos, tanto no horizonte A quanto B (2 a 14%), indicando solos

potencialmente fracos. A saturação por alumínio indica que os solos são álicos com valores variando de 80 a 95% no horizonte A e de 65 a 94% no horizonte B. Esses solos podem ser observados em relevos suavemente ondulado, ondulado e montanhoso (Rossi & Pfeifer 1991 a, b).

III.1.1.3 Clima

O clima da região varia de temperado super úmido, sem estação seca no alto da serra, em Paranapiacaba, a 820m de altitude, a tropical super úmido, sem período de estiagem ao longo do ano, em Santos, ao nível do mar (Setzer 1976). Nos vales dos rios Pilões e Moji as temperaturas médias são próximas às de Santos e a pluviosidade é intermediária entre a registrada nessas duas estações meteorológicas (Pompéia 1997). Os normais climatológicos de Santos e Paranapiacaba são apresentados na Tabela III.1.

Na Figura III.2 esta representada, de forma simplificada, a circulação atmosférica na região de Cubatão. Durante o dia (Figura III.2.A), com predominância dos ventos no sentido mar-continente, os poluentes emitidos no polo industrial são carregados encosta acima, afetando principalmente os vales dos rios Moji e Perequê e as encostas próximas ao Caminho do Mar e à Paranapiacaba. No período noturno (Figura III.2.B), há inversão do sentido dos ventos e os poluentes são carregados no sentido do oceano, havendo maior dispersão, uma vez que não há o paredão da serra como barreira (Pompéia 1997).

Tabela III.1. Normais climatológicos de Santos e Paranapiacaba, segundo Setzer (1976)

Parâmetros climáticos		Santos	Paranapiacaba
Precipitação anual (P)		2245mm	3300mm
Temperatura média	anual	22,0°C	17,6°C
	mês mais quente	25,3°C	21,0°C
	mês mais frio	18,6°C	13,8°C
Umidade relativa média	anual	85%	90%
	mês mais úmido	86%	92%
	mês mais seco	83%	86%
Evapotranspiração potencial	Thornthwaite	1072mm	809mm
Evapotranspiração efetiva (Ee)		841mm	518mm
Umidade do clima	P/Ee	2,67	6,37
	índice da efetividade da precipitação *	476	937
Velocidade média do vento	anual	7,5km/h	6,2km/h
	mês de máxima	9,0km/h	8 km/h
Tipo de clima		Super úmido tropical sem estação seca	Super úmido temperado sem estação seca

*excedente hídrico efetivo

Figura III.2. Representação da circulação atmosférica na Serra do Mar, região de Cubatão: A. período diurno; B. período noturno (retirado de Pompéia, 1997).

A Tabela III.2 apresenta os valores mensais e anuais de evapotranspiração e excedente hídrico para Santos, Cubatão e Paranapiacaba. Os valores foram retirados dos mapas mensais de evapotranspiração efetiva do estado de São Paulo, construídos por Stezer (1976) com base em 51 anos de observação. Em Cubatão, a evapotranspiração esta ao redor de 24% da precipitação, enquanto que em Paranapiacaba, é menor, sendo apenas 16% da precipitação.

Tabela III.2. Evapotranspiração efetiva, precipitação pluviométrica e excedente hídrico anuais, em litros por m² (mm), de Santos, Cubatão e Paranapiacaba.

Período	Santos¹	Cubatão²	Paranapiacaba¹
Janeiro	99	70	59
Fevereiro	84	60	49
Março	84	70	51
Abril	65	50	38
Maio	55	45	32
Junho	46	35	28
Julho	49	45	31
Agosto	55	45	39
Setembro	58	50	41
Outubro	66	55	46
Novembro	82	60	48
Dezembro	98	80	56
Evapotranspiração efetiva anual	841 37%	665 24%	518 16%
Precipitação pluviométrica anual	2245 100%	2773 100%	3300 100%
Excedente hídrico anual	1404 63%	2108 76%	2782 84%

¹ valores fornecidos por Setzer (1976)

² valores obtidos nos mapas de isolinhas publicados por Setzer (1976)

III.1.1.4 Vegetação

Na região de Cubatão, a vegetação original da Serra do Mar era constituída por extensos manguesais nas partes mais baixas, ao longo da extensa rede de braços de

mar que ocorrem no município, e por florestas nas partes mais altas, com fisionomias variadas, desde florestas de planície costeira até floresta de encosta, genericamente denominadas de Floresta ou Mata Atlântica. Ao longo do período de colonização, essa vegetação foi sendo gradativamente descaracterizada, inicialmente por atividades agrícolas, extrativismo para diversas finalidades, fogo eventual e mais recentemente através do desenvolvimento e da ação deletéria da poluição (Leitão-Filho et al. 1993, Pompéia 1997).

Durante o período colonial extraía-se madeira das florestas primárias para produção de lenha e carvão vegetal. No sopé da serra e nas encostas mais acessíveis, também se retiravam madeiras nobres. Até o início do século XX, no entanto, formou-se novamente uma densa vegetação secundária (Gutberlet 1996).

Na década de 1950, a vegetação da Serra do Mar foi assim descrita por Brasil (1960): *“A floresta latifoliada tropical úmida de encosta, pela posição geográfica que ocupa, isto é, as serras do Mar e Paranapiacaba, apresenta um caráter úmido acentuado, ocorrendo em áreas de elevado índice de pluviosidade, talvez o mais alto do Brasil. Esta vegetação higrófila caracteriza-se por sua exuberância, pela riqueza em espécies, pela imensa variedade e quantidade de lianas e epífitas, pela presença de fetos arborescentes e palmáceas esbeltas que enriquecem este conjunto e lhe dá um aspecto tropical. Embora ocupando as íngremes vertentes das serras do Mar e Paranapiacaba, o que de certo modo veio dificultar a exploração destas formações vegetais, os palmitos (*Euterpe edulis*) se apresentam hoje com pequena freqüência devido à sua extração pelo homem. Segundo F.W. Freise, a floresta tropical úmida de encosta apresenta 600 espécies que podem ser aproveitadas pelo homem, e destas, 60 são comuns e 30 muito comuns. As espécies estão distribuídas pelas seguintes famílias: leguminosas, bignoniáceas, sapotáceas, lauráceas, miliáceas e mirtáceas. De um modo geral os caules das árvores apresentam muitos musgos. Devemos distinguir pelo menos dois meios ecológicos dentro desta formação florestal: a floresta costeira que ocupa as partes baixas e a floresta de encosta propriamente dita. Também, a formação vegetal secundária que se observa nestas duas regiões é*

bem diferente. Enquanto que nas partes mais elevadas, onde a precipitação é mais alta e a radiação mais intensa, observa-se a grande frequência de Tibouchina, nas partes mais baixas, onde a precipitação é mais elevada e a radiação menor observa-se maior frequência de Cecropia. Correlacionando com a vegetação, os solos encontrados nesta formação vegetal são os Solos de Campos de Jordão e Latosol Vermelho Amarelo-fase rasa nas partes mais elevadas e Podzólico Vermelho Amarelo “intergrade” para Latosol Vermelho Amarelo nas partes mais baixas”.

Utilizando fotointerpretação, técnicos da CETESB verificaram que em 1962 a degradação da vegetação era observada nos locais de mais fácil acesso, em menores altitudes das encostas da serra ou no planalto, principalmente em função de práticas extrativistas e agrícolas. Florestas com estrutura primária podiam ser encontradas em extensas áreas das encostas situadas na margem esquerda do vale do rio Moji. Após quinze anos, nas fotos de 1977, esses técnicos observaram intensa degradação da vegetação, cuja causa principal associaram à emissão de poluentes aéreos em concentrações fitotóxicas. Áreas cobertas anteriormente por florestas com estrutura primária, passaram a apresentar evidências de morte de indivíduos arbóreos e presença de clareiras. Nas fotos de 1985, a degradação da floresta em decorrência da poluição atingiu seu máximo, com alta mortalidade de árvores e aparecimento de grande número de clareiras (Bragança et al. 1987, Klumpp et al. 1997).

Na fase mais aguda de emissão dos poluentes aéreos pelo complexo industrial, cerca de 60 km² da Serra do Mar apresentavam cobertura vegetal fortemente degradada, e observou-se o rompimento do frágil equilíbrio das escarpas. A diminuição efetiva da vegetação arbórea provocou alterações no ciclo hidrológico, especialmente no escoamento e infiltração da água no solo, e na resistência mecânica das raízes, aumentando de forma significativa a ocorrência de deslizamentos de terra, principalmente nas encostas das montanhas mais expostas aos poluentes e com inclinação acentuada (Ab’Saber 1987, Troppmair & Ferreira 1987, SMA 1990, Gutberlet 1996, Pompéia 1997).

Os extensos distúrbios causados por vários tipos de atividades antropogênicas, em diferentes períodos e intensidades, resultaram na região de Cubatão, a predominância de florestas secundárias, porém em diferentes estágios sucessionais (Domingos 1998).

O vale do rio Pilões, situado fora da direção predominante dos ventos e protegido por barreiras topográficas, é pouco atingido pela poluição aérea emitida pelo complexo industrial de Cubatão (Figura III.1). O relevo local é bastante acidentado e íngreme, com eventuais afloramentos de rochas graníticas. A vegetação é densa, com árvores de grande porte, com copas sobrepostas formando um sub-bosque de baixa luminosidade. É uma fisionomia florestal bem característica da Mata Atlântica de encosta embora com porte menor que as florestas primárias e sem muitas árvores emergentes no dossel. Nesse vale houve intensa extração de palmito (*Euterpe edulis* Mart.) de modo que atualmente essa espécie é representada apenas por indivíduos jovens. Várias espécies comerciais mais nobres estão também ausentes na região, indicando um processo exploratório seletivo relativamente antigo. Caminhadas pelo interior da floresta ainda revelam alguns patamares de antigas estradas utilizadas nas atividades extrativistas (Leitão-Filho et al. 1993).

As famílias mais importantes da formação florestal do vale do Pilões, segundo Pompéia (1997) (Tabela III.3), são Melastomataceae, Nyctaginaceae e Euphorbiaceae, típicas de estágios iniciais e intermediários da sucessão da Floresta Atlântica. As Melastomataceae tem papel destacado em função dos índices de valor de importância elevados de *Tibouchina pulchra* e *Miconia cinnamomifolia*, espécies dominantes na paisagem das capoeiras da Serra do Mar, no Estado de São Paulo. Essa floresta secundária caracteriza-se por um número de espécies relativamente baixo, quando comparado às matas em estágios mais avançados. Como nas formações mais maduras, a floresta esboça três estratos. No dossel destacam-se as pioneiras de grande porte como *Miconia cinnamomifolia* e *Tibouchina pulchra*. No segundo estrato, diversas espécies de crescimento lento e mais tolerantes ao sombreamento e que pouco a pouco vão ocupando o dossel, como *Nectandra*

oppositifolia, *Sloanea guianensis* e algumas Myrtaceae. No sub-bosque, além de espécies típicas como as Rubiaceae e algumas Piperaceae, existe um grande número de indivíduos jovens de *Guapira opposita*. Nas clareiras são observadas espécies heliófitas, como *Cecropia glazioui* e *Alchornea triplinervia*.

Com base nas características fitossociológicas da vegetação do vale do rio Pilões (Tabela III.3), Pompéia (1997) concluiu que trata-se de uma floresta secundária em processo de estratificação e de substituição das espécies mais precoces do dossel por plantas mais longevas, apresenta uma tendência de diversificação dos estratos inferiores e possui alta mortalidade de árvores, decorrente do término do ciclo de vida de algumas espécies pioneiras e de uma maior competição no sub-bosque.

Tabela III.3. Parâmetros fitossociológicos de trechos de floresta dos vales dos rios Pilões e Moji, em Cubatão, SP, obtidos por Pompéia (1997)

Características	Vale do Rio Pilões (menos poluído)	Vale do Rio Moji (fortemente poluído)
Nº de espécies	77	44
Nº de famílias	36	24
Densidade total (ind. ha⁻¹)	2522	1206
Área basal (m²ha⁻¹)	30,7	12,9
Diâmetro médio (cm)	9,4	9,6
Altura média (m)	7,8	5,5
Famílias mais importantes	<i>Melastomataceae</i> <i>Nyctaginaceae</i> <i>Euphorbiaceae</i>	<i>Melastomataceae</i> <i>Meliaceae</i> <i>Arecaceae</i>
Espécies mais importantes	<i>Tibouchina pulchra</i> <i>Guapira opposita</i> <i>Miconia cinnamomifolia</i>	<i>Tibouchina pulchra</i> <i>Miconia cinnamomifolia</i> <i>Guarea macrophylla</i>

Em outras porções da Serra do Mar, mais expostas às emissões dos poluentes, como as encostas adjacentes ao vale do rio Moji, especialmente em seu lado esquerdo (Figura III.1), a degradação da Floresta Atlântica é bastante evidente.

As famílias com maior riqueza em espécies na Floresta Atlântica, como Myrtaceae, Lauraceae e Leguminosae, ainda ocorrem na região de Cubatão, porém são pouco expressivas. Em locais mais atingidos pela poluição, são encontrados troncos mortos e ainda em pé de indivíduos arbóreos dessas famílias, indicando seu desaparecimento da região após o início das emissões industriais, especialmente no vale do Moji (Pompéia 1997).

A vegetação remanescente no vale do Moji é constituída por estrato herbáceo denso, com várias espécies invasoras. As árvores são esparsas, não chegam a formar um dossel. Aspectos de destaque observados nessa região são a baixa diversidade arbórea e presença marcante de algumas poucas espécies pioneiras (Leitão-Filho et al.1993).

Tendo em vista o caráter secundário das florestas na região de Cubatão, onde há o domínio de espécies pioneiras, a família Melastomataceae passou a ter papel destacado na composição florística. A redução do número de espécies ocorreu entre as arbóreas e epífitas, verificando-se o desaparecimento quase total das bromeliáceas, orquidáceas e gesneriáceas em áreas degradadas pela poluição (Pompéia 1997).

A vegetação encontrada no vale do Moji é a de uma floresta aberta, com inúmeras clareiras, onde a família Melastomataceae apresenta poucas espécies, mas é fortemente dominante, tal como ocorre nos estágios iniciais das capoeiras nas áreas não poluídas da Mata Atlântica. Entretanto, a floresta não se encontra em estágio tão inicial, como seria de se supor, ocorrendo árvores relativamente grandes de *Tibouchina pulchra*, *Miconia cinnamomifolia* e *Rapanea ferruginea* com alturas superiores a 10m e diâmetros do tronco maiores que 20cm (Pompéia 1997).

Em função da degradação da vegetação, a biomassa aérea e subterrânea estimadas das florestas fortemente atingidas pela poluição é acentuadamente reduzida (Tabela III.4). Segundo Pompéia (1997), o compartimento radicular é o que mais

sofre com a poluição, reduzindo-se em mais de 66% no Caminho do Mar e em cerca de 80% no Moji, respectivamente. No Pilões, a concentração de raízes na superfície chega a ser duas a três vezes superior à do Caminho do Mar e do Moji, respectivamente. Comenta Pompéia (1997) que a pequena redução na quantidade de folhas, observada no vale do Moji, parece indicar que as comunidades vegetais sob impacto da poluição apresentam um esforço para manter a estrutura responsável pela fotossíntese em detrimento do acúmulo de estruturas como troncos e ramos de alto custo energético e de pouca “utilidade” num ambiente onde a competição pela luz é menor.

Tabela III.4. Valores de biomassa aérea e subterrânea das florestas de Cubatão, estimados por métodos indiretos por Pompéia (1997)

Biomassa	Pilões	Caminho do Mar	Moji
Biomassa aérea (t ha⁻¹)	186	88	64
Biomassa foliar (t ha⁻¹)	8,8	8,8	5,8
Biomassa subterrânea (t ha⁻¹)	45,6	15,4	9,7
S 0 – 70 cm			

A poluição atmosférica emitida pelas indústrias de Cubatão, assim, tem alterado a estrutura da comunidade arbórea, provocando redução da densidade e da área basal do estrato arbóreo, morte de indivíduos arbóreos que ingressam no dossel, limitações ao desenvolvimento das árvores em altura e diâmetro do tronco, redução da diversidade florística do estrato arbóreo, favorecimento de espécies de caráter pioneiro e aumento da densidade de plantas do sub-bosque. Os efeitos sobre a floresta são mais acentuados no vale do Moji, onde a seletividade dos poluentes em relação aos vegetais é menor, provocando o desaparecimento de um grande número de espécies (Pompéia 1997).

As porções da Mata Atlântica situadas no alto da Serra do Mar, na outra extremidade do vale do rio Moji, também sofreram os impactos da poluição emitida pelo complexo industrial em funcionamento na Baixada

Santista e transportada pelos ventos através daquele vale para as regiões mais altas da Serra (Figura III.1). A degradação da floresta em locais mais expostos aos poluentes, em Paranapiacaba, foi mais evidente nas décadas de 1970 e 1980, quando grande mortalidade de indivíduos arbóreos, redução do número de espécies e simplificação da estrutura da floresta foram observadas (De Vuono et al. 1989a,b). A partir de 1985, quando iniciou-se a tomada de medidas para a diminuição das emissões de poluentes (SMA 1990, Alonso & Godinho 1992), o processo de degradação foi desacelerado e alguma recuperação pode ser observada (Bragança et al. 1987).

III.1.2 Descrição das Florestas Estudadas

O desenvolvimento deste trabalho compreendeu investigações simultâneas, durante um período de quatro anos (setembro/1991 a agosto/1995), em três porções da Floresta Atlântica na região de Cubatão (Figura III.1), escolhidas em função de diferenças observadas na exposição aos vários poluentes presentes na atmosfera e no grau de degradação da floresta. Dos três trechos de Mata Atlântica selecionados, dois situam-se nas encostas medianas da serra, um no vale do rio Pilões (Pilões – PIL) e o outro no vale do rio Moji (Moji-MOJ), e o terceiro no alto da serra, nos limites da escarpa, na Reserva Biológica de Paranapiacaba (Paranapiacaba – PAR)

Pilões – vale do rio Pilões, floresta de referência menos poluída (PIL)

Localizada a sudoeste do complexo industrial (23° 53'S e 46° 30'W) a uma altitude de 150m, nas proximidades da estação de captação de água da SABESB no vale do rio Pilões, é praticamente plana e dista cerca de 200m do curso do rio Pilões. É considerada área de referência, por estar relativamente protegida dos ventos vindos do complexo industrial (Figura III.1).

• Moji – vale do rio Moji, floresta fortemente poluída (MOJ)

Localiza-se na base da encosta da Serra do Mar, no início do vale do rio Moji (23°49'S, 46°22'W), na retaguarda de indústrias de fertilizantes (Figura III.1). Trata-se de uma área de encosta com declividade de aproximadamente 30° e altitude entre 170-180m. É fortemente atingida pela poluição devido a proximidade das indústrias e a canalização dos ventos através do vale do rio Moji.

• Paranapiacaba – Reserva Biológica de Paranapiacaba, floresta de referência moderadamente poluída (PAR)

A floresta de Paranapiacaba, no alto da Serra do Mar, nos limites do vale do rio Moji a 820m de altitude (23°46'S, 46°18'W), por onde os poluentes aéreos emitidos

pelo complexo industrial são transportados pelos ventos, sendo transformados e depositados ao longo dos 12km de percurso (Figura III.1). O sítio situa-se nas proximidades da Casa do Naturalista, em uma encosta com aproximadamente 65% de declividade e altitude entre 800-860m.

III.1.2.1 Solos

Os solos na região das florestas investigadas apresentam grandes diferenças quanto à profundidade, estrutura, granulometria e parâmetros de fertilidade em consequência, principalmente, do acentuado gradiente topográfico e da dinâmica das escarpas. Embora, quase não se tenham dados de solo do período anterior a poluição, alguns autores levantaram algumas características em florestas situadas nos vales dos rios Pilões e Moji e nas redondezas de Paranapiacaba, nas proximidades das florestas estudadas.

Rossi & Pfeifer (1991b) em levantamento pedológico detalhado dos solos de microbacia do vale do rio Pilões concluíram, com base nas características morfológicas, físicas e químicas dos solos, que a área apresenta duas unidades taxonômicas distribuídas em cinco classes (fases) de solos, sendo três de Latossolo Vermelho-Amarelo Álico e duas de Cambissolo Álico. Os latossolos, solos minerais não hidromórficos, com coloração variando de bruno ao alaranjado, com textura média e argilosa e com horizonte A moderado, ocorrem em relevo montanhoso. São álicos e diferem entre si em termos de fases: pedregosa e rochosa. São fisicamente bons, não havendo nesse particular, nenhuma restrição ao uso, pois são friáveis e possuem boa capacidade de retenção de água, porém são pouco profundos, o que aliado à declividade excessiva, à rochosidade e pedregosidade na massa do perfil, limitam a aptidão do uso das terras, bem como são suscetíveis a deslizamentos se desprotegidos da cobertura vegetal. Na bacia do Pilões, a classe textural dos latossolos varia de franco argilo-arenoso à franco argiloso. As relações Ki e Kr demonstram a intemperização desses solos. São extremamente ácidos, álicos, com saturação por alumínio alta, variando de 69 a 91%, em todos os perfis estudados na

microbacia. Os Cambissolos, por sua vez, são também solos minerais não hidromórficos, porém menos intemperizados ou em formação, portanto, menos profundos. Apresentam-se com coloração variando do bruno ao bruno amarelado, textura média e atividade da argila baixa, com horizonte A moderado e álicos. Também ocorrem em relevo montanhoso e diferem entre si pelas fases pedregosas e rochosas. Além do caráter ácido, a susceptibilidade à erosão é a limitação mais importante ao uso. Apresentam classe textural variando de franco argilo-arenoso, franco argiloso à argila arenosa. São extremamente ácidos, álicos e com saturação por alumínio variando de 87 a 93% em todo perfil. A saturação de bases é baixa, com valores entre 4 a 8%, bem como a atividade da argila e a CTC. As relações K_i e K_r do horizonte B indicam constituir um solo em formação (Rossi & Pfeifer 1991a,b).

Leitão-Filho et al. (1993) em estudo semidetalhado dos solos nos vales dos rios Pilões e Moji verificaram que as duas regiões apresentam pedogênese semelhante, predominando, na parte alta solos menos evoluídos, como Litossolos e Cambissolos e, na parte baixa, solos mais desenvolvidos, como Podzólicos.

Na área do Pilões foram descritas por Leitão-Filho et al. (1993), sete unidades taxonômicas, sendo que no topo da encosta escalonada da falha de Cubatão, encontram-se os solos menos evoluídos, classificados como Litossolo, A fraco, raso, textura média, moderadamente bem drenado, extremamente ácido, minerais moderadamente estáveis, e argila do tipo caulinita. Encontram-se também o Cambissolo, A moderado, intermediário com Podzólico, raso, textura argilosa, bem drenado, extremamente ácido, minerais estáveis/facilmente intemperizáveis e argila caulinita. Já na parte média e baixa da encosta, apresentam-se os solos mais desenvolvidos, como o Podzólico Vermelho-Amarelo, A moderado, intermediário a Cambissolo, pouco profundo, textura argilosa, acentuadamente drenado, extremamente ácido, minerais moderadamente estáveis e argila caulinita.

Na área do Moji, os solos da parte alta, por sua vez, foram classificados por Leitão-Filho et al. (1993) como Cambissolo, A moderado, pouco profundo, textura argilosa, bem drenado, extremamente ácido, minerais muito estáveis/facilmente

intemperizáveis, caulinita. Da parte média como Litossolos, A moderado, raso, textura muito argilosa, bem drenado, extremamente ácido, minerais muito estáveis/facilmente intemperizáveis, caulinita. E na parte baixa como Podzólico Vermelho-Amarelo, A moderado, intermediário com Cambissolo, profundo, textura muito argilosa, fortemente intemperizáveis, caulinita.

Quanto as características físicas e químicas, Pompéia (1997) trabalhando nos mesmos trechos de floresta utilizados no presente estudo, excluindo Paranapiacaba, verificou que os solos dos mesmos apresentam relativa semelhança (Tabela III.5) quanto à granulometria e parâmetros de fertilidade. A principal diferença refere-se ao teor de fósforo que é significativamente superior no vale do rio Moji, devido à emissão de partículas contendo fosfato pelas indústrias de fertilizantes. Os altos índices pluviométricos provocam uma acentuada lixiviação de bases trocáveis nos solos da Serra do Mar. A acidez elevada, os baixos teores de cálcio, magnésio, potássio e acúmulo de enxofre foram observados no solo das duas áreas, sendo também mais expressivos nos solos do vale do Moji. Os teores de ferro nas áreas mais atingidas pela poluição aérea (Moji) são também elevados. Na Tabela III.5, são apresentadas as principais características dos solos das cotas medianas dos vales dos rios Pilões e Moji (nas proximidades das florestas estudadas), registradas por Pompéia (1997).

Leitão-Filho et al. (1993) também concluíram que os solos da região são extremamente ácidos com valores de pH na superfície entre 3,1 e 3,4 no Moji e entre 3,3 e 3,9 no Pilões. Os autores atribuem essa acidez à ocorrência freqüente de chuvas ácidas, e ao alto teor de alumínio nos solos. Encontram também maiores valores de matéria orgânica no solo do vale do Moji (cerca de 8% no Moji contra 6% no Pilões) o que segundo esses autores, indicaria uma baixa atividade da microbiota e um processo de ciclagem de nutrientes mais lento, evidenciando um ecossistema com sérios problemas funcionais.

Tabela III.5. Características do solo em duas profundidades, nas cotas medianas dos vales dos rios Pilões e Moji, Cubatão-SP, levantadas por Pompéia (1997).

Parâmetro	Camada			
	0-10 cm		10-20 cm	
	Pilões	Moji	Pilões	Moji
Areia grossa (g kg⁻¹)	214	411	262	423
Areia fina (g kg⁻¹)	309	258	129	348
Limo (g kg⁻¹)	131	81	132	52
Argila (g kg⁻¹)	298	238	521	267
Classe Textural	barrento	limo areno barrento	argiloso	barrento
pH água	4,9	4,7	4,9	4,7
pH CaCl₂	4,1	4,1	4,0	4,0
MO (%)	3,3	4,1	2,1	0,9
V (%)	9,4	10,9	6,8	7,2
CTC (cmol_c dm⁻³)	8,8	11,0	9,4	11,7
K (cmol_c dm⁻³)	0,13	0,10	0,04	0,04
Ca (cmol_c dm⁻³)	0,5	0,8	0,4	0,6
Mg (cmol_c dm⁻³)	0,2	0,3	0,2	0,2
Al (cmol_c dm⁻³)	1,0	0,7	1,2	0,5
H + Al (cmol_c dm⁻³)	7,0	9,1	7,6	10,4
P resina (mg dm⁻³)	51,1	60,4	5,9	9,3
S (mg dm⁻³)	6,7	18,0	10,5	9,8
Na (mg dm⁻³)	22	60	11	18
Fe (mg dm⁻³)	674	291	540	391
Mn (mg dm⁻³)	10,4	6,0	2,0	7,3
Cu (mg dm⁻³)	0,1	0,5	0,1	0,5
Zn (mg dm⁻³)	3,4	5,8	1,2	5,5
B (mg dm⁻³)	0,1	0,3	0,1	0,2

As características químicas do solo das florestas estudadas no Moji e Pilões, levantadas no ano de 1998 por Bulbovas (2000), encontram-se na Tabela III.6. Além da extrema acidez e níveis bastante elevados de alumínio, ferro, fósforo no solo, o flúor, elemento também tóxico a vegetação, aparece em concentrações mais elevadas no solo do Moji.

Tabela III.6. Características químicas do solo na profundidade de 0-10cm, no ano de 1998, nas duas floresta estudadas em Cubatão, SP: Pilões (menos poluída) e Moji (fortemente poluída), levantadas pôr Bulbovas (2000).

Parâmetro	Pilões (menos poluída)	Moji (fortemente poluída)
pH CaCl₂	4,0-4,2	3,3-3,5
MO (g dm⁻³)	43-56	44-54
K (mmol_c dm⁻³)	1,1-1,9	0,6-0,8
Ca (mmol_c dm⁻³)	10-14	5
Mg (mmol_c dm⁻³)	1-5	1
Al (mmol_c dm⁻³)	2-4	6-10
H + Al (mmol_c dm⁻³)	58-72	104-205
Soma de Bases (mmol_c dm⁻³)	12-20	6-7
CTC (mmol_c dm⁻³)	71-96	110-212
V (%)	13-22	3-6
P resina (mg dm⁻³)	14-16	67-110
Cu (mg dm⁻³)	1,1-1,4	0,4-2,3
Fe (mg dm⁻³)	90-94	122-123
Mn (mg dm⁻³)	42-59	0,4-2,7
Zn (mg dm⁻³)	1,9-2,3	0,5-4,1
Flúor (ug g⁻¹)	0,7-1,1	8,0-11,1

No alto da serra do Mar, na floresta de Paranapiacaba, o levantamento das características químicas do solo, realizado em 1985 (Lopes et al. 1990, Domingos et al. 2000), em áreas mais e menos degradadas pela poluição, revelou que os solos são similares e de fertilidade muito baixa, ou seja, pobres em nutrientes minerais em decorrência da pequena capacidade de reter cátions trocáveis e, conseqüente, perda desses elementos por lixiviação (Tabela III.7). A saturação em bases também é baixa, indicando que há pequena quantidade de cátions básicos saturando as cargas negativas e que a maioria delas está ocupada por hidrogênio e alumínio, resultando em valores extremamente baixos de pH e níveis de alumínio tóxicos às plantas. Por outro lado, o solo apresenta quantidades consideráveis de matéria orgânica nas camadas superficiais, principalmente, nas porções menos poluídas da floresta, resultando, nessas áreas, condições químicas mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, proporcionadas pela decomposição e liberação de nutrientes das camadas orgânicas. As quantidades de enxofre no solo (Tabela III.8) de áreas poluídas da Reserva de Paranapiacaba são bastante altas desde 1985. O aporte anual desse elemento (Tabela III.9.) é praticamente igual ao reservatório do solo, mostrando que devido a entradas muito altas o estoque do solo é repostado em cerca de um ano.

Tabela III.7. Características químicas do solo encontradas em 1985 em áreas poluídas na Reserva Biológica de Paranapiacaba.

Camada (cm)	pH			Cátions trocáveis						Soma de Bases	CTC	V	Sat. em Al	C	N	P	Cu	Fe	Mn	Zn	
	H ₂ O	KCl	CaCl ₂	Ca	Mg	Na	K	H+Al	Al												
	 cmol _c dm ⁻³																				
Área Menos Poluída																					
0-5	3,5	2,8	2,9	1,9	0,9	0,10	0,14	17,5	2,0	3,0	20,6	14,8	40	11,5	0,99	21,7	0,02	219	11,0	22,7	
5-10	3,8	3,1	3,1	0,9	0,5	0,08	0,06	9,8	1,5	1,5	11,4	13,6	49	3,6	0,31	8,3	0,02	298	2,8	13,5	
10-15	3,9	3,3	3,3	0,7	0,3	0,07	0,04	7,3	1,5	1,2	8,6	13,9	55	2,9	0,25	5,7	0,02	182	3,1	12,0	
15-20	4,0	3,4	3,3	0,6	0,3	0,07	0,04	7,5	1,6	1,0	8,6	12,3	60	2,6	0,22	5,2	0,02	167	3,0	10,7	
20-40	4,0	3,4	3,3	0,6	0,4	0,07	0,04	8,6	1,7	1,2	9,8	12,4	58	2,5	0,22	6,2	0,02	162	3,0	3,6	
40-60	4,2	3,6	3,5	0,5	0,4	0,07	0,04	11,3	1,6	1,0	12,4	8,5	61	2,3	0,20	6,7	0,02	175	2,5	6,2	
Área Mais Poluída																					
0-5	3,6	2,9	3,1	1,6	0,7	0,08	0,11	14,2	1,3	2,6	16,9	15,3	34	9,4	0,81	15,5	0,02	182	11,0	15,9	
5-10	3,8	3,1	3,3	0,8	0,4	0,07	0,05	6,3	0,8	1,4	7,8	18,0	38	2,9	0,25	8,3	0,02	108	2,3	9,7	
10-15	4,0	3,5	3,4	0,5	0,3	0,06	0,04	4,8	0,8	0,9	5,8	17,0	46	1,5	0,13	7,7	0,02	107	0,8	8,8	
15-20	4,1	3,6	3,6	0,5	0,3	0,06	0,05	5,4	0,9	0,9	6,4	14,9	50	1,3	0,11	8,8	0,02	132	0,5	10,0	
20-40	4,0	3,4	3,5	0,5	0,3	0,06	0,04	7,2	1,1	0,9	8,2	11,8	52	2,0	0,17	6,7	0,02	154	0,7	3,4	
40-60	4,2	3,7	3,7	0,6	0,3	0,05	0,05	6,9	1,3	1,1	8,0	14,2	53	2,0	0,17	9,8	0,02	230	0,7	5,1	

Fonte: De Vuono et al. (1989), Lopes et al. (1990) e Domingos et al. (2000)

Tabela III.8. Teores de enxofre inorgânico, extraível no solo mineral, no ano de 1985, em áreas mais e menos poluídas da Reserva Biológica de Paranapiacaba, SP.

Profundidade (cm)	S _{inorgânico} (mg.kg ⁻¹ TFSA)	
	Área menos poluída	Área mais poluída
0-5	105	54
5-10	113	23
10-15	31	17
15-20	40	24
20-40	30	14
40-60	35	33

Fonte: Domingos et al.(2000)

Tabela III.9. Entrada anual de enxofre no solo (1985) e estoque de enxofre inorgânico extraível no solo mineral das áreas mais e menos poluídas da Reserva Biológica de Paranapiacaba

		Área menos poluída	Área mais poluída
ENTRADA (SO₄-S)	kg ha⁻¹ ano⁻¹		
Precipitação em clareira		129	77
Precipitação sob dossel		142	133
ESTOQUE (S_{inorgânico})	kg ha⁻¹	277	154
S 0 – 60 cm			

Fonte: Dados retirados de Domingos et al. (1995)

A caracterização dos solos das três florestas estudadas, realizada nos anos em que as investigações foram conduzidas (1991 a 1995), mostra que o solo da floresta do Pilões é moderadamente ácido, com valores de pH variando de 4,4-5,0 na superfície, e entre 5,2-6,3 nas camadas mais profundas e, embora seja muito pedregoso, tem melhor mineralização, suprimento nutricional e taxa de renovação da serapilheira, quando comparado com os demais (Lopes et al. 1993, Mayer & Lopes 1997, Mayer et al. 2000a). A biomassa de raízes encontrada até 45 cm de profundidade está em torno de 17,6 t/ha, sendo que mais da metade esta concentrada nos primeiros 15 cm de solo, conforme Tabela III.10 (Nichii et al. 1998).

Tabela III.10. Biomassa de raízes no ano de 1997 nos trechos de Floresta Atlântica estudados na região de Cubatão: Pilões (menos poluído), Moji (fortemente poluído) e Paranapiacaba (moderadamente poluído).

Profundidade (cm)	Biomassa de Raízes (t ha ⁻¹)		
	Pilões	Moji	Paranapiacaba
0-15	8,8	7,9	15,7
15-30	5,9	1,6	1,6
30-45	2,8	2,6	1,1
S 0 - 45 cm	17,6	12,1	18,5

Fonte: Nichii et al. 1998

O solo da floresta do Moji é fortemente ácido, com valores de pH variando de 4,0 na superfície a 4,2 no subsolo, e mostra a ocorrência de intensivos processos de intemperização (Lopes et al. 1993, Mayer & Lopes 1997, Mayer et al. 2000a). De acordo com Tabela III.10 o solo abriga em torno de 12,1 t/ha de raízes, sendo mais de 65 % na camada de 0-15cm de profundidade (Nichii et al. 1998).

Na floresta de Paranapiacaba, por sua vez, o solo é do tipo Latosol Vermelho-Amarelo “intergrade” Podzólico Vermelho-Amarelo, com características hidromorficas no horizonte B (Pseudogley) e alto teor de matéria orgânica na camada superficial. É ácido, alcançando valores de pH em torno de 3,7 na superfície e 4,3 nas camadas mais profundas (Lopes et al. 1993, Mayer & Lopes 1997, Mayer et al.

2000a). Apresenta a maior biomassa subterrânea, cerca de 18,5 t/ha, com mais de 85% das raízes concentradas nos primeiros 15 cm de solo (Tabela III.10).

A caracterização química dos solos das florestas estudadas será detalhada no item IV Resultados.

III.1.2.2 Balanço Hídrico

Os índices pluviométricos mensais (mm) registrados pelas estações meteorológicas mais próximas das três florestas estudadas, nos quatro anos em que as investigações foram conduzidas (1991 a 1995) encontram-se na Tabela III.11. Os valores de precipitação anual estiveram próximos aos normais de Setzer (1976) para a região (entre 2700 e 3300mm anuais de chuva). Os totais de chuva no alto da serra (Paranapiacaba) são mais elevados que nas encostas mais abaixo (Moji e Pilões). O período de janeiro a março de 1994 destaca-se pela maior precipitação. Nessa época, foram registradas grandes avalanches na Serra do Mar, principalmente nas proximidades do Caminho do Mar. O ano de 91/92 foi o menos chuvoso, principalmente no mês de abril. Os totais de chuva neste ano (2300mm) estão longe dos normais indicados por Setzer (1976) para a região. Embora com menos chuva, este ano não pode ser considerado seco. Portanto, nos quatro anos de investigação (1991 a 1995), não houve período seco na região de Cubatão, mas sim de maior ou menor precipitação.

Os dados de temperatura e umidade relativa registrados pelas estações de monitoramento instaladas nas três florestas estudadas encontram-se relacionados nas Tabelas III.12. e III.13. A temperatura nas florestas do Pilões e do Moji esteve ao redor do 22°C, dentro do normal para Cubatão. Em Paranapiacaba, por sua vez, a temperatura média anual esteve ao redor de 18,6°C, um grau mais elevada que o normal de Setzer (1976).

A umidade relativa esteve acima de 80% em quase todo o período de estudo nas três áreas. O ano 94/95 foi o mais quente e úmido.

Tabela III.11. Índices pluviométricos mensais (mm) registrados ao longo dos quatro anos de estudo (set/91 a ago/95), nos vales dos rios Pilões e Moji, Cubatão e em Paranapiacaba, nas proximidades das três florestas estudadas.

Meses	91/92	92/93	93/94	94/95	91/95
Vale do rio Pilões					média mensal
Set	215	420	333	225	298
Out	223	558	126	336	311
Nov	202	685	101	365	338
Dez	163	319	238	324	261
Jan	665	230	500	359	438
Fev	148	181	623	567	379
Mar	228	391	828	277	431
Abr	51	214	345	116	181
Mai	254	114	67	89	131
Jun	33	129	106	154	105
Jul	131	32	77	77	79
Ago	63	58	58	143	81
Total Anual	2376	3331	3401	3030	3034
Vale do rio Moji					média mensal
Set	215	347	309	191	266
Out	220	444	120	273	264
Nov	172	597	100	385	314
Dez	153	226	150	254	196
Jan	671	232	417	332	413
Fev	187	310	782	555	459
Mar	177	363	716	258	378
Abr	44	170	203	159	144
Mai	230	95	62	94	120
Jun	32	76	129	141	95
Jul	127	33	79	67	76
Ago	58	56	69	142	81
Total Anual	2286	2949	3135	2852	2805
Paranapiacaba					média mensal
Set	194	312	383	330	305
Out	333	448	320	246	337
Nov	237	523	69	250	270
Dez	283	342	195	425	311
Jan	375	263	300	272	303
Fev	162	188	498	591	360
Mar	233	487	503	477	425
Abr	127	312	278	292	252
Mai	257	268	88	249	215
Jun	55	83	159	127	106
Jul	287	117	147	109	165
Ago	252	153	180	149	184
Total Anual	2793	3497	3121	3516	3232

Fonte: Dados cedidos pela Eletropaulo, obtidos no posto Pilões, posto Usina Henry Borden (vale do Moji) e posto Paranapiacaba

Tabela III.12. Valores mensais médios de temperatura (°C), registrados ao longo dos quatro anos de estudo (set/91 a ago/95), pelas estações de monitoramento instaladas nas florestas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Meses	91/92	92/93	93/94	94/95	91/95
Vale do rio Pilões					média mensal
Set	18,4	18,9	19,2		18,8
Out	21,9	21,5	21,0		21,5
Nov	22,8	21,5	24,0		22,8
Dez	25,2	22,6	24,4		24,1
Jan	24,8	25,7	24,3		24,9
Fev	24,8	25,3	26,4		25,5
Mar	24,1		23,9	21,4	23,1
Abr	22,8			22,7	22,8
Mai	21,3			21,2	21,3
Jun	20,8	19,5		20,1	20,1
Jul		18,9		18,9	18,9
Ago	16,7	16,4		18,9	17,3
media anual	22,1	21,1	23,3	20,5	21,8
Vale do rio Moji					média mensal
Set	19,0	19,4	18,5	19,8	19,2
Out	21,8	21,4	20,5	22,1	21,5
Nov	22,0	21,7	24,1	23,1	22,7
Dez	22,9	23,0	24,7	24,6	23,8
Jan	26,6	26,2	24,3	25,7	25,7
Fev	25,0	23,5	21,6	27,2	24,3
Mar	25,1	24,9	23,4	24,8	24,6
Abr	23,1	23,6	23,3	22,2	23,1
Mai	22,6	21,4	22,0	20,7	21,7
Jun	21,8	19,7	18,9	20,1	20,1
Jul	18,7	19,0	20,9	20,8	19,9
Ago	17,2	17,7	18,3	20,8	18,5
media anual	22,2	21,8	21,7	22,7	22,1
Paranapiacaba					média mensal
Set	16,8	15,2	16,0	17,5	16,4
Out	16,6	16,0	18,7	19,0	17,6
Nov	18,6	14,3	20,7	19,2	18,2
Dez	21,3	19,8	20,4	21,3	20,7
Jan	20,8		20,2	22,7	21,2
Fev	21,6		22,3	21,4	21,8
Mar	21,3	20,9	20,8	20,8	21,0
Abr	19,1	20,0	18,9	19,1	19,3
Mai	18,0	16,6	18,4	16,1	17,3
Jun	17,5	16,5	16,1	16,7	16,7
Jul	14,3	17,6	17,1	17,8	16,7
Ago	13,4	14,9	15,2	21,0	16,1
media anual	18,3	17,2	18,7	19,4	18,6

Em branco: dados não disponíveis.

Fonte: Dados cedidos pelo Módulo de Química do projeto integrado desenvolvido com a Alemanha.

Tabela III.13. Valores mensais médios de umidade relativa do ar (%), registrados ao longo dos quatro anos de estudo (set/91 a ago/95), pelas estações de monitoramento instaladas nas florestas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Meses	91/92	92/93	93/94	94/95	91/95
Vale do rio Pilões					média mensal
Set	89,9	93,2	90,4		91,2
Out	84,6	89,2	88,1		87,3
Nov	85,7	89,8	83,1		86,2
Dez	82,0	87,6	84,3		84,6
Jan	85,2	84,9	85,9		85,3
Fev	84,1	87,7	86,9		86,2
Mar	88,4		88,6	94,0	90,3
Abr	86,2			86,5	86,4
Mai	89,5			85,0	87,3
Jun	87,4	80,4		85,3	84,4
Jul		85,3		82,0	83,7
Ago	92,7	86,1		85,1	88,0
media anual	86,9	87,1	86,8	86,3	86,7
Vale do rio Moji					média mensal
Set	85,8	90,5	97,6	95,8	92,4
Out	82,9	84,8	87,6	97,2	88,1
Nov	86,7	87,2	81,3	95,4	87,7
Dez	74,6	83,8	81,6	95,7	83,9
Jan		78,4	87,6	99,6	88,5
Fev	75,9	86,6		87,1	83,2
Mar	83,7	82,7	86,4		84,3
Abr	82,5	84,6	86,2		84,4
Mai	78,7	79,2	87,1	77,8	80,7
Jun	76,8	77,4	83,8	79,9	79,5
Jul	83,7	83,6	81,7	76,2	81,3
Ago	91,9	83,0	96,3	82,3	88,4
media anual	82,1	83,5	87,0	88,7	85,2
Paranapiacaba					média mensal
Set		91,2	87,8	89,0	89,3
Out		94,5	83,8	95,2	91,2
Nov	85,7	91,4	81,1	96,2	88,6
Dez	82,5	88,4	86,2	97,1	88,6
Jan	87,5	84,4	89,1	95,6	89,2
Fev	84,9	89,6	89,2	97,8	90,4
Mar	83,9	85,9	89,7	93,9	88,4
Abr	85,6	91,5	91,1	92,7	90,2
Mai	88,0	87,7	86,6	96,5	89,7
Jun	78,9	79,9	77,7	82,3	79,7
Jul	93,3	71,3	72,5	79,0	79,0
Ago	92,3	82,7	90,7	56,9	80,7
media anual	86,3	86,5	85,5	89,4	87,1

Em branco: dados não disponíveis Fonte: Módulo de Química do projeto desenvolvido com a Alemanha.

Utilizando os dados de precipitação (Tabela III.11) dos postos meteorológicos mais próximos (entre 1 a 5 km) às florestas em estudo e de temperatura (Tabela III.12) e umidade relativa (Tabela III.13) fornecidos pelas estações de monitoramento instaladas ao lado das mesmas, calculou-se, na Tabela III.14, a evapotranspiração efetiva (ET) e o excedente hídrico (EXC) dos três trechos de floresta, através de duas fórmulas propostas por Setzer (1976), e indicadas para litoral e encostas marítimas, a saber:

$$ET_{(1)} = 142,5 / (1/2^{t/10}) - (29,7/P)$$

$$EXC_{(1)} = P - ET_{(1)}$$

onde t = temperatura média anual,

P = total anual de chuvas

$$ET_{(2)} = 2^{t/10} i * (1-U)^{1/2}$$

$$EXC_{(2)} = P - ET_{(2)}$$

onde t = temperatura média mensal,

U = umidade relativa média mensal,

i = constante de iluminação

Pela fórmula que leva em conta a umidade relativa (ET_2) os valores de evapotranspiração são um pouco mais baixos. Segundo Cicco & Arcova (1999) a produção hídrica de bacias hidrográficas da região de Cunha, é bastante elevada, da ordem de 70% da precipitação, em virtude das baixas taxas de evapotranspiração do ecossistema, de aproximadamente 30%.

Assim, nas áreas da baixada (Moji e Pilões) ter-se-ia uma evapotranspiração da ordem de 23 a 25%, da precipitação, enquanto que no alto da Serra (Paranapiacaba) as perdas evaporativas seriam mais baixas, ao redor de 15% da precipitação pluviométrica, resultando num excedente hídrico elevado, cerca de 85% da precipitação. Os valores de evapotranspiração nas três florestas são portanto muito baixos.

Tabela III.14. Médias anuais de temperatura (T) e umidade relativa do ar (U), índices pluviométricos anuais (P), evapotranspiração (ET) e produção hídrica (EXC) anuais, em $L\ m^{-2}\ ano^{-1}$, registrados nas florestas estudadas, durante o período de investigação.

	T¹	U¹	P²	ET₍₁₎³	EXC₍₁₎³	ET₍₂₎³	EXC₍₂₎³
	°C	%	$\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$	L m⁻² ano⁻¹	$\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$
Pilões							
1991/1992	22	87	2376 100%	702 30%	1673 70%	605 25%	1770 75%
1992/1993	21	87	3331 100%	642 19%	2689 81%	559 17%	2771 83%
1993/1994	23	87	3401 100%	750 22%	2651 78%	659 19%	2741 81%
1994/1995	21	86	3030 100%	617 20%	2414 80%	553 18%	2478 82%
Moji							
1991/1992	22	82	2286 100%	704 31%	1582 69%	707 31%	1579 69%
1992/1993	22	83	2949 100%	676 23%	2272 77%	663 22%	2286 78%
1993/1994	22	87	3135 100%	670 21%	2465 79%	584 19%	2551 81%
1994/1995	23	89	2852 100%	721 25%	2130 75%	582 20%	2270 80%
Paranapiacaba							
1991/1992	18	86	2793 100%	526 19%	2267 81%	474 17%	2319 83%
1992/1993	17	87	3497 100%	482 14%	3015 86%	434 12%	3063 88%
1993/1994	19	85	3121 100%	541 17%	2580 83%	503 16%	2618 84%
1994/1995	19	89	3516 100%	564 16%	2951 84%	450 13%	3066 87%
Pilões	22	87	3034 100%	678 23%	2357 78%	594 20%	2440 80%
Moji	22	85	2805 100%	693 25%	2112 75%	634 23%	2172 77%
Paranapiacaba	18	87	3232 100%	528 16%	2704 84%	465 15%	2767 86%

¹ Dados gerados nas estações de monitoramento instaladas em cada floresta pelo módulo de química

² Dados cedidos pela Eletropaulo, obtidos nas estações: postos Pilões, posto Usina Henry Borden e posto Paranapiacaba

³ Valores de evapotranspiração anual e excedente hídrico ($mm\ ano^{-1}$) calculados pelas equações propostas por Setzer (1976).

III.1.2.3 Vegetação

A caracterização dos trechos de Floresta Atlântica estudados nos vales dos rios Pilões e Moji e em Paranapiacaba foi realizada pelas pesquisadoras Celeste Fugas Rebelo e Marie Sugiyama (Instituto de Botânica), através de levantamento fitossociológico em 1000 m² de floresta, em cada local. Os resultados desse estudo são apresentados nas Tabela III.15.

Tabela III.15. Alguns dados fitossociológicos, obtidos por Celeste F. Rebelo e Marie Sugiyama, dos três trechos de Floresta Atlântica estudados na região de Cubatão: Pilões (menos poluído) Moji (fortemente poluído) e Paranapiacaba (moderadamente poluído)

Características	Pilões	Moji	Paranapiacaba
Nº de espécies	39	16	38
Nº de famílias	23	11	18
Densidade absoluta (ind.ha ⁻¹)	1240	1250	2720
Área basal (m ² ha ⁻¹)	20,5	20,8	25,6
Diâmetro médio (cm)	12,5	12,0	9,8
Altura média (m)	10,0	6,5	6,5
H'	3,0	1,9	2,7

Famílias mais importantes

Melastomataceae (5 espécies)	Melastomataceae (3 espécies)	Melastomataceae (7 espécies)
Euphorbiaceae (5 espécies)	Arecaceae (2 espécies)	Euphorbiaceae (1 espécie)
Moraceae (4 espécies)	Bignoniaceae (1 espécie)	Arecaceae (2 espécies)
Myrtaceae (4 espécies)		

Espécies arbóreas mais importantes

<i>Miconia</i>	<i>Tibouchina</i>	<i>Alchornea</i>
<i>dodecandra</i>	<i>pulchra</i>	<i>triplineria</i>
<i>Tibouchina</i>	<i>Miconia</i>	<i>Tibouchina</i>
<i>pulchra</i>	<i>cinnamomifolia</i>	<i>pulchra</i>
<i>Hyeronyma</i>	<i>Bactris setosa</i>	<i>Miconia cabucu</i>
<i>alchorneoides</i>		
<i>Miconia</i>	<i>Tabebuia</i>	<i>Euterpe edulis</i>
<i>cinnamomifolia</i>	<i>heptaphylla</i>	
<i>Rustia formosa</i>	<i>Miconia</i>	<i>Trichipteris sp.</i>
	<i>latecrenata</i>	

H': Índice de diversidade de Shannon-Weaver

Fonte: Klumpp et al. (1997)

A entrada de nutrientes no solo pela queda de serapilheira nas três florestas estudadas no período em que as investigações foram conduzidas é apresentada na Tabela III.16. As taxas anuais de decomposição das frações foliar e lenhosa, estimadas entre abril de 1994 e março de 1995, são apresentadas, por sua vez, na Tabela III.17 enquanto que a biomassa subterrânea obtida em 1997 nos mesmos três trechos de Floresta Atlântica, já foi apresentada na Tabela III.10.

Tabela III.16. Fluxo de nutrientes pela queda de serapilheira no período que as investigações foram conduzidas (setembro de 1991 a agosto de 1995) nos três ecossistemas florestais estudados na região de Cubatão: Pilões (menos poluído), Moji (fortemente poluído) e Paranapiacaba (moderadamente poluído).

Serapilheira		Pilões	Moji	Paranapiacaba
Produção	(kg ha⁻¹ano⁻¹)	9430	8940	7890
N (total)	(kg ha⁻¹ano⁻¹)	160,8	167,7	157,1
S (total)		18,1	19,3	16,3
P (total)		6,0	9,1	7,5
K		29,8	14,1	17,8
Ca		100,4	96,7	105,2
Mg		21,8	11,1	14,0
Na		17,7	15,2	15,6
B		0,4	0,3	0,3
Cu		0,1	0,1	0,1
Fe		7,6	24,1	16,1
Mn		5,1	1,3	2,8
Zn		0,4	0,4	0,4

Fontes: Lopes et al. (1993) e Mayer & Lopes (1997)

Tabela III.17. Decomposição anual das frações foliar e lenhosa da serapilheira no período entre abril de 1994 e março de 1995 nas três florestas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Serapilheira	Pilões	Moji	Paranapiacaba
Decomposição (% ano⁻¹)			
material foliar	93	91	85
material lenhoso	83	64	27
foliar + lenhoso	88	78	60
Tempo de Renovação (ano)			
material foliar	1,1	1,1	1,2
material lenhoso	1,2	1,6	3,7
foliar + lenhoso	1,1	1,3	1,7

Fonte: Nascimento (1995)

A floresta do Pilões apresenta uma produção anual de serapilheira em torno de 9,4 t/ha, sendo 67% devido a queda de folhas, com valores anuais de decomposição ao redor de 93% para as folhas e de 83% para os lenhos. A floresta poluída da Moji derruba anualmente cerca de 8,9 t/ha de serapilheira, sendo 79% de folhas, com valores de decomposição em torno de 91% para as folhas e de 64% para os lenhos. Em Paranapiacaba, por sua vez, a floresta produz anualmente cerca de 7,8 t/ha de serapilheira, sendo 75% de folhas. As taxas anuais decomposição do material foliar e lenhoso andam em torno de 85% e 27%, respectivamente, (Lopes et al. 1993, Mayer & Lopes 1997, Nascimento 1995).

III.1.2.4 Poluição

A Tabela III.18 contém os valores anuais médios das concentrações de dióxido de enxofre, ozônio e óxidos de nitrogênio na atmosfera dos ecossistemas florestais em estudo, gerados em estações de monitoramento instaladas nas proximidades de cada um. Deve-se mencionar que, devido à repetitividade dos dados, a estação do Pilões foi desativada no final de 94.

Jaeschke (1997) comenta que as maiores concentrações de SO_2 foram observadas durante o dia, na estação de monitoramento instalada no vale do Moji. Em Paranapiacaba, os valores máximos foram muito menores e ocorreram cerca de três horas após o horário de pico registrado no Moji. As concentrações de ozônio foram maiores no alto da serra, em Paranapiacaba. Esse autor observou, também, elevados níveis de materiais particulados suspensos e de amônia no ar, na região do vale do Moji, durante campanhas de medição realizadas ao longo do período de execução do presente estudo.

Segundo ainda Jaeschke (1997), a floresta do Pilões não está completamente isenta da presença da poluição aérea emitida em Cubatão, devido à influência do regime de ventos da região, que é predominantemente NW, trazendo consigo uma parte dos poluentes emitidos pelo complexo industrial. Há também influência do efeito antrópico de ocupação do vale e da poluição emitida por automóveis devido à proximidade das rodovias Anchieta e dos Imigrantes, além dos produtos químicos utilizados na estação de tratamento de água da SABESB (cal hidratada, sulfato de alumínio, cloro líquido, ácido flúorsilícico – H_2SiF_6).

Tabela III.18. Concentrações anuais médias de dióxido de enxofre, ozônio e óxidos de nitrogênio e ($\mu\text{g.m}^{-3}$) na atmosfera das florestas estudadas na região de Cubatão, obtidas entre 1991 e 1995, em estações de monitoramento instaladas nas imediações de cada floresta.

Florestas	Anos	SO ₂		O ₃		NO ₂	
		Média anual	Média das máximas diárias	Média anual	Média das máximas diárias	Média anual	Média das máximas diárias
.....mg.m ⁻³							
Pilões	1991	5,8	32,9	31,5	91,7	*	*
	1992	4,3	20,5	30,0	83,0	7,5	18,2
	1993	11,7	62,9	32,1	83,3	*	*
	1994	6,5	29,5	25,5	82,9	*	*
	1995	*	*	*	*	*	*
	média	7,1	36,5	29,8	85,2	7,5	18,2
Moji	1991	19,8	87,3	32,4	84,9	25,0	70,9
	1992	17,2	71,4	31,2	76,2	33,6	69,8
	1993	21,0	81,4	18,7	54,6	17,2	52,5
	1994	12,0	48,1	26,0	61,8	24,6	53,6
	1995	20,5	69,8	28,1	75,2	22,3	46,7
	média	18,1	71,6	27,3	70,6	24,5	58,7
Paranapiacaba	1991	7,6	30,9	46,4	71,9	58,9	74,8
	1992	6,4	26,1	38,7	70,5	26,3	75,9
	1993	10,1	37,6	42,1	74,5	13,5	34,4
	1994	8,0	32,7	43,3	81,4	15,0	39,4
	1995	8,7	31,7	67,4	110,6	13,2	38,5
	média	8,2	31,8	47,6	81,8	25,4	52,6

* Dados não disponíveis

Dados cedidos pelo Módulo de Química do projeto integrado desenvolvido com a Alemanha

A região do Moji é considerada fortemente afetada pela poluição industrial, com 63% da poluição emitida na região composta por gases e 37% por poeiras. Em 1994, encontravam-se ainda na área materiais particulados (média anual de 50-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), compostos gasosos de nitrogênio (20-40 ppb NO_x , 10-60 ppb NH_3 , 1,5ppb NO_3 , correspondendo a 57% dos gases emitidos) e de enxofre (3-12 ppb SO_2 , correspondendo a 37% dos gases emitidos), além de fluoretos (até 2,5 ppb) devido à proximidade de indústrias de fertilizantes, siderúrgicas e de cerâmica agrupadas na entrada do vale (Jaeschke 1997, Pompéia 1997). Em 1994, segundo dados de levantamentos feitos por Pompéia (1997), das 31.645 t/ano de poeiras emitidas na região de Cubatão, 31.056 foram lançadas por indústrias localizadas na área do vale do Moji. Das 17.286 t/ano de gases NO_x e 17.000 t/ano de gases SO_x emitidas na região de Cubatão, 12.751 e 8.200 t/ano, respectivamente, correspondem a emissões desses gases na região do vale do rio Moji.

A floresta de Paranapiacaba, no alto da serra, segundo Klumpp et al. (1994) e Domingos (1998) apresenta grau moderado de danos causados, principalmente, pelo impacto de poluentes secundários, como PAN (nitrato de peroxiacetila) e ozônio.

III.2 MÉTODOS

III.2.1 Amostragem das diversas etapas do ciclo hidrológico

Os métodos utilizados para determinar os fluxos dos elementos através da água que atravessa o sistema são similares àqueles adotados em ecossistemas florestais tanto de regiões temperadas como tropicais (Golley et al. 1978, Harrison et al. 1989, Rodà et al. 1999). O modelo adotado para mensuração do fluxo de elementos encontra-se na Figura III.3.

Em cada uma das formações vegetais estudadas foram estabelecidas três unidades amostrais (três parcelas), para o desenvolvimento dos trabalhos. Para a escolha de cada parcela foi feita a análise do perfil de solo, verificando-se a declividade, a ocorrência de fluxo vertical saturado, escoamento lateral, ocorrência de pedras, entre outros, bem como da fisionomia da vegetação e da configuração do dossel.

Durante quatro anos (de setembro de 1991 a agosto de 1995), as instalações e amostragens realizadas incluíram:

Figura III.3. Modelo adotado para mensuração do fluxo de elementos.

a) Quantificação da entrada dos elementos minerais pela água de chuva que incide na floresta (clareira) através de 03 pluviômetros instalados em clareira adjacente a cada floresta estudada, a altura de 1,2 metros do solo, com mensurações quinzenais de volume de água e de pH, seguida de determinação da concentração iônica (Figura III.4)

Os pluviômetros foram construídos com funis cilíndricos de polietileno com área de 100cm^2 , cujas bases foram rosqueadas em frascos de polietileno com capacidade de 2 litros, o mesmo utilizado para fazer o funil. Para impedir a entrada de corpos estranhos nos coletores, no fundo do funil, em sua abertura cilíndrica, foi encaixada uma placa de porcelana perfurada (1,5 cm de diâmetro e furos de 2mm). Para evitar a obstrução da passagem da água, uma camada de pérolas de vidro, com diâmetro aproximado de 5 mm, foi colocada sobre a placa de porcelana, formando um filtro (Figura III.4.a). Cada pluviômetro recebeu um dreno com capacidade de 5 litros, a fim de evitar perdas de água por transbordamento nos períodos de maior pluviosidade (Figura III.4c). Para diminuir a insolação direta, a proliferação de atividade biológica e as perdas por evaporação, os frascos reservatórios foram mantidos dentro de tubos de PVC com diâmetro aproximado de 15 cm, os quais também serviram para sustentação dos pluviômetros.

A cada coleta, era feita a medida de volume de cada pluviômetro e uma alíquota de 250ml era transportada sob refrigeração ao laboratório. Após a amostragem, os pluviômetros eram primeiramente lavados com o restante da água de chuva e, ao final, com água destilada.

Figura III.4. Pluviômetro utilizado na amostragem da água de chuva: a. Modelo de pluviômetro, b. Pluviômetro em clareira, c. Pluviômetro sob o dossel.

b) Análise da transferência de elementos pela água de gotejamento das copas, ou seja, pela água que atravessa a cobertura vegetal e entra no solo (sobcopas), utilizando 12 pluviômetros iguais aos descritos anteriormente por trecho de floresta (Figura III.4a), distribuídos em 03 grupos de 04 por unidade amostral (por parcela), sob o dossel da vegetação (Figura III.4c), à altura de 1,2m do solo, com mensurações quinzenais de volume de água e de pH, seguida da determinação de concentração iônica.

c) Transferência e lixiviação dos elementos nas camadas de solo 10, 60 e 100cm, retirando a solução do solo diretamente no campo, com 36 lisímetros de sucção (cápsulas de cerâmica porosas) distribuídos em 03 profundidades (10, 60 e 100cm), com mensurações quinzenais de volume de água e de pH, processamento e análises químicas.

Instalou-se, em cada unidade amostral de cada floresta, uma bateria de 06 lisímetros a 10cm de profundidade, 04 lisímetros a 60cm e 02 lisímetros a 100cm de profundidade, totalizando 36 lisímetros (Figuras III.5 a III.7).

Foram empregadas cápsulas cerâmicas porosas usuais, com aplicação de vácuo e formação de um gradiente na pressão do ar atmosférico, conforme Reichardt et al. (1977). A unidade extratora da solução do solo (lisímetro) consistia de uma cápsula porosa de 20,8 mm de diâmetro e 53 mm de comprimento, colada à extremidade de um tubo acrílico de mesmo diâmetro e de comprimento variável de acordo com as profundidades de solo a serem estudadas, ou seja, 10, 60 e 100cm neste estudo. Dentro deste tubo acrílico encontrava-se uma mangueira de náilon de 3mm de diâmetro que ligava a extremidade da cápsula porosa ao recipiente coletor do extrato, dois frascos âmbar de 0,5 litros (Figura III.5b). Na rolha deste frasco coletor passava outra mangueira que era utilizada para conectar uma bomba de vácuo capaz de produzir até 750 milibares de vácuo. Em Pilões e Moji o gradiente de pressão era obtido com bomba manual (Figura III.7a), enquanto que em Paranapiacaba com bomba elétrica (Figura III.7b).

Figura III.5 Sistema de amostragem da água do solo: a. lisímetros (à frente) e tensiômetros (ao fundo) enterrados na unidade experimental. b. Frasco âmbar contendo solução do solo dentro de balde plástico enterrado no chão.

Figura III.6. Vista da unidade experimental: a. lisímetro (à frente) e dois tensiômetros (ao fundo com tampa preta) enterrados na unidade experimental. b. Conjunto de baldes plásticos contendo frascos com solução do solo ao lado da unidade amostral.

Figura III.7 Sistema de obtenção de solução do solo: a. Bomba manual utilizada na aplicação de vácuo nas florestas de Pilões e Moji. b. Sistema elétrico de extração da água do solo e de medição do potencial de umidade do solo instalado em Paranapiacaba.

A solução do solo era obtida fazendo-se vácuo no sistema todo. A pressão negativa obrigava a água do solo a entrar na cápsula vedando a mangueira que estava ligada ao frasco reservatório, a qual continuava sob vácuo. Retirada a bomba, a solução do solo, dentro da cápsula, ficava sob pressão atmosférica, fazendo com que, por diferença de pressão, a solução entrasse automaticamente no frasco reservatório. O tempo de vácuo foi o mesmo dos intervalos de coleta, ou seja quinzenal. Para introdução dos lisímetros no solo, fez-se um orifício com trado de mesmo diâmetro da capsula até a profundidade desejada. Para estabelecer o contato do solo com a cápsula porosa utilizou-se sílica. Durante os quatro anos de amostragens as parcelas foram mantidas os mais intactas possível, sem pisoteio, garantindo o mínimo de interferência no fluxo de água.

Quinzenalmente, por ocasião das amostragens de campo, media-se o volume do frasco (âmbar)reservatório e uma alíquota de 250 ml de solução do solo, era transportada sob refrigeração ao laboratório, para as leituras de pH e análises químicas. Após a coleta, os frascos eram primeiramente lavados com o restante da solução do solo e ao final, com água destilada. A seguir, restabelecia-se novamente o vácuo em todo sistema para fins de obtenção de solução do solo na quinzena subsequente.

d) Potencial de umidade do solo foi verificado através de tensiômetros às mesmas profundidades dos lisímetros (10, 60 e 100cm) para caracterização da umidade do solo onde ocorriam os processos de transporte e ciclagem de elementos. Em cada floresta instalou-se uma bateria de 9 tensiômetros à 10cm de profundidade, 6 à 60cm e 3 à 100cm de profundidade, totalizando 18 tensiômetros por área. Em Pilões e Moji foi instalado um sistema descontínuo de aferição da tensão, com leituras quinzenais enquanto que em Paranapiacaba foi instalado um sistema contínuo, sendo as leituras registradas continuamente por um sensor de tensão (Data Logger) (Figura III 7.b).

Os tensiômetros, dispositivos utilizados para a medição da pressão negativa, tensão ou potencial matricial da água no solo, *in situ*, eram compostos de um copo de

cerâmica permeável, poroso, ligado através de um tubo preenchido com água a um manômetro ou um aferidor de vácuo, conforme Curi et al. 1993 e Winter (1976). Simplificadamente, o tensiômetro era uma cápsula porosa cheia de água enterrada no solo (Figuras III.5a, III.6a, III.8b). A água movia-se para dentro ou para fora da cápsula até que o equilíbrio de pressão com o potencial de água do solo fosse alcançado. Utilizou-se cápsulas porosas de 20,8mm de diâmetro e 53 mm de comprimento, coladas a tubos de acrílico semelhantes ao lisímetro mas sem o tubo de náilon no interior. Nas florestas de Pilões e Moji, a cada quinzena, a sucção resultante dentro da cápsula era medida eletricamente usando-se um sensor manual de pressão. Em Paranapiacaba, quinzenalmente, retirava-se do registrador (Data Logger) todas as tensões ocorridas na ultima quinzena.

Para introdução dos tensiômetros, fez-se com trado um orifício no solo de mesmo diâmetro da capsula até a profundidade desejada. Durante os quatro anos de investigação as parcelas foram mantidas intactas, ou seja, não foram pisoteadas para garantir o mínimo de interferência no solo.

e) Saída e tamponamento nas águas de superfície (nascentes), foi analisada amostrando-se quinzenalmente a água de 04 nascentes e cursos naturais nas imediações de cada parcela, para análises químicas. Alguns córregos e nascentes são mostrada na Figura III.9. Considerou-se que essas águas passam a curta distância da camada mais profunda do solo e/ou rochosa. Desse modo, a partir da comparação com as características químicas da solução do solo poder-se-ia avaliar as mudanças que ocorrem desde a infiltração até a saída para o subsolo, bem como, a capacidade das rochas em neutralizar essa água.

Figura III 8. Modelo de tensiômetros utilizados. a. À esquerda tensiômetro de aferição eletrônica contínua utilizado em Paranapiacaba, à direita tensiômetro de aferição descontínua utilizado em Pilões e Moji. b. Tensiômetro descontínuo enterrado no solo.

Figura III.9. Alguns pontos de amostragem a água superficial: a. córrego em Pilões, b. córrego em Moji e c. nascente em Paranapiacaba.

III.2.2 Análises Químicas das Amostras de Água e Limites de Detecção

No laboratório, de cada amostra de água foi separada uma alíquota de 10 ml para leitura do pH. O restante foi filtrado utilizando papel de filtro quantitativo de 150mm de diâmetro, tipo “faixa preta”(marcas Whatman 41 ou Caal 1541 ou S&S 589 ou Framex 389). A seguir, cada amostra filtrada foi subdividida, sendo uma parte congelada e a outra acidificada com HNO_3 a 0,65%. As amostras quinzenais foram juntadas formando uma amostra mensal. Dessa forma obtiveram-se 2 alíquotas mensais mistas (uma congelada e outra acidificada).

As amostras mensais foram encaminhadas sob refrigeração ao laboratório de Química Inorgânica da CETESB para a determinação dos seguintes íons:

- alumínio, cálcio, ferro, magnésio, manganês, potássio, sódio nas amostras acidificadas e,
- amônio, nitrato, nitrogênio total, sulfato, cloreto, fosfato total, ortofosfato, fluoreto nas amostras congeladas.

As técnicas utilizadas para a determinação dos citados íons estão listadas na Tabela III.19.

Tabela III.19. Métodos analíticos e limites de detecção adotados pela CETESB nas análises químicas das amostras de água (CETESB 1985).

Elemento	Método	Limite de Detecção
Cátions		mg/L
Na	Espectrofotometria de absorção atômica	20,0
K	Espectrofotometria de absorção atômica	40,0
Ca	Espectrofotometria de absorção atômica	7,0
Mg	Espectrofotometria de absorção atômica	7,0
Fe	Espectrofotometria de absorção atômica	5,0
Mn	Espectrofotometria de absorção atômica	9,0
Al	Espectrofotometria de absorção atômica	20,0
NH ₄ ⁺	Kjeldahl	5,0
Ânions		
NO ₃ ⁻	Cromatografia iônica	0,02
F ⁻	Eletrodo específico	0,1
Cl ⁻	Fotometria de chama	0,5
SO ₄ ²⁻	Precipitação pelo BaSO ₄	2,0
Metais pesados		
Cr	Espectrofotometria de absorção atômica	5,0
Co	Espectrofotometria de absorção atômica	150,0
Ni	Espectrofotometria de absorção atômica	10,0
Cu	Espectrofotometria de absorção atômica	10,0
Cd	Espectrofotometria de absorção atômica	5,0
Pb	Espectrofotometria de absorção atômica	1000,0
Zn	Espectrofotometria de absorção atômica	3,0

III.2.3 Balanço de água e de elementos

O cálculo do balanço de água foi realizado considerando-se como entrada de água no solo o volume anual da precipitação sob as copas, após a correção para perdas evaporativas. A saída de água do solo ou o excedente hídrico anual até a profundidade de 100cm foi calculado com base nos mapas mensais de evapotranspiração efetiva do estado de São Paulo e nas fórmulas propostas por Setzer (1976), para a região de Cubatão. Os fluxos dos elementos, por sua vez, foram obtidos multiplicando-se as concentrações encontradas em cada compartimento pelos respectivos fluxos anuais de água.

III.2.4 Solo

O solo dos ecossistemas florestais em estudo foi analisado ao longo de 1991, através de métodos físicos e químicos descritos pela EMBRAPA (1999), parte em campo e parte em laboratório (Instituto de Botânica e Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP), utilizando os seguintes métodos e parâmetros:

- descrição de perfis de solo no campo;
- textura (granulometria);
- pH do solo em água, solução de KCl (mol L^{-1}) e CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$);
- cátions trocáveis: H, Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K, Na;
- capacidade de troca catiônica efetiva (em pH de campo), pelo acetato de amônio;
- nitrogênio e carbono totais, utilizando auto-analizador Carlo Erba e matéria orgânica ativa, facilmente decomponível pelo método Walkley-Black;
- metais pesados solúveis (Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Cd), extraídos com DTPA (Ácido DietilenoTriaminoPentacético) ;
- extração de SO_4 com solução 0,5 molar de NaHCO_3 ;
- fósforo pela resina trocadora de íons

III.2.5 Análises Estatísticas

As alterações ocorridas na dinâmica de elementos no ecossistema foram avaliadas estatisticamente, comparando os dados provenientes das florestas diferentemente atingidas por poluentes, utilizando técnicas descritas por Dias et al. (1996) e Zar (1999). O método dos mínimos quadrados foi usado para ajustar modelos lineares e a técnica multivariada de análise de componentes principais, para examinar as relações entre diferentes variáveis quantitativas, resumir dados e detectar relações lineares. Todas as análises estatísticas foram realizadas no Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, em Piracicaba, sob a orientação do Professor Carlos Tadeu dos Santos Dias.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV. 1 Solos

IV.1.1 Descrição

Localmente, os solos das florestas foram estudados ao longo de 1991 por meio de observações no campo e análises químicas de amostras retiradas de quatro perfis abertos em cada área. Quanto ao tipo de solo, existe uma grande variabilidade em função principalmente da forte declividade e da instabilidade da superfície. Nas partes mais baixas da encosta (Moji e Pilões) os solos, geralmente, se desenvolvem sobre camadas intemperizadas de material transportado, enquanto nas partes altas (Paranapiacaba), os solos tem seu desenvolvimento sobre rochas autóctones, metamórficas (gnaisses), com manto de intemperização de vários metros (saprolito), devido ao clima tropical, e com formação de minerais secundários (caolinita, óxidos de ferro e alumínio). Com base no clima e rochas predominantes (rochas metamórficas silicatadas), os tipos mais comuns são os Litossolos, Cambissolos e Oxissolos/Latossolos. No Pilões, predomina o Cambissolo com profundidade de até 80 cm; no Moji o Latossolo Vermelho-Amarelo com 50 a 80 cm de profundidade e, em Paranapiacaba, o Latossolo/Podzólico Vermelho-Amarelo também com profundidade entre 50 e 80 cm de (Mayer et al. 2000 a).

Nas três florestas, o horizonte orgânico na superfície do solo é pequeno, tendo apenas um poucos centímetros e restringe-se praticamente à camada de serapilheira não decomposta. Os solos não são orgânicos e marcas de hidromorfismo são freqüentes, principalmente em baixadas e platôs devido ao excesso de umidade.

IV.1.2 Textura do Solo (granulometria)

A distribuição do tamanho das partículas de solo nos locais estudados pode ser visualizada na Tabela IV.1, onde constam os resultados da análise granulométrica e a classificação textural dos solos, segundo os diagramas propostos por Campinas e pela “Soil Survey” (EMBRAPA 1999).

Verifica-se que a granulometria dos solos das três florestas é caracterizada por uma proporção bem alta de fração areia. Com cerca de 75 % de areia, principalmente grossa (45%), o solo do Pilões é o mais arenoso do três. A fração silte alcança cerca de 20% e a fração argila cerca de 5%. Com essa distribuição da granulometria, tem textura bem arenosa (ligeiramente “barro- arenosa”).

Na floresta do Moji, a proporção da fração areia no solo chega a 65%, enquanto que a de silte e argila em torno de 20% e 15%, respectivamente, tendo textura média-arenosa (muito “barro-arenosa”).

A menor proporção de areia foi encontrada em Paranapiacaba, cerca de 55%, principalmente de fração fina (35%). Os conteúdos de silte e argila no solo dessa floresta ficaram em torno de 35 % e 10 %, respectivamente, sendo também o solo de textura arenosa (bastante “barro-arenosa”).

Assim, o solo das áreas tem textura variando de ligeiramente a muito barro-arenosa. É bastante pedregoso, principalmente no subsolo (horizonte C) da floresta do Pilões.

IV.1.3 Potencial de Água no Solo

O potencial de água do solo medido em diferentes profundidades reflete as condições de umidade e as mudanças nas condições meteorológicas durante o decorrer do ano. Devido aos altos índices pluviométricos na Serra do Mar, a umidade do solo, durante os quatro anos de investigação, esteve geralmente muito alta em todo o perfil. Por longos períodos do ano, o conteúdo de água do solo esteve acima da capacidade de campo. Entretanto, são solos bem drenados, pois embora freqüentes em outras partes da Serra, não houve problemas com encharcamento. Houve, também, alguns períodos secos (maio a julho) onde o potencial de água do solo esteve abaixo da capacidade de campo e valores menores que 350hpa foram observados. O padrão da distribuição vertical e horizontal do potencial de água do solo em Paranapiacaba indicou que o fluxo de água é predominantemente vertical. O fluxo lateral, se existente, parece ser pequeno. Isso foi importante para os cálculos dos fluxos iônicos no perfil de solo.

IV.1.4 pH

O atual estado químico do solo é resultado de seu desenvolvimento natural, assim como, do impacto antropogênico pelo uso ou pela deposição atmosférica (Ulrich 1989). O planejamento desse trabalho foi baseado na comparação de florestas sob diferentes regimes de poluição atmosférica, mas com uma restrição, não são precisamente conhecidas as condições químicas do solo antes do início das emissões industriais. De registros e de descrições mais antigas, relatando a degradação sofrida pela vegetação da Serra do Mar ao longo dos últimos dois séculos, pode-se levantar a hipótese de que os efeitos sobre a vegetação devem ter sido acompanhados, ou precedidos, por alterações no solo.

O pH medido em suspensão aquosa ou salina é um dos parâmetros mais comuns utilizados para descrever a situação química do solo. A Tabela IV.2 mostra os valores médios de pH do solo obtidos nas amostras de terra coletadas em 1991 nas quatro trincheiras abertas em cada uma das florestas investigadas.

Pode-se ver claramente (Tabela IV.2) que os valores de pH (em água) no solo do Pilões são os mais altos e aumentam com a profundidade, variando de 4,7 a 5,0 na superfície e entre 5,2 e 5,5 nas camadas mais profundas do solo (subsolo). Por outro lado, os solos do Moji e de Paranapiacaba são extremamente ácidos, com valores tão baixos quanto 3,7 a 4,0 na superfície e entre 4,1 e 4,7 no subsolo. O menor valor de pH quando medido nas soluções salinas (KCl e CaCl_2) deve-se a adsorção de cátions ácidos.

Tabela IV.2. Valores médios de pH do solo em água e em soluções de KCl (mol L^{-1}) e CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão.

Floresta	Profundidade cm	pH		
		Água	KCl	CaCl_2
Pilões	0-10	4,7	4,1	4,0
	10-20	4,7	4,2	4,0
	20-30	5,0	4,3	4,1
	30-40	5,2	4,4	4,1
	40-50	5,2	4,4	4,2
	50-60	5,5	4,5	4,3
	60-70	5,5	4,5	4,3
Moji	0-10	4,0	3,6	3,4
	10-20	4,2	4,0	3,6
	20-30	4,3	4,1	3,7
	30-40	4,6	4,2	3,7
	40-50	4,6	4,1	3,7
	50-60	4,1	3,9	3,8
	60-70	4,3	4,2	3,9
	> 70	4,2	4,2	3,8
Paranapiacaba	0-10	3,7	3,3	3,4
	10-20	4,1	3,6	3,6
	20-30	4,2	3,6	3,7
	30-40	4,3	3,7	3,6
	40-50	4,4	3,9	3,8
	50-60	4,4	3,8	3,8
	60-70	4,3	4,0	3,8
	70-80	4,7	4,1	3,7

A alta acidez do solo na área é até certo ponto esperada, pois a camada rochosa, composta principalmente por gnaisses e xistos altamente intemperizados, possui pequena capacidade de neutralização da acidez (silicatos primários com metais alcalinos e alcalinos terrosos). Assim, pode-se assumir que os menores valores de pH no solo das florestas do Moji e de Paranapiacaba, comparado com a de Pilões, devem-se pelo menos em parte, a entrada antropogênica de substâncias acidificantes na atmosfera, pois nessas áreas, condições de extrema acidez atingem até mesmo as camadas mais profundas do solo (horizonte C). Essa interpretação de pH é explicada também pela distribuição dos cátions trocáveis como será visto mais adiante.

IV.1.5 Complexo de Troca

A capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) e os cátions trocáveis no solo das três florestas são apresentados nas Tabelas IV.3 e IV.4.

Tabela IV.3. Capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) e cátions trocáveis no solo, em $\mu\text{eq g}^{-1}$ de terra seca, em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão.

Local	Camada cm	CTCe	H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al
meq g ⁻¹ terra seca										
Pilões										
	00-10	26,5	0,56	0,16	0,18	3,13	1,22	<0,01	0,67	20,5
	10-30	23,2	0,00	0,40	0,24	1,47	0,68	0,03	0,30	20,1
	30-50	14,1	0,03	0,02	0,00	0,77	0,41	<0,01	0,22	12,7
	50-70	15,7	0,00	0,23	0,13	3,46	3,68	0,01	0,34	7,8
Moji										
	00-10	11,6	1,89	<0,16	0,00	0,75	0,11	0,37	0,01	8,5
	10-30	11,0	1,04	<0,16	0,00	0,44	0,13	0,21	0,01	9,2
	30-50	6,2	0,18	<0,16	0,00	0,45	0,01	0,08	0,00	5,4
	50-70	7,3	0,27	<0,16	0,00	0,00	0,00	0,02	0,33	6,7
	>70	12,0	0,00	<0,16	0,00	0,66	0,10	0,02	0,01	11,3
Paranapiacaba										
	00-10	31,7	5,62	0,64	0,00	2,46	0,54	1,15	0,03	21,2
	10-30	24,5	2,33	0,22	0,00	1,13	0,19	0,41	0,01	20,3
	30-50	16,5	0,91	1,17	0,22	1,00	0,23	0,12	0,02	12,8
	50-70	30,0	0,92	4,33	0,55	2,83	0,76	0,90	0,03	19,7
	70-80	5,4	0,46	0,00	0,00	0,56	0,00	0,13	0,01	4,3

CTCe = capacidade de troca efetiva, extraída com acetato de amônio

Tabela IV.4. Cátions trocáveis extraíveis no solo e valores calculados da soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V) e saturação em alumínio (Al) em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Profundidade	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	S	CTC	V	Al
cm	cmol _c dm ⁻³							%	
Pilões									
0-10	0,30	0,74	0,34	2,7	11,0	1,3	12,4	11	66
10-20	0,20	0,26	0,17	2,2	7,8	0,6	8,4	7	78
20-30	0,17	0,19	0,14	2,0	6,4	0,5	6,9	7	80
30-40	0,13	0,20	0,19	1,9	5,5	0,5	6,0	8	78
40-50	0,17	0,36	0,38	1,5	4,6	0,9	5,5	16	62
50-60	0,19	0,35	0,42	1,4	4,0	0,9	5,0	19	59
60-70	0,16	0,48	0,52	1,3	3,9	1,1	5,1	22	53
Moji									
0-10	0,19	0,36	0,11	4,1	16,4	0,6	17,0	3	86
10-20	0,13	0,20	0,06	2,7	6,9	0,3	7,3	5	87
20-30	0,11	0,13	0,03	2,4	6,0	0,2	6,3	4	90
30-40	0,11	0,20	0,04	2,5	5,8	0,3	6,2	5	87
40-50	0,17	0,19	0,04	2,5	5,7	0,4	6,1	6	86
50-60	0,14	0,12	0,01	2,4	4,2	0,2	4,5	6	90
60-70	0,14	0,10	0,03	2,4	5,0	0,2	5,3	5	89
>70	0,13	0,35	0,06	2,5	5,2	0,5	5,7	9	82
Paranapiacaba									
0-10	0,08	0,44	0,13	3,4	15,0	0,6	15,6	4	84
10-20	0,09	0,26	0,05	3,2	9,4	0,4	9,8	4	89
20-30	0,09	0,17	0,04	3,1	7,7	0,2	8,0	3	91
30-40	0,12	0,10	0,03	2,8	6,0	0,2	6,2	3	91
40-50	0,07	0,24	0,04	2,2	4,6	0,3	4,9	6	86
50-60	0,08	0,23	0,05	1,9	4,7	0,3	5,0	7	84
60-70	0,08	0,18	0,04	1,7	4,2	0,3	4,5	6	85
70-80	0,09	0,12	0,02	1,4	2,7	0,2	3,0	7	85

Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl a 1 mol L⁻¹; S, soma de bases calculada= K+Ca+Mg; CTC, cap. troca de cátions calculada =S+H+Al; V%, saturação por bases calculada=S*100/CTC; Al, saturação por alumínio calculada =Al*100/(S+Al)

Verifica-se, pelas Tabela IV.3 e IV.4, que no solo do Pilões e de Paranapiacaba existe um gradiente de cátions trocáveis com a profundidade. Os cátions básicos (K, Ca e Mg) decrescem com a profundidade. Nas camadas mais profundas do Pilões, com a proximidades do horizonte C, tem-se novamente um certo aumento.

A saturação de cátions no complexo de troca do solo reflete bem as condições químicas na zona radicular. A Tabela IV.5 mostra a saturação do complexo de troca do solo com H^+ , cátions ácidos (Al, Mn, Fe) e com bases (Na, K, Ca e Mg). Quanto aos cátions ácidos, apenas as camadas mais profundas do solo do Pilões apresentam menor saturação. Nas demais florestas, os cátions ácidos dominam quase que completamente o complexo de troca do solo, com valores acima de 72%.

Tabela IV.5. Saturação do complexo de troca do solo com H^+ , cátions ácidos Al, Fe e Mn e cátions básicos Na, K, Ca e Mg (em % da CTCe).

Camada cm	Pilões					Moji					Paranapiacaba				
	Cátions ácidos (%)														
	H	Al	Fe+Mn	S		H	Al	Fe+Mn	S		H	Al	Fe+Mn	S	
0-10	2,1	78	2,6	83		16	73	3	93		18	67	4	89	
10-30	0	87	1	88		9,4	83	2	95		9	83	2	94	
30-50	0	90	2	92		2,9	88	1	93		6	78	0	84	
50-70	0	50	2,3	52		3,7	92	4	100		3	66	3	72	
>70						0	93	1	94		8	79	3	90	
Cátions básicos (%)															
	Na	K	Ca	Mg	S	Na	K	Ca	Mg	S	Na	K	Ca	Mg	S
0-10	0,6	0,7	12	5	18	0	0	6	1	7	2	0	8	2	12
10-30	2	1	6,3	3	12	0	0	4	1	5	1	0	5	1	7
30-50	0,1	0	5,4	3	8	0	0	7	0	7	7	1	6	1	16
50-70	2	1	22	23	48	0	0	0	0	0	14	2	9	3	28
>70						0	0	6	1	7	0	0	10	0	10

S=somatória

Nota-se, assim, que na floresta do Pilões o solo é acidificado apenas na superfície. No subsolo (50-70cm), as bases, como cálcio e magnésio, ocupam cerca de 50% do complexo de troca, ambos nutrientes importantes pela capacidade de neutralizar prótons na solução do solo. Em contraste, o solo do Moji e Paranapiacaba está quase completamente saturado por cátions ácidos. No Moji, à profundidade de 50-60cm, a porcentagem de cátions básicos é praticamente zero. Isso significa que a acidez provocada pela precipitação não pode ser tamponada, e também que os nutrientes das plantas não podem ser retidos pelo complexo de troca, perdendo-se por lixiviação para as camadas mais profundas do solo. Esses resultados indicam uma profunda acidificação e falta de nutrientes no complexo de troca do solo, principalmente na área poluída do Moji.

Constata-se, à exceção da camada mais profunda do solo de Pilões, que o complexo de troca do solo das três florestas é claramente dominado por cátions ácidos, principalmente pelo alumínio. Isto indica o alto grau de acidificação do solo da região e reforça a importância de se estimar a contribuição dos poluentes aéreos para a acidificação dos solos, conforme um dos objetivos do trabalho.

IV.1.6 Matéria Orgânica, Carbono e Nitrogênio Totais

A matéria orgânica do solo é a principal fonte de nitrogênio para as plantas (Kiehl 1979, Mello et al. 1985). Assim, os conteúdos de carbono e nitrogênio, juntamente com a relação C/N, dão informações sobre o estado nutricional do solo.

Verifica-se assim, pela Tabela IV.6, que o solo do Pilões tem mais matéria orgânica, carbono e nitrogênio que o solo das demais florestas investigadas. Os baixos valores da relação C/N mostram que o solo do vale do Pilões tem melhor mineralização, suprimento nutricional e taxa de renovação da serapilheira, quando comparado aos demais. Todos esses resultados indicam uma melhor ciclagem de nutrientes no Pilões, confirmando ser este o local menos poluído.

Tabela IV.6. Matéria orgânica ativa (MO), carbono (C) e nitrogênio (N) totais e relação C/N em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo abertos em cada floresta estudada em Cubatão.

Local	Camada cm	MO	C	N	Relação C/N
		% de terra seca			
Pilões	0-10	6,07	2,67	0,23	12
	10-30	3,26	1,22	0,12	10
	30-50	1,69	0,46	0,05	9
	50-70	1,57	0,36	0,03	12
Moji	0-10	5,08	1,73	0,13	13
	10-30	2,00	0,59	0,06	10
	30-50	1,58	0,45	0,04	11
	50-70	1,23	0,24	0,02	12
	>70	1,19			
Paranapiacaba	0-10	4,68	1,97	0,13	15
	10-30	1,91	0,74	0,06	12
	30-50	1,32	0,38	0,03	13
	50-70	1,35	0,66	0,04	17
	70-80	1,11	0,23	0,02	12

C e N totais: auto-analisador Carlo Erba; MO: método Walkley-Blackl

Embora o conteúdo de húmus seja claramente visível no horizonte A, os solos não apresentam, de um modo geral, grandes quantidades de matéria orgânica (>10%). Os baixos valores no solos de Moji e Paranapiacaba ocorrem, provavelmente, devido a diferenças na complexidade da floresta em consequência da forte acidificação e de intensivos processos de lixiviação do solo.

IV.1.7 Fósforo e Enxofre Extraíveis

Grandes quantidades de enxofre extraível foram encontradas nos solos de Pilões e Moji, e um pouco menores nos solos de Paranapiacaba (Tabela IV.7). Sabe-se que em solos ácidos grandes quantidades de sulfato podem ser retidas na forma de hidróxidos de sulfato e alumínio (Rodhe & Herrera 1988, Silva 1996). Futuramente

esses estoques podem ser facilmente mobilizados, fazendo com que alumínio e enxofre sejam lixiviados para as camadas mais profundas do solo ou até mesmo para o lençol freático. Transformando-se as concentrações em quantidades por hectare estima-se que nos solos do Moji e Pilões estejam estocados cerca de 870 kg por hectare de enxofre na forma de sulfato adsorvido ou como hidróxido de sulfato e alumínio, enquanto que em Paranapiacaba cerca de 320 kg/ha de enxofre está acumulado.

Tabela IV.7. Teores médios de fósforo (P) e enxofre (S) extraíveis, em mg por quilograma de solo mineral, em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo estudados em cada floresta investigada.

Camada	Pilões				Moji				Paranapiacaba			
	P _{resina}		S _{inorgânico}		P _{resina}		S _{inorgânico}		P _{resina}		S _{inorgânico}	
cm	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}	^{3/4}
0-10	11,5				62,7				11,7			
10-30	2,6				1,5				2,9			
30-50	2,1				1,3				0,9			
50-70	2,2				0,5				1,1			
>70	3,0				1,0				1,3			

P extraído com resina aniônica; S extraído com solução 0,5 mol L⁻¹ de NaHCO₃

Quanto ao fósforo (Tabela IV.7), há um acúmulo na camada superficial do solo do Moji, o que se deve, provavelmente, às entradas ocorridas a partir de emissões de partículas contendo fosfato pelas indústrias de fertilizantes que operam na área. Esse fato já havia sido observado por Pompéia (1997), que trabalhou na mesma região.

IV.1.8 Metais Pesados Extraíveis

Os metais pesados presentes na atmosfera em consequência de atividades humanas poderiam ocasionar danos à vegetação e deteriorar os microorganismos do solo. Muitos desses metais, tais como Zn, Cu, Pb, ou Cr, podem ser acumulados nas

camadas orgânicas do solo (Derome & Nieminem 1998). Para investigar esse aspecto, amostras de solo de todos sítios experimentais foram extraídas com solução de DTPA (ácido Dietilenotriaminopentacético), visando quantificar a fração mais móvel desses elementos e de alto potencial fitotóxico.

Pelos resultados apresentados na Tabela IV.8, a fração móvel, definida como fração extraível com DTPA, tem expressão máxima nos primeiros 10 cm de solo, com concentrações de 7 mg de chumbo (Pb) e 56 mg de manganês (Mn) por quilograma de solo no Pilões e 600 mg de ferro (Fe) por quilograma de solo no Moji.

Tabela IV.8. Conteúdo de metais pesados extraíveis no solo (em mg kg^{-1} de T.F.S.E) em amostras de terra coletadas em 1991 em quatro perfis de solo nas florestas estudadas.

Camada cm	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
mg kg⁻¹ de T.F.S.E									
Pilões									
0-10	0,1	2,5	0,6	0,75	141	56,8	0,6	7,0	1,4
10-30	0,1	2,2	0,5	0,27	57	25,3	0,6	2,6	0,6
30-50	0,1	1,8	0,5	0,22	13	18,4	0,5	2,5	0,4
50-70	0,1	1,6	0,5	0,32	5	18,0	0,5	2,5	0,4
Moji									
0-10	0,1	0,6	1,1	0,58	600	1,0	0,5	2,5	0,9
10-30	0,1	0,5	0,5	0,14	144	0,5	0,5	2,5	0,5
30-50	0,1	0,5	0,5	0,07	61	0,4	0,5	2,5	0,5
50-70	0,1	0,5	0,5	0,02	5	0,3	0,5	2,5	0,3
>70	0,1	0,7	0,5	0,02	5	0,2	0,5	2,5	0,4
Paranapiacaba									
0-10	0,1	0,5	0,6	0,32	390	0,9	0,5	2,5	1,4
10-30	0,1	0,5	0,5	0,07	156	0,5	0,5	2,5	0,6
30-50	0,1	0,6	0,5	0,04	80	0,4	0,5	2,5	0,8
50-70	0,1	0,5	0,5	0,09	186	1,3	0,5	2,5	0,8
70-80	0,1	0,5	0,5	0,46	121	0,4	0,5	2,5	0,5

Extração com DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético)

Assim, no solo da floresta do Moji são elevadíssimas as quantidades de ferro, principalmente na superfície do solo devido, provavelmente, a influência da siderurgia na região. No solo do Pilões, por sua vez, são bem grandes as de manganês e de chumbo, possivelmente, como reflexo presença de minerais contendo Mn nesse solo do Pilões e, no caso do chumbo, devido a proximidade das rodovias Anchieta e Imigrantes. Teores mais elevados de ferro no solo de áreas mais atingidas pela poluição aérea (Moji) e de manganês no solo de áreas mais preservadas (Pilões) foram também encontrados por Pompéia (1997) e Bulbovas (2000).

Verifica-se, ainda pela Tabela IV.8, que para os outros elementos analisados, não houve uma acumulação evidente no solo, nem mesmo nas camadas superficiais. Isso indica que a forte acidificação do perfil do solo não acarreta acumulação desses metais nas superfícies minerais e orgânicas, porque nessas condições, por estarem na forma iônica, esses elementos são muito móveis, sendo portanto, lixiviados e perdidos juntamente com a água de infiltração. Por outro lado, as concentrações desses metais na solução do solo não são muito altas devido ao grande fluxo de água pela alta precipitação, o que acarretaria o efeito de diluição.

IV. 2 Fluxos de Água

IV.2.1 Precipitação

A precipitação mensal na clareira e sob a copa das árvores nas três florestas de estudo e os valores referentes ao processo de interceptação das chuvas pela floresta constam da Tabela IV.9.

A quantidade de chuva medida na clareira das três florestas (Pilões=2764mm, Moji=2638mm e Paranapiacaba=3005mm) foi, em média, 6 a 9% menor que a registrada pelas respectivas estações meteorológicas da Eletropaulo nas redondezas das florestas em estudo (Tabela III.11: Posto Pilões=3034mm, Posto Usina Henry Borden=2805mm e Posto Paranapiacaba=3232mm). Essa diferença deve-se, provavelmente, a perdas por evaporação nos pluviômetros. Embora com os reservatórios protegidos, as coletas eram quinzenais, ficando difícil evitar totalmente essas perdas. Utilizando pluviômetros padrão a evaporação foi calculada em 5% por Jaeschke (1997). Outra possível explicação seria a interferência das bordas das clareiras utilizadas, podendo ter ocorrido alguma interceptação da chuva pela floresta.

A precipitação interna ou sob o dossel da vegetação é o componente mais significativo na redistribuição das chuvas no interior da floresta, uma vez que, o escoamento pelos troncos, não medido nesse trabalho, é, segundo Cicco & Arcova (1999), desprezível e da ordem dos erros envolvidos no processo. Entre 78 e 82% da precipitação atravessa o dossel da floresta e atinge o solo. Entre 18% e 22% da chuva que alcança o topo da Floresta Atlântica na região, são interceptados e evaporados pela copa ou absorvidos pela folhagem e pela flora epífita, sendo os menores valores observados na área mais poluída (Moji). Os resultados são superiores a outros valores obtidos em florestas tropicais: 5-7% na Venezuela (Jordan & Heuveldop 1981), 7% em Manaus (Lloyd & Marques 1988), 3-35% em Paranapiacaba (Domingos 1987), 15% na Ilha do Cardoso (Varjabedian 1994), 15-17% em Cunha (Cicco & Arcova 1999), entre outros.

Tabela IV.9. Precipitação mensal na clareira e sob as copas das árvores e interceptação da chuva pela floresta, em mm, entre setembro de 1991 a agosto de 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Período	Pilões			Moji			Paranapiacaba		
	clareira	sobcopas	intercep.	clareira	sobcopas	intercep.	clareira	sobcopas	intercep.
Set 91	230	161	69 30%	167	153	14 9%	190	147	42 22%
Out	212	156	55 26%	196	198	0 0%	254	204	49 20%
Nov	196	153	43 22%	132	116	16 12%	235	179	55 24%
Dez	188	133	55 29%	158	183	0 0%	189	126	64 34%
Jan 92	429	345	84 20%	376	379	0 0%	457	296	161 35%
Fev	141	113	28 20%	106	121	0 0%	103	67	36 35%
Mar	293	211	82 28%	269	272	0 0%	268	206	62 23%
Abr	77	56	21 27%	43	37	7 15%	118	78	40 34%
Mai	203	157	47 23%	187	151	36 19%	223	157	66 29%
Jun	41	29	12 30%	49	51	0 0%	55	51	3 6%
Jul	147	117	31 21%	167	117	50 30%	216	149	67 31%
Ago	57	33	24 42%	127	103	24 19%	204	144	60 29%
Total 91/92	2213	1663	550 25%	1975	1882	93 5%	2510	1803	707 28%
Set 92	388	244	144 37%	321	212	109 34%	284	225	60 21%
Out	385	323	62 16%	302	230	72 24%	318	260	57 18%
Nov	462	379	83 18%	400	300	100 25%	462	347	115 25%
Dez	426	364	63 15%	380	302	78 21%	373	249	123 33%
Jan 93	219	171	48 22%	233	189	44 19%	302	180	122 40%
Fev	193	141	52 27%	295	230	65 22%	254	160	94 37%
Mar	371	304	66 18%	368	365	2 1%	519	295	224 43%
Abr	218	170	48 22%	211	180	31 15%	221	142	78 35%
Mai	60	44	16 27%	82	67	15 18%	130	84	46 35%
Jun	154	115	38 25%	163	134	29 18%	206	125	81 39%
Jul	26	13	13 50%	57	48	9 15%	86	54	32 38%
Ago	72	61	11 16%	108	82	26 24%	111	80	31 28%
Total 92/93	2975	2330	645 22%	2918	2339	579 20%	3265	2200	1065 33%
Set 93	272	250	22 8%	449	305	145 32%	380	242	138 36%
Out	89	68	21 24%	164	126	38 23%	279	167	112 40%
Nov	95	101	0 0%	179	125	54 30%	141	128	13 9%
Dez	169	157	12 7%	124	86	38 31%	150	151	0 0%
Jan 94	385	380	5 1%	239	186	54 22%	225	180	45 20%
Fev	470	404	66 14%	480	335	145 30%	404	371	33 8%
Mar	524	319	205 39%	329	255	74 22%	361	319	42 12%
Abr	518	359	159 31%	300	291	9 3%	280	257	23 8%
Mai	34	28	5 15%	25	19	7 26%	27	20	7 26%
Jun	108	113	0 0%	152	122	30 20%	188	143	45 24%
Jul	60	56	4 7%	77	50	26 34%	84	68	16 19%
Jul/Ago	78	66	12 15%	128	73	55 43%	168	148	21 12%
Ago	132	109	22 17%	227	117	109 48%	219	190	29 13%
Total 93/94	2932	2409	523 18%	2871	2089	783 27%	2906	2382	524 18%
Set 94	250	233	17 7%	161	77	84 52%	230	159	71 31%
Out	206	173	33 16%	120	86	34 28%	190	135	55 29%
Nov	280	270	10 4%	273	209	63 23%	373	286	86 23%
Dez	300	264	37 12%	388	297	90 23%	343	267	76 22%
Jan 95	308	294	14 4%	253	214	39 15%	195	158	37 19%
Fev	400	366	34 9%	455	357	98 21%	423	425	0 0%
Mar	325	211	114 35%	268	185	83 31%	360	316	44 12%
Abr	148	103	44 30%	130	196	0 0%	220	242	0 0%
Mai	98	45	52 53%	130	117	13 10%	180	186	0 0%
Jun	100	73	27 27%	223	98	125 56%	200	171	29 14%
Jul	170	120	50 29%	165	168	0 0%	213	173	39 18%
Jul/Ago	235	173	62 27%	125	131	0 0%	234	240	0 0%
Ago	120	106	14 12%	100	177	0 0%	180	243	0 0%
Total 94/95	2938	2431	507 17%	2789	2312	477 17%	3339	3000	338 10%
Total médio 91/95	2764	2208	556 20%	2638	2155	483 18%	3005	2346	658 22%

Os valores obtidos para a quantidade de chuva que atravessa o dossel da vegetação e entra no solo devem ser interpretados com cautela, em função do reduzido número de coletores no interior da floresta, problemas de amostragem, e o alto coeficiente de variação inerente ao processo. O tamanho e arquitetura da copa e o número de coletores tem sido uma discussão contínua entre autores que amostraram a água de chuva no interior da floresta, tais como Domingos (1987), Britez (1994), Varjabedian (1994), Cicco & Arcova (1999), entre outros. De um modo geral, a interceptação zero, ou seja, nenhuma retenção de chuva pelo dossel, como aconteceu muitas vezes na área poluída do Moji, deve-se a copa reduzida da vegetação.

O perfil da precipitação e as comparações estatísticas entre a chuva que incide na floresta (clareira) e a que atravessa o dossel (sobcopas), em cada trimestre de estudo, podem ser visualizados nas Tabelas IV.10 e IV.11 e Figura IV.1. Os volumes de precipitação incidente nas três florestas estudadas são estatisticamente semelhantes, com valores mensais variando de 210 a 240 L.m². Em Pilões e Paranapiacaba, a precipitação é significativamente superior na clareira. Entre 78 e 80% da precipitação incidente na floresta, atinge o solo, tendo-se de 20 a 22% de água interceptada e evaporada pela copa.

No Moji, as quantidades de chuva na clareira e sobcopas são estatisticamente semelhantes, ou seja, praticamente toda precipitação atinge o solo. Nessa floresta, há menos vegetação ou o estado do dossel não permite conter e interceptar ou amenizar o impacto das gotas de chuva. Esta certamente é uma área favorável à problemas com erosão e deslizamentos de terra.

Tabela IV.10. Precipitação trimestral média* na clareira e sobcopas, em litros por m⁻² (mm), durante o período de estudo (set/91 - ago/95), nas três florestas investigadas: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano		Trimestre	Pilões	Moji	Paranapiacaba
Precipitação na Clareira L m ⁻² **					
1	91/92	1 set-nov	213 ^{B a}	165 ^{B a}	226 ^{B a}
	91/92	2 dez-fev	253 ^{AB a}	213 ^{B a}	250 ^{AB a}
	91/92	3 mar-mai	191 ^{B a}	166 ^{B a}	203 ^{B a}
	91/92	4 jun-ago	82 ^{B a}	114 ^{B a}	158 ^{B a}
2	92/93	5 set-nov	412 ^{A a}	341 ^{A a}	355 ^{A a}
	92/93	6 dez-fev	280 ^{A a}	302 ^{A a}	310 ^{A a}
	92/93	7 mar-mai	216 ^{B a}	220 ^{B a}	290 ^{A a}
	92/93	8 jun-ago	84 ^{B a}	109 ^{B a}	134 ^{B a}
3	93/94	9 set-nov	152 ^{B b}	264 ^{A a}	267 ^{A a}
	93/94	10 dez-fev	341 ^{A a}	281 ^{A a}	260 ^{A a}
	93/94	11 mar-mai	359 ^{A a}	218 ^{B b}	223 ^{B b}
	93/94	12 jun-ago	94 ^{B a}	146 ^{B a}	165 ^{B a}
4	94/95	13 set-nov	259 ^{A a}	235 ^{B b}	284 ^{A a}
	94/95	14 dez-fev	344 ^{A a}	325 ^{A a}	326 ^{A a}
	94/95	15 mar-mai	115 ^{B a}	161 ^{B a}	200 ^{B a}
	94/95	16 jun-ago	175 ^{B a}	130 ^{B a}	209 ^{B a}
Precipitação Sobcopas L m ⁻² **					
1	91/92	1 set-nov	157 ^{B a}	156 ^{B a}	177 ^{AB a}
	91/92	2 dez-fev	197 ^{AB ab}	228 ^{A a}	163 ^{B b}
	91/92	3 mar-mai	141 ^{B a}	153 ^{B a}	147 ^{B a}
	91/92	4 jun-ago	59 ^{B a}	90 ^{B a}	115 ^{B a}
2	92/93	5 set-nov	316 ^{A a}	247 ^{A a}	277 ^{A a}
	92/93	6 dez-fev	225 ^{A a}	240 ^{A a}	196 ^{AB a}
	92/93	7 mar-mai	173 ^{AB a}	204 ^{A a}	174 ^{AB a}
	92/93	8 jun-ago	63 ^{B a}	88 ^{B a}	86 ^{B a}
3	93/94	9 set-nov	140 ^{B a}	185 ^{AB a}	179 ^{AB a}
	93/94	10 dez-fev	313 ^{A a}	202 ^{AB a}	234 ^{A a}
	93/94	11 mar-mai	235 ^{A a}	188 ^{AB a}	199 ^{AB a}
	93/94	12 jun-ago	86 ^{B a}	91 ^{B a}	137 ^{B a}
4	94/95	13 set-nov	235 ^{A a}	167 ^{B b}	212 ^{A a}
	94/95	14 dez-fev	290 ^{A a}	252 ^{A a}	300 ^{A a}
	94/95	15 mar-mai	74 ^{B a}	137 ^{B a}	200 ^{AB a}
	94/95	16 jun-ago	133 ^{B b}	159 ^{B b}	219 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t – Student.

Figura IV.2. Perfil da precipitação (totais trimestrais) na clareira e sobcopas ao longo dos quatro anos (set/91 a ago/95) nas três florestas estudadas em Cubatão.

Tabela IV.11. Precipitação mensal média $\pm$ erro padrão* (n=4) na clareira e sobcopas, em L por m² (mm), nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três florestas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	Pilões	Moji	Paranapiacaba
Precipitação na Clareira L m^{-2**}			
1 91/92	184 $\pm$ 31 A a	165 $\pm$ 26 B a	209 $\pm$ 29 A a
2 92/93	248 $\pm$ 44 A a	243 $\pm$ 35 A a	272 $\pm$ 39 A a
3 93/94	226 $\pm$ 51 A a	221 $\pm$ 38 AB a	224 $\pm$ 32 A a
4 94/95	226 $\pm$ 26 A a	215 $\pm$ 30 AB a	257 $\pm$ 24 A a
Precipitação Sobcopas L m^{-2**}			
1 91/92	139 $\pm$ 25 A a	157 $\pm$ 27 A a	150 $\pm$ 20 B a
2 92/93	194 $\pm$ 37 A a	195 $\pm$ 29 A a	183 $\pm$ 27 AB a
3 93/94	185 $\pm$ 38 A a	161 $\pm$ 29 A a	183 $\pm$ 27 B a
4 94/95	187 $\pm$ 27 A ab	178 $\pm$ 23 A b	231 $\pm$ 22 A a
Precipitação L m^{-2**}			
Clareira	221 $\pm$ 19 A a	211 $\pm$ 16 A a	240 $\pm$ 15 A a
Sobcopas	176 $\pm$ 16 B a	173 $\pm$ 13 A a	187 $\pm$ 12 B a

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Valores seguidos pela mesma letra maiúscula, em azul, na coluna e pela mesma letra minúscula, em vermelho, na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t – Student.

IV.4.2 Balanço Hídrico

A maioria dos fluxos de elementos minerais que entram, circulam e saem do sistema ocorre na fase líquida, tendo a água como meio de transporte. Assim, o balanço hídrico no sistema florestal é crucial para o estabelecimento desses fluxos, incluindo as entradas e saídas. As limitações financeiras do projeto, além da topografia acidentada da região e estrutura complicada do ecossistema investigado, situado nas escarpas declivosas da Serra do Mar, não permitiram medidas diretas dos fluxos de água no solo. Desse modo, foi necessário realizar estimativas das

quantidades de água evapotranspiradas e infiltradas no solo. Considerando o objetivo do trabalho, uma boa estimativa do fluxo atual de água, baseado na precipitação medida em cada local, parece ser suficiente para mostrar o impacto da poluição aérea.

Quando dados de precipitação e outros parâmetros meteorológicos são disponíveis, existem várias maneiras de se estimar o balanço hídrico anual. Muitos modelos (ex. Thornthwaite, Turco, Pennan) estimam a evapotranspiração potencial e/ou efetiva e as taxas de infiltração de água (Pereira et al.1997).

O balanço hídrico para as florestas investigadas foi calculado por Mayer et al. (2000b). Esse estudo baseou-se no trabalho de Setzer (1976), que publicou o mapas de isolinhas da evapotranspiração efetiva do Estado de São Paulo, incluindo a Serra do Mar na região de Cubatão. Setzer (1976) mostrou muito bem que a maioria dos cálculos de evapotranspiração, por não serem adaptados a clima super úmido e a grande nebulosidade de regiões montanhosas, não são aplicáveis a Serra do Mar. Assim, eles superestimam a evapotranspiração e, conseqüentemente, subestimam a escoamento superficial e subsuperficial. Os dados de evaporação de Setzer (1976) aplicam-se a um “ano médio”, em termos de temperatura e precipitação. No presente estudo, utilizaram-se as porcentagens de evaporação obtidas por Setzer para estimar a evapotranspiração atual dos valores de precipitação mensal na clareira, que, primeiramente, foram ajustados para perdas por evaporação dentro dos coletores, por comparação com os pluviômetros padrão utilizados por Jaeschke (1997) nas imediações das florestas estudadas. Conforme sugestão de Mayer et al.(2000 a e b), a evaporação do solo nas diferentes profundidades foi estimada fracionando-se a evapotranspiração atual de acordo com a densidade de raízes observada no perfil de solo (Tabela III.10), uma vez que, devido à alta umidade no solo, a perda de água está relacionada principalmente à retirada pelas raízes. Assim, o balanço anual de água no ecossistema estudado, abrangendo o período de setembro de 1991 a agosto de 1995, calculado conforme Mayer et al. (2000b), encontra-se na Tabela IV.12.

Tabela IV.12. Modelo de balanço hídrico para as florestas estudadas na região de Cubatão, conforme Mayer et al. (2000b).

Processo	Pilões (menos poluída)	Moji (fortemente poluída)	Paranapiacaba (moderadamente poluída)
	L m ⁻² ano ⁻¹		
Precipitação anual média *	2903 100%	2770 100%	3155 100%
Precipitação sobcopas observada	2208	2155	2346
estimada	2612 90%	2493 90%	2840 90%
Evapotranspiração anual até 10cm de solo**	(594) 21%	(636) 24%	(465) 15%
Excedente anual de água no solo até 10cm**	2308 80%	2134 77%	2691 85%
Excedente anual de água no solo até 60cm**	2266 78%	2104 76%	2658 84%
Evapotranspiração anual até 100cm **	(679) 24%	(696) 26%	(530) 17%
Excedente anual de água no solo até 100cm**	2223 77%	2075 75%	2625 83%

* Precipitação anual ajustada para perdas por evaporação, conforme Jaeschke (1997)

** calculado na Tabela III.14, conforme Setzer(1976)

Deve ser lembrado que uma pequena fração da chuva alcança o chão florestal através de escoamento pelo tronco. Devido a dificuldades de amostragens em troncos muito irregulares e a considerável dominância de palmeiras, principalmente na floresta de Paranapiacaba, esse fluxo foi amostrado somente nos três primeiros meses de investigação. Embora reduzido nas florestas do Pilões e do Moji (1-2%) esse fluxo foi da ordem de 5% da precipitação sob copas na floresta de Paranapiacaba, concordando com Whitmore (1990). Porcentagens de 1 a 2% foram também encontradas em florestas da Amazônia, nos Estados do Amazonas, Pará e Rondônia (Lloyd & Marques 1988, Ubarana 1995) bem como na Floresta Atlântica de Cunha em São Paulo (Cicco & Arcova, 1999).

O caráter super úmido do clima na Serra do Mar, com altas taxas de precipitação (P) e infiltração (EXC) e pequenas de evapotranspiração/interceptação (ET) são mostradas na Figura IV.3, onde as florestas estudadas são comparadas a Mata Atlântica da região de Cunha (Cicco & Arcova, 1999).

Figura IV.3. Balanço hídrico em florestas da Serra do Mar (*Cunha, dados de Cicco & Arcova 1999).

IV.4.2.1 Considerações sobre o modelo de balanço hídrico adotado para as floresta estudadas

O modelo de balanço hídrico foi adotado em função de vários aspectos:

1. A interceptação da precipitação pela floresta, por definição segundo Curi et al. (1993), é a parada, interrupção e contenção temporária da chuva em qualquer forma por uma cobertura vegetal. A interceptação é estimada pela diferença entre a precipitação sobre o dossel ou na clareira e a soma de dois componentes: Precipitação sob o dossel (sobcopas) mais o escoamento pelo tronco, ou seja:

$$\text{Interceptação} = \text{Precip. clareira} - (\text{Precip. sobcopas} + \text{Escoamento tronco})$$

2. Pelos cálculos de evapotranspiração (Tabela III.14) e de interceptação (Tabela IV.9), tem-se de um lado a floresta poluída do Moji, onde quase toda chuva atinge o solo e, de outro, a de Paranapiacaba, onde a interceptação calculada (a partir dos pluviômetros sobcopas) é maior que a evapotranspiração.
3. O escoamento pelo tronco, embora reduzido nas florestas do Pilões e Moji (1-2%), é relativamente grande em Paranapiacaba (5%), devido à existência de muitos palmiteiros, que tem estipes cilíndricas e lisas facilitando o escoamento da água de chuva até o solo. Além disso, é conhecida a formação de pontas goteira que canalizam e aumentam a entrada de água no solo, diminuindo a interceptação.
4. A densidade de raízes, conforme Tabela III.10, é maior na floresta de Paranapiacaba, resultando, provavelmente, em maior absorção e transpiração de água.
5. A evaporação e transpiração de água da copas deve, provavelmente, ser maior nas florestas do Pilões e Paranapiacaba, devido à maior superfície foliar, resultando em maior perda de água.
6. A evaporação de água do solo deve ser maior na área do Moji, pois o solo está mais exposto às variações de temperatura, uma vez que o dossel é menos denso.
7. A precipitação medida sob o dossel da floresta, (água de gotejamento) apresenta variação muito grande, devido às copas irregulares, e ao pequeno número de coletores utilizados para amostrar uma floresta tão heterogênea/variável em termos de estrutura, como a Floresta Atlântica.
8. A maioria das variações ocorre na interface dossel da vegetação e superfície do solo.
9. O armazenamento ou excedente hídrico ou a quantidade de água que sobra no solo, conforme Reichardt (1985) e Klar (1988) é dado pela equação:

$$A(\text{armazenamento}) = P(\text{precipitação}) + AC(\text{ascensão capilar}) - DP(\text{drenagem profunda}) - RO(\text{escoamento superficial}) - ET(\text{evapotranspiração})$$

10. O escoamento superficial no solo (RO) é desprezível pois as unidades amostrais dentro de cada floresta foram escolhidas de modo que o escoamento lateral da água fosse o mínimo possível.
11. O cálculo de balanço hídrico foi difícil de ser resolvido pois os métodos utilizados para o cálculo de evapotranspiração deram valores muito altos, porque não levam em conta a umidade que é muito elevada na Serra do Mar. O solo é muito úmido e as perdas por evaporação no solo são quase inexistentes.
12. O Atlas de evapotranspiração efetiva do Estado de São Paulo de Setzer (1976) apresenta duas fórmulas para cálculo de evapotranspiração, apropriadas para regiões litorâneas e encostas marítimas.
13. Conforme já mencionado (item IV.1.3), devido aos altos índices pluviométricos na Serra do Mar, a umidade do solo é geralmente muito alta em todo o perfil de solo. Por longos períodos do ano, o conteúdo de água do solo esteve acima da capacidade de campo, sendo portanto, mínima a evaporação de água. Assim, o balanço hídrico nas três profundidades de solo foi feito fracionando-se a evapotranspiração conforme a densidade de raízes observada em cada camada (Mayer et al. 2000b).

IV.3. Concentração de Elementos

IV.3.1 Concentrações Trimestrais, Anuais e Análise de Perfil

O perfil das florestas quanto às concentrações trimestrais dos ânions sulfato, nitrato, cloreto, fluoreto e fosfato na precipitação em clareira e sob copas, na solução do solo coletada a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de superfície ao longo dos quatro anos de estudo é apresentado nas Figuras IV.4. a IV.8, enquanto os valores trimestrais dessas concentrações e respectivas comparações estatísticas encontram-se nos Anexos de 1 a 5. As concentrações anuais médias desses ânions e comparações estatísticas são, por sua vez, apresentadas nas Tabelas IV. 13 a IV.17.

A análise de perfil revela que as concentrações dos ânions SO_4 , NO_3 , Cl, F e PO_4 são estatisticamente superiores na floresta mais poluída (Moji) do que na mais preservada (Pilões). Para todos esses ânions e em todas as etapas estudadas do ciclo hidrológico o Moji tem perfil superior às duas demais áreas. Os ânions sulfato (Figura IV.4), cloreto (Figura IV.6) e fluoreto (Figura IV.7) são significativamente superiores em todas as fases do ciclo hidrológico, o nitrato (Figura IV.5) principalmente na solução do solo, e o fosfato (Figura IV.8) notadamente na água de chuva que entra na floresta poluída do Moji.

As concentrações trimestrais médias de cátions (NH_4 , K, Na, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, Cu, Zn) e de prótons no ciclo hidrológico, com as respectivas comparações estatísticas são apresentadas nos Anexos 6 a 16, enquanto as concentrações anuais médias desses cátions nas Tabelas IV.18 a IV.27. O perfil das florestas quanto aos teores desses cátions nos compartimentos estudados é mostrado nas Figuras IV.9 a IV.18. Verifica-se que as concentrações de NH_4 , Mg, Ca e Al (Anexos 6, 9, 10 e 11 respectivamente) são significativamente superiores no Moji, enquanto as de K e H (Anexos 7 e 16) estatisticamente superiores no Pilões. Para os cátions NH_4 , Mg, Ca e Al (Figuras IV.9, IV.12, IV.13 e IV.14, respectivamente), em todas as fases estudadas do ciclo hidrológico, a floresta do Moji tem perfil superior às duas outras florestas. Com relação ao K, excetuando-se a precipitação em clareira, verifica-se pelas Figura IV.10 que Pilões tem perfil superior às duas demais áreas.

Figura IV.4. Perfil das concentrações trimestrais de sulfato ($\text{SO}_4\text{-S mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.5. Perfil das concentrações trimestrais de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$ mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.6. Perfil das concentrações trimestrais de cloreto (Cl mg L⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.7. Perfil das concentrações trimestrais de fluoreto (F mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.8. Perfil das concentrações trimestrais de fosfato ($\text{PO}_4\text{-P}$ mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Tabela IV.13. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de sulfato ($\text{SO}_4\text{-S}$ mg.l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	1,8 ± 0,2 ^{A b}	6,0 ± 0,5 ^{A a}	2,6 ± 0,3 ^{A b}	6,6 ± 0,7 ^{A b}	12,5 ± 1,5 ^{A a}	5,7 ± 0,5 ^{A b}
2 92/93	1,3 ± 0,3 ^{A b}	4,3 ± 0,7 ^{B a}	1,8 ± 0,5 ^{A b}	4,7 ± 1,0 ^{AB b}	9,0 ± 1,5 ^{B a}	3,5 ± 0,4 ^{B b}
3 93/94	1,1 ± 0,2 ^{A b}	5,0 ± 0,8 ^{A a}	1,8 ± 0,3 ^{A b}	3,9 ± 0,4 ^{B b}	10,4 ± 1,2 ^{B a}	4,5 ± 0,7 ^{B b}
4 94/95	2,5 ± 0,4 ^{A b}	3,9 ± 0,3 ^{B a}	2,6 ± 0,3 ^{A b}	4,2 ± 0,2 ^{B b}	8,9 ± 0,6 ^{B a}	3,4 ± 0,1 ^{B b}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	5,1 ± 0,5 ^{A b}	21,2 ± 0,9 ^{A a}	6,5 ± 0,5 ^{A b}	4,3 ± 0,4 ^{A c}	17,8 ± 1,3 ^{C a}	6,6 ± 0,7 ^{A b}
2 92/93	4,1 ± 0,3 ^{B c}	18,6 ± 1,6 ^{B a}	6,1 ± 0,2 ^{A b}	3,7 ± 0,3 ^{A b}	21,2 ± 1,3 ^{B a}	4,3 ± 0,3 ^{B b}
3 93/94	4,1 ± 0,4 ^{B c}	16,9 ± 1,1 ^{B a}	4,9 ± 0,2 ^{A b}	3,0 ± 0,2 ^{A b}	26,0 ± 1,3 ^{A a}	3,8 ± 0,1 ^{B b}
4 94/95	3,7 ± 0,2 ^{B b}	18,3 ± 1,0 ^{B a}	4,5 ± 0,2 ^{B b}	3,2 ± 0,2 ^{A b}	25,3 ± 2,4 ^{A a}	4,2 ± 0,2 ^{B b}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	3,6 ± 0,4 ^{A b}	16,5 ± 1,0 ^{C a}	4,8 ± 0,4 ^{A b}	2,2 ± 0,3 ^{A a}	2,4 ± 0,3 ^{A a}	2,1 ± 0,2 ^{A a}
2 92/93	2,8 ± 0,2 ^{AB b}	17,0 ± 0,7 ^{BC a}	4,7 ± 0,3 ^{A b}	1,1 ± 0,2 ^{A a}	1,3 ± 0,2 ^{A a}	1,5 ± 0,2 ^{A a}
3 93/94	1,8 ± 0,1 ^{B c}	18,8 ± 0,8 ^{B a}	3,4 ± 0,1 ^{A b}	0,9 ± 0,1 ^{A a}	1,3 ± 0,1 ^{A a}	1,0 ± 0,1 ^{A a}
4 94/95	2,8 ± 0,2 ^{A b}	22,2 ± 1,6 ^{A a}	3,8 ± 0,1 ^{A b}	2,5 ± 0,3 ^{A a}	2,6 ± 0,3 ^{A a}	2,6 ± 0,3 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.14. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$ mg.l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	0,5 ± 0,2 ^{A a}	0,4 ± 0,1 ^{A a}	0,3 ± 0,0 ^{A a}	0,7 ± 0,1 ^{A a}	0,8 ± 0,2 ^{A a}	0,3 ± 0,0 ^{A a}
2 92/93	0,3 ± 0,1 ^{A a}	0,5 ± 0,1 ^{A a}	0,2 ± 0,0 ^{A a}	0,6 ± 0,2 ^{A a}	0,6 ± 0,1 ^{A a}	0,3 ± 0,1 ^{A a}
3 93/94	0,3 ± 0,0 ^{A a}	0,4 ± 0,1 ^{A a}	0,3 ± 0,0 ^{A a}	0,6 ± 0,0 ^{A a}	0,8 ± 0,1 ^{A a}	0,4 ± 0,0 ^{A a}
4 94/95	0,2 ± 0,0 ^{A a}	0,5 ± 0,0 ^{A a}	0,2 ± 0,0 ^{A a}	0,5 ± 0,0 ^{A a}	0,6 ± 0,0 ^{A a}	0,3 ± 0,0 ^{A a}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	6,3 ± 1,2 ^{A b}	17,4 ± 2,7 ^{A a}	1,1 ± 0,1 ^{A c}	1,0 ± 0,2 ^{A b}	14,4 ± 2,4 ^{A a}	0,6 ± 0,1 ^{A b}
2 92/93	3,6 ± 0,6 ^{B b}	10,8 ± 1,7 ^{C a}	0,8 ± 0,2 ^{A c}	0,2 ± 0,0 ^{A b}	6,8 ± 1,0 ^{B a}	0,6 ± 0,1 ^{A b}
3 93/94	4,4 ± 0,5 ^{B b}	17,7 ± 1,7 ^{A a}	1,1 ± 0,2 ^{A c}	0,8 ± 0,1 ^{A b}	13,7 ± 1,5 ^{A a}	0,7 ± 0,1 ^{A b}
4 94/95	2,5 ± 0,3 ^{B b}	15,1 ± 1,4 ^{B a}	1,3 ± 0,1 ^{A c}	1,1 ± 0,1 ^{A b}	14,8 ± 0,6 ^{A a}	0,9 ± 0,1 ^{A b}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	0,8 ± 0,2 ^{A b}	12,6 ± 2,4 ^{C a}	0,7 ± 0,0 ^{A b}	0,4 ± 0,0 ^{A c}	7,5 ± 0,5 ^{A a}	2,6 ± 0,3 ^{A b}
2 92/93	0,6 ± 0,1 ^{A b}	8,9 ± 0,8 ^{D a}	0,5 ± 0,0 ^{A b}	0,4 ± 0,0 ^{A b}	7,2 ± 0,5 ^{A a}	1,9 ± 0,1 ^{B b}
3 93/94	0,7 ± 0,0 ^{A b}	14,5 ± 0,6 ^{B a}	0,5 ± 0,0 ^{A b}	0,4 ± 0,0 ^{A b}	7,5 ± 0,2 ^{A a}	1,7 ± 0,1 ^{B b}
4 94/95	0,9 ± 0,1 ^{A b}	16,4 ± 0,8 ^{A a}	0,8 ± 0,1 ^{A b}	0,5 ± 0,1 ^{A b}	6,9 ± 0,2 ^{B a}	1,8 ± 0,1 ^{B b}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.15. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de cloro ($\text{Cl}^- \text{mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	2,6 ± 0,3 ^{A b}	4,7 ± 0,7 ^{A a}	1,7 ± 0,3 ^{A b}	6,8 ± 0,6 ^{A b}	8,3 ± 0,8 ^{A a}	5,1 ± 0,8 ^{A c}
2 92/93	2,3 ± 0,5 ^{A a}	3,2 ± 1,0 ^{B a}	1,5 ± 0,6 ^{A a}	3,0 ± 0,3 ^{C c}	6,1 ± 1,7 ^{B a}	3,8 ± 1,4 ^{A b}
3 93/94	3,1 ± 0,4 ^{A b}	3,9 ± 0,6 ^{A a}	2,0 ± 0,2 ^{A b}	6,2 ± 0,8 ^{A b}	9,2 ± 1,2 ^{A a}	5,4 ± 0,6 ^{A c}
4 94/95	2,4 ± 0,3 ^{A a}	2,7 ± 0,5 ^{B a}	2,1 ± 0,3 ^{A a}	4,3 ± 0,7 ^{B b}	6,7 ± 0,7 ^{B a}	3,3 ± 0,4 ^{B c}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	6,9 ± 0,5 ^{A b}	12,2 ± 1,3 ^{A a}	3,2 ± 0,4 ^{A c}	7,5 ± 0,5 ^{A b}	8,9 ± 0,7 ^{A a}	3,0 ± 0,2 ^{A c}
2 92/93	4,0 ± 0,7 ^{B b}	9,3 ± 1,9 ^{B a}	2,1 ± 0,7 ^{A c}	3,5 ± 0,3 ^{C b}	7,5 ± 1,7 ^{B a}	1,4 ± 0,2 ^{A c}
3 93/94	6,4 ± 0,7 ^{A b}	12,6 ± 1,8 ^{A a}	3,0 ± 0,3 ^{A c}	6,0 ± 0,9 ^{A a}	6,5 ± 0,9 ^{B a}	2,5 ± 0,2 ^{A b}
4 94/95	4,3 ± 0,6 ^{B b}	13,3 ± 0,7 ^{A a}	2,6 ± 0,4 ^{A c}	4,6 ± 0,5 ^{B b}	9,6 ± 0,9 ^{A a}	2,2 ± 0,3 ^{A c}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	6,4 ± 0,3 ^{A a}	6,4 ± 0,7 ^{A a}	2,5 ± 0,2 ^{A b}	5,5 ± 0,3 ^{A a}	4,9 ± 0,2 ^{A a}	2,8 ± 0,2 ^{A b}
2 92/93	3,4 ± 0,3 ^{C b}	4,6 ± 0,6 ^{B a}	1,3 ± 0,1 ^{A c}	4,4 ± 0,4 ^{A a}	4,0 ± 0,2 ^{A a}	2,2 ± 0,2 ^{A b}
3 93/94	4,0 ± 0,6 ^{B b}	6,2 ± 0,4 ^{A a}	2,1 ± 0,2 ^{A c}	4,6 ± 0,2 ^{A a}	4,3 ± 0,1 ^{A a}	2,5 ± 0,1 ^{A b}
4 94/95	3,0 ± 0,4 ^{C b}	6,1 ± 0,6 ^{A a}	2,1 ± 0,3 ^{A b}	4,5 ± 0,3 ^{A a}	3,5 ± 0,5 ^{B b}	2,0 ± 0,2 ^{A b}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.16. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de flúor (F^- mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	0,1 ± 0,02 ^{A b}	0,4 ± 0,07 ^{B a}	0,2 ± 0,03 ^{A ab}	0,1 ± 0,02 ^{A b}	0,8 ± 0,16 ^{D a}	0,2 ± 0,03 ^{A b}
2 92/93	0,2 ± 0,02 ^{A b}	0,5 ± 0,15 ^{B a}	0,2 ± 0,02 ^{A b}	0,2 ± 0,03 ^{A b}	0,9 ± 0,24 ^{C a}	0,2 ± 0,03 ^{A b}
3 93/94	0,1 ± 0,02 ^{A b}	0,6 ± 0,10 ^{B a}	0,2 ± 0,02 ^{A b}	0,1 ± 0,01 ^{A c}	1,3 ± 0,20 ^{B a}	0,3 ± 0,03 ^{A b}
4 94/95	0,1 ± 0,01 ^{A b}	1,0 ± 0,19 ^{A a}	0,2 ± 0,01 ^{A b}	0,2 ± 0,02 ^{A b}	1,6 ± 0,23 ^{A a}	0,4 ± 0,01 ^{A b}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	0,1 ± 0,02 ^{A b}	1,3 ± 0,10 ^{B a}	0,2 ± 0,03 ^{A b}	0,1 ± 0,03 ^{A b}	1,4 ± 0,10 ^{B a}	0,2 ± 0,03 ^{A b}
2 92/93	0,2 ± 0,02 ^{A b}	1,3 ± 0,11 ^{B a}	0,3 ± 0,03 ^{A b}	0,2 ± 0,02 ^{A b}	1,6 ± 0,08 ^{B a}	0,2 ± 0,03 ^{A b}
3 93/94	0,1 ± 0,01 ^{A b}	1,6 ± 0,09 ^{A a}	0,2 ± 0,02 ^{A b}	0,2 ± 0,01 ^{A b}	1,9 ± 0,12 ^{A a}	0,2 ± 0,01 ^{A b}
4 94/95	0,3 ± 0,03 ^{A b}	0,6 ± 0,10 ^{C a}	0,2 ± 0,04 ^{A b}	0,2 ± 0,02 ^{A b}	0,7 ± 0,16 ^{C a}	0,2 ± 0,03 ^{A b}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	0,2 ± 0,03 ^{A b}	1,0 ± 0,06 ^{B a}	0,2 ± 0,02 ^{A b}	0,1 ± 0,02 ^{A a}	0,1 ± 0,02 ^{A a}	0,1 ± 0,03 ^{A a}
2 92/93	0,3 ± 0,02 ^{A b}	1,0 ± 0,06 ^{B a}	0,2 ± 0,03 ^{A b}	0,2 ± 0,02 ^{A a}	0,2 ± 0,02 ^{A a}	0,2 ± 0,02 ^{A a}
3 93/94	0,2 ± 0,01 ^{A b}	1,3 ± 0,03 ^{A a}	0,1 ± 0,01 ^{A b}	0,1 ± 0,01 ^{A a}	0,1 ± 0,01 ^{A a}	0,1 ± 0,01 ^{A a}
4 94/95	0,3 ± 0,02 ^{A b}	0,6 ± 0,09 ^{C a}	0,1 ± 0,02 ^{A b}	0,1 ± 0,00 ^{A a}	0,2 ± 0,01 ^{A a}	0,1 ± 0,01 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.17. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de fosfato (PO₄-P mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL		MOJ		PAR		PIL		MOJ		PAR	
	Clareira						Sobcopas					
1 91/92	0,043 ±	0,01 ^{A b}	0,295 ±	0,14 ^{A a}	0,038 ±	0,01 ^{B b}	0,113 ±	0,01 ^{A b}	0,277 ±	0,07 ^{AB a}	0,071 ±	0,01 ^{B c}
2 92/93	0,027 ±	0,01 ^{A b}	0,170 ±	0,08 ^{C a}	0,032 ±	0,01 ^{B b}	0,080 ±	0,01 ^{B b}	0,309 ±	0,16 ^{A a}	0,041 ±	0,01 ^{B b}
3 93/94	0,042 ±	0,01 ^{A c}	0,252 ±	0,02 ^{B a}	0,106 ±	0,01 ^{A b}	0,102 ±	0,01 ^{AB b}	0,353 ±	0,04 ^{A a}	0,132 ±	0,01 ^{A b}
4 94/95	0,036 ±	0,00 ^{A b}	0,218 ±	0,01 ^{B a}	0,056 ±	0,00 ^{B b}	0,099 ±	0,01 ^{AB b}	0,255 ±	0,02 ^{B a}	0,080 ±	0,00 ^{B b}
	Solo 10 cm						Solo 60 cm					
1 91/92	0,052 ±	0,01 ^{A a}	0,079 ±	0,02 ^{A a}	0,038 ±	0,01 ^{A a}	0,039 ±	0,01 ^{A a}	0,052 ±	0,01 ^{A a}	0,040 ±	0,01 ^{A a}
2 92/93	0,088 ±	0,01 ^{A a}	0,086 ±	0,01 ^{A a}	0,038 ±	0,00 ^{A a}	0,063 ±	0,01 ^{A a}	0,085 ±	0,02 ^{A a}	0,044 ±	0,01 ^{A a}
3 93/94	0,054 ±	0,00 ^{A a}	0,058 ±	0,00 ^{A a}	0,041 ±	0,00 ^{A a}	0,040 ±	0,01 ^{A a}	0,038 ±	0,00 ^{A a}	0,044 ±	0,00 ^{A a}
4 94/95	0,041 ±	0,01 ^{A a}	0,058 ±	0,00 ^{A a}	0,030 ±	0,00 ^{A a}	0,029 ±	0,00 ^{A a}	0,033 ±	0,00 ^{A a}	0,032 ±	0,00 ^{A a}
	Solo 100 cm						Nascentes					
1 91/92	0,035 ±	0,01 ^{A a}	0,061 ±	0,02 ^{A a}	0,024 ±	0,00 ^{A a}	0,088 ±	0,02 ^{AB a}	0,050 ±	0,01 ^{A a}	0,034 ±	0,01 ^{A a}
2 92/93	0,061 ±	0,01 ^{A a}	0,078 ±	0,01 ^{A a}	0,047 ±	0,01 ^{A a}	0,147 ±	0,03 ^{A a}	0,074 ±	0,01 ^{A b}	0,060 ±	0,01 ^{A b}
3 93/94	0,049 ±	0,01 ^{A a}	0,040 ±	0,01 ^{A a}	0,034 ±	0,00 ^{A a}	0,040 ±	0,01 ^{B a}	0,047 ±	0,00 ^{A a}	0,043 ±	0,00 ^{A a}
4 94/95	0,027 ±	0,00 ^{A a}	0,032 ±	0,01 ^{A a}	0,025 ±	0,00 ^{A a}	0,046 ±	0,01 ^{B a}	0,034 ±	0,00 ^{A a}	0,029 ±	0,00 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.18. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de amônio (NH₄-N mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	0,10 ± 0,02 ^{A b}	1,96 ± 0,74 ^{B a}	0,20 ± 0,05 ^{A b}	0,32 ± 0,05 ^{A b}	2,33 ± 0,36 ^{B a}	0,51 ± 0,08 ^{A b}
2 92/93	0,18 ± 0,03 ^{A b}	2,55 ± 0,67 ^{A a}	0,27 ± 0,05 ^{A b}	0,30 ± 0,06 ^{A b}	3,22 ± 0,70 ^{A a}	0,39 ± 0,06 ^{A b}
3 93/94	0,31 ± 0,09 ^{A b}	2,20 ± 0,23 ^{A a}	0,51 ± 0,06 ^{A b}	0,30 ± 0,04 ^{A b}	3,11 ± 0,27 ^{A a}	0,53 ± 0,03 ^{A b}
4 94/95	0,20 ± 0,02 ^{A b}	2,25 ± 0,40 ^{A a}	0,47 ± 0,03 ^{A b}	0,27 ± 0,01 ^{A b}	2,53 ± 0,24 ^{B a}	0,48 ± 0,03 ^{A b}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	0,13 ± 0,03 ^{A a}	0,20 ± 0,03 ^{A a}	0,11 ± 0,03 ^{A a}	0,07 ± 0,02 ^{A a}	0,09 ± 0,02 ^{A a}	0,12 ± 0,03 ^{A a}
2 92/93	0,23 ± 0,04 ^{A a}	0,20 ± 0,04 ^{A a}	0,16 ± 0,03 ^{A a}	0,11 ± 0,02 ^{A a}	0,12 ± 0,02 ^{A a}	0,12 ± 0,02 ^{A a}
3 93/94	0,09 ± 0,02 ^{A a}	0,20 ± 0,02 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A a}	0,13 ± 0,02 ^{A a}	0,07 ± 0,01 ^{A a}
4 94/95	0,07 ± 0,01 ^{A a}	0,22 ± 0,01 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,09 ± 0,01 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	0,08 ± 0,02 ^{A a}	0,10 ± 0,03 ^{A a}	0,10 ± 0,02 ^{A a}	0,10 ± 0,03 ^{A a}	0,10 ± 0,03 ^{A a}	0,14 ± 0,04 ^{A a}
2 92/93	0,12 ± 0,02 ^{A a}	0,13 ± 0,02 ^{A a}	0,13 ± 0,02 ^{A a}	0,12 ± 0,02 ^{A a}	0,13 ± 0,02 ^{A a}	0,13 ± 0,02 ^{A a}
3 93/94	0,08 ± 0,02 ^{A a}	0,15 ± 0,02 ^{A a}	0,07 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A a}	0,10 ± 0,01 ^{A a}
4 94/95	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,11 ± 0,01 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,02 ^{A a}	0,10 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.19. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de potássio (K mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	0,25 ± 0,05 ^{A a}	0,55 ± 0,23 ^{A a}	0,18 ± 0,04 ^{A a}	6,69 ± 0,73 ^{A a}	2,39 ± 0,31 ^{C b}	2,61 ± 0,45 ^{B b}
2 92/93	0,34 ± 0,05 ^{A a}	0,38 ± 0,06 ^{A a}	0,25 ± 0,03 ^{A a}	5,02 ± 0,56 ^{B a}	2,46 ± 0,25 ^{C b}	2,11 ± 0,21 ^{C c}
3 93/94	0,39 ± 0,08 ^{A a}	0,54 ± 0,07 ^{A a}	0,49 ± 0,05 ^{A a}	6,34 ± 0,67 ^{AB a}	3,62 ± 0,31 ^{B b}	2,91 ± 0,29 ^{B c}
4 94/95	0,49 ± 0,03 ^{A a}	0,56 ± 0,04 ^{A a}	0,51 ± 0,07 ^{A a}	7,06 ± 1,13 ^{A a}	4,66 ± 0,86 ^{Ab}	4,04 ± 1,01 ^{A c}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	3,17 ± 0,22 ^{A a}	2,07 ± 0,19 ^{Ab}	0,28 ± 0,08 ^{A c}	1,11 ± 0,10 ^{A a}	0,31 ± 0,05 ^{Ab}	0,11 ± 0,02 ^{A b}
2 92/93	2,30 ± 0,16 ^{B a}	1,77 ± 0,09 ^{A a}	0,15 ± 0,01 ^{A b}	0,88 ± 0,06 ^{A a}	0,35 ± 0,03 ^{Ab}	0,10 ± 0,01 ^{A b}
3 93/94	2,24 ± 0,22 ^{B a}	1,85 ± 0,26 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A b}	1,02 ± 0,11 ^{A a}	0,22 ± 0,03 ^{Ab}	0,05 ± 0,01 ^{A b}
4 94/95	0,82 ± 0,12 ^{C b}	1,71 ± 0,08 ^{A a}	0,14 ± 0,01 ^{A c}	1,12 ± 0,08 ^{A a}	0,27 ± 0,02 ^{Ab}	0,12 ± 0,01 ^{A b}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	0,35 ± 0,04 ^{A a}	0,38 ± 0,04 ^{A a}	0,27 ± 0,06 ^{A a}	1,13 ± 0,08 ^{A a}	0,99 ± 0,11 ^{A a}	0,58 ± 0,05 ^{A b}
2 92/93	0,40 ± 0,03 ^{A a}	0,39 ± 0,03 ^{A a}	0,22 ± 0,04 ^{A a}	1,39 ± 0,06 ^{A a}	1,19 ± 0,06 ^{A a}	0,80 ± 0,03 ^{A a}
3 93/94	0,38 ± 0,06 ^{A a}	0,18 ± 0,03 ^{A a}	0,09 ± 0,01 ^{A a}	1,17 ± 0,10 ^{A a}	0,91 ± 0,08 ^{A a}	0,58 ± 0,05 ^{A b}
4 94/95	0,45 ± 0,02 ^{A a}	0,17 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A a}	1,35 ± 0,14 ^{A a}	0,92 ± 0,05 ^{A a}	0,72 ± 0,02 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.20. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de sódio (Na mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL			MOJ			PAR			PIL			MOJ			PAR		
Clareira									Sobcopas									
1 91/92	0,8 ± 0,15	B	b	1,5 ± 0,32	B	a	0,6 ± 0,17	A	b	2,5 ± 0,26	B	b	3,3 ± 0,41	B	a	1,7 ± 0,34	B	c
2 92/93	1,3 ± 0,14	AB	a	1,4 ± 0,12	BC	a	0,8 ± 0,15	A	a	2,7 ± 0,20	B	b	3,0 ± 0,25	B	a	1,8 ± 0,17	B	c
3 93/94	1,8 ± 0,28	A	b	2,4 ± 0,38	A	a	1,2 ± 0,16	A	c	3,5 ± 0,41	A	b	4,5 ± 0,47	A	a	2,8 ± 0,34	A	c
4 94/95	1,1 ± 0,20	B	a	1,0 ± 0,32	C	a	0,6 ± 0,11	A	a	2,0 ± 0,32	C	b	2,4 ± 0,44	C	a	1,6 ± 0,22	B	b
Solo 10 cm									Solo 60 cm									
1 91/92	3,3 ± 0,34	A	b	5,5 ± 0,56	A	a	1,5 ± 0,27	A	c	2,4 ± 0,24	A	a	2,5 ± 0,25	A	a	0,9 ± 0,15	A	b
2 92/93	3,1 ± 0,09	A	b	5,7 ± 0,42	A	a	1,1 ± 0,08	B	c	2,5 ± 0,19	A	a	2,7 ± 0,30	A	a	0,8 ± 0,07	A	b
3 93/94	3,7 ± 0,40	A	b	6,2 ± 0,58	A	a	1,6 ± 0,13	A	c	2,7 ± 0,29	A	a	2,4 ± 0,46	A	a	1,1 ± 0,09	A	b
4 94/95	2,2 ± 0,34	B	b	5,7 ± 0,65	A	a	1,4 ± 0,21	A	c	1,8 ± 0,29	B	b	2,4 ± 0,29	A	a	1,3 ± 0,19	A	b
Solo 100 cm									Nascentes									
1 91/92	2,3 ± 0,20	A	a	1,8 ± 0,12	B	b	1,1 ± 0,12	A	c	3,6 ± 0,26	C	c	4,2 ± 0,37	B	a	1,5 ± 0,18	B	b
2 92/93	2,6 ± 0,15	A	a	2,3 ± 0,22	A	a	0,8 ± 0,05	A	b	4,7 ± 0,19	A	a	5,3 ± 0,19	A	a	2,4 ± 0,17	A	b
3 93/94	2,2 ± 0,19	A	a	2,0 ± 0,28	B	b	0,9 ± 0,08	A	c	4,3 ± 0,17	B	b	5,2 ± 0,14	A	a	2,0 ± 0,08	B	c
4 94/95	1,3 ± 0,17	B	a	1,8 ± 0,19	B	a	1,0 ± 0,17	A	b	3,2 ± 0,34	C	b	4,2 ± 0,32	B	a	1,5 ± 0,24	B	c

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.21. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de magnésio (Mg mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	0,1 ± 0,03 ^{A b}	0,6 ± 0,10 ^{B a}	0,2 ± 0,04 ^{A b}	0,9 ± 0,16 ^{A b}	1,9 ± 0,25 ^{B a}	0,8 ± 0,15 ^{B c}
2 92/93	0,1 ± 0,02 ^{A b}	0,6 ± 0,08 ^{B a}	0,1 ± 0,02 ^{A b}	0,8 ± 0,10 ^{B b}	1,8 ± 0,19 ^{B a}	0,7 ± 0,06 ^{B b}
3 93/94	0,3 ± 0,05 ^{A b}	0,9 ± 0,21 ^{A a}	0,4 ± 0,17 ^{A b}	1,0 ± 0,18 ^{A c}	2,8 ± 0,36 ^{A a}	1,3 ± 0,18 ^{A b}
4 94/95	0,1 ± 0,04 ^{A b}	0,7 ± 0,10 ^{B a}	0,1 ± 0,01 ^{A b}	0,8 ± 0,06 ^{AB b}	2,1 ± 0,23 ^{B a}	0,8 ± 0,06 ^{B b}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	2,5 ± 0,27 ^{B b}	3,6 ± 0,42 ^{B a}	0,3 ± 0,04 ^{A c}	1,4 ± 0,09 ^{B a}	1,5 ± 0,18 ^{B a}	0,1 ± 0,02 ^{A b}
2 92/93	1,9 ± 0,25 ^{C b}	3,9 ± 0,22 ^{B a}	0,2 ± 0,02 ^{A c}	1,3 ± 0,08 ^{B b}	2,0 ± 0,09 ^{A a}	0,1 ± 0,02 ^{A c}
3 93/94	3,2 ± 0,36 ^{A b}	4,9 ± 0,48 ^{A a}	0,2 ± 0,04 ^{A c}	2,0 ± 0,12 ^{A a}	2,4 ± 0,13 ^{A a}	0,1 ± 0,02 ^{A b}
4 94/95	3,1 ± 0,47 ^{A b}	5,1 ± 0,37 ^{A a}	0,3 ± 0,02 ^{A c}	1,6 ± 0,06 ^{B b}	2,0 ± 0,11 ^{A a}	0,1 ± 0,01 ^{A c}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	1,3 ± 0,12 ^{A a}	1,3 ± 0,13 ^{B a}	0,1 ± 0,02 ^{A b}	1,6 ± 0,15 ^{B b}	3,3 ± 0,21 ^{B a}	0,9 ± 0,11 ^{A c}
2 92/93	1,4 ± 0,05 ^{A b}	1,9 ± 0,09 ^{A a}	0,1 ± 0,02 ^{A c}	2,0 ± 0,04 ^{A b}	3,9 ± 0,09 ^{A a}	1,2 ± 0,04 ^{A c}
3 93/94	1,5 ± 0,10 ^{A b}	2,0 ± 0,17 ^{A a}	0,0 ± 0,01 ^{A c}	2,2 ± 0,08 ^{A b}	4,0 ± 0,08 ^{A a}	1,3 ± 0,03 ^{A c}
4 94/95	1,5 ± 0,03 ^{A a}	1,7 ± 0,08 ^{B a}	0,0 ± 0,01 ^{A b}	2,2 ± 0,08 ^{A b}	3,7 ± 0,08 ^{A a}	1,2 ± 0,01 ^{A c}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.22. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de cálcio (Ca mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	0,6 ± 0,13 ^{A b}	3,4 ± 0,46 ^{A a}	1,4 ± 0,34 ^{A b}	2,6 ± 0,39 ^{A c}	10,7 ± 1,81 ^{A a}	4,5 ± 1,11 ^{A b}
2 92/93	0,6 ± 0,09 ^{A b}	2,8 ± 0,32 ^{A a}	0,9 ± 0,14 ^{A ab}	1,8 ± 0,26 ^{A b}	6,4 ± 0,76 ^{C a}	2,5 ± 0,31 ^{B b}
3 93/94	0,7 ± 0,10 ^{A b}	3,4 ± 0,40 ^{A a}	1,7 ± 0,29 ^{A b}	1,8 ± 0,19 ^{A c}	8,2 ± 0,79 ^{B a}	3,2 ± 0,34 ^{A b}
4 94/95	0,5 ± 0,06 ^{A b}	2,8 ± 0,29 ^{A a}	1,1 ± 0,10 ^{A ab}	1,7 ± 0,18 ^{A b}	5,6 ± 0,67 ^{C a}	2,1 ± 0,14 ^{B b}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	4,4 ± 0,35 ^{A b}	17,7 ± 1,94 ^{A a}	1,6 ± 0,27 ^{A c}	2,6 ± 0,36 ^{A b}	9,3 ± 1,23 ^{A a}	0,6 ± 0,15 ^{A c}
2 92/93	3,6 ± 0,58 ^{A b}	12,6 ± 1,82 ^{B a}	1,0 ± 0,15 ^{A c}	1,6 ± 0,16 ^{AB b}	7,8 ± 1,32 ^{B a}	0,7 ± 0,12 ^{A b}
3 93/94	2,6 ± 0,21 ^{B b}	8,9 ± 1,15 ^{D a}	0,5 ± 0,06 ^{A c}	0,8 ± 0,12 ^{B b}	2,5 ± 0,60 ^{C a}	0,3 ± 0,10 ^{A b}
4 94/95	1,8 ± 0,13 ^{B b}	10,6 ± 1,42 ^{C a}	0,8 ± 0,09 ^{A b}	0,9 ± 0,13 ^{AB b}	1,7 ± 0,25 ^{C a}	0,3 ± 0,08 ^{A b}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	1,4 ± 0,18 ^{A b}	9,0 ± 1,31 ^{A a}	1,0 ± 0,19 ^{A b}	2,5 ± 0,26 ^{A b}	3,6 ± 0,26 ^{A a}	1,4 ± 0,13 ^{A b}
2 92/93	1,3 ± 0,21 ^{A b}	9,3 ± 1,51 ^{A a}	0,7 ± 0,13 ^{A b}	2,5 ± 0,25 ^{A b}	4,0 ± 0,33 ^{A a}	1,6 ± 0,18 ^{A b}
3 93/94	0,5 ± 0,05 ^{A b}	3,0 ± 0,58 ^{B a}	0,2 ± 0,05 ^{A b}	1,9 ± 0,20 ^{A b}	3,1 ± 0,12 ^{A a}	1,4 ± 0,19 ^{A b}
4 94/95	0,7 ± 0,12 ^{A b}	4,5 ± 1,60 ^{B a}	0,2 ± 0,09 ^{A b}	1,7 ± 0,06 ^{A a}	2,9 ± 0,07 ^{A a}	1,0 ± 0,09 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.23. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de alumínio (Al mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	0,12 ± 0,04 ^{A a}	0,10 ± 0,01 ^{A a}	0,13 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,02 ^{A a}	0,32 ± 0,04 ^{A a}	0,11 ± 0,01 ^{A a}
2 92/93	0,07 ± 0,03 ^{A a}	0,07 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,04 ^{A a}	0,04 ± 0,01 ^{A a}	0,26 ± 0,05 ^{A a}	0,08 ± 0,02 ^{A a}
3 93/94	0,07 ± 0,02 ^{A a}	0,10 ± 0,01 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,04 ± 0,01 ^{A a}	0,48 ± 0,06 ^{A a}	0,18 ± 0,04 ^{A a}
4 94/95	0,05 ± 0,00 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A a}	0,07 ± 0,01 ^{A a}	0,41 ± 0,05 ^{A a}	0,15 ± 0,05 ^{A a}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	0,86 ± 0,09 ^{A b}	7,14 ± 0,66 ^{A a}	1,06 ± 0,09 ^{A b}	0,62 ± 0,06 ^{A c}	11,23 ± 0,84 ^{C a}	1,75 ± 0,07 ^{A b}
2 92/93	0,79 ± 0,16 ^{A b}	4,33 ± 0,66 ^{B a}	0,79 ± 0,11 ^{A b}	0,60 ± 0,14 ^{A c}	8,91 ± 1,47 ^{D a}	1,35 ± 0,14 ^{A b}
3 93/94	0,96 ± 0,10 ^{A b}	7,30 ± 0,53 ^{A a}	1,01 ± 0,03 ^{A b}	0,83 ± 0,05 ^{A c}	20,77 ± 0,48 ^{B a}	1,46 ± 0,03 ^{A b}
4 94/95	0,94 ± 0,09 ^{A b}	7,14 ± 0,41 ^{A a}	0,99 ± 0,02 ^{A b}	0,84 ± 0,13 ^{A c}	25,45 ± 0,41 ^{A a}	1,61 ± 0,03 ^{A b}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	0,39 ± 0,03 ^{A c}	8,68 ± 0,49 ^{C a}	1,65 ± 0,11 ^{A b}	0,07 ± 0,02 ^{A a}	0,07 ± 0,01 ^{A a}	0,29 ± 0,06 ^{A a}
2 92/93	0,26 ± 0,04 ^{A c}	8,61 ± 1,18 ^{C a}	1,54 ± 0,16 ^{A b}	0,03 ± 0,00 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,14 ± 0,03 ^{A a}
3 93/94	0,37 ± 0,01 ^{A c}	13,71 ± 0,67 ^{B a}	1,57 ± 0,06 ^{A b}	0,02 ± 0,00 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,07 ± 0,02 ^{A a}
4 94/95	0,58 ± 0,10 ^{A c}	15,70 ± 0,32 ^{A a}	1,90 ± 0,03 ^{A b}	0,03 ± 0,00 ^{A a}	0,05 ± 0,00 ^{A a}	0,46 ± 0,16 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.24. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de ferro (Fe mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL			MOJ			PAR			PIL			MOJ			PAR								
	Clareira									Sobcopas														
1 91/92	0,07	±	0,01	A a	0,08	±	0,01	B a	0,07	±	0,01	A a	0,09	±	0,01	A a	0,08	±	0,01	A a	0,06	±	0,01	A a
2 92/93	0,03	±	0,01	B a	0,04	±	0,01	A a	0,02	±	0,00	B a	0,06	±	0,02	A a	0,07	±	0,02	A a	0,03	±	0,00	B b
3 93/94	0,03	±	0,00	B b	0,06	±	0,02	B a	0,03	±	0,01	B b	0,05	±	0,00	B b	0,07	±	0,01	A a	0,04	±	0,00	B b
4 94/95	0,09	±	0,02	A a	0,06	±	0,02	B a	0,06	±	0,02	A a	0,08	±	0,01	A a	0,09	±	0,01	A a	0,08	±	0,01	A a
	Solo 10 cm									Solo 60 cm														
1 91/92	0,09	±	0,01	A c	0,18	±	0,01	B b	0,22	±	0,02	B a	0,07	±	0,01	A b	0,08	±	0,01	B b	0,13	±	0,02	A a
2 92/93	0,04	±	0,01	B c	0,15	±	0,01	B b	0,21	±	0,02	B a	0,02	±	0,00	B b	0,04	±	0,01	C b	0,08	±	0,01	B a
3 93/94	0,04	±	0,01	B c	0,18	±	0,00	B b	0,30	±	0,01	A a	0,03	±	0,00	B b	0,05	±	0,00	B a	0,07	±	0,00	B a
4 94/95	0,07	±	0,01	A c	0,23	±	0,02	A b	0,28	±	0,03	A a	0,07	±	0,01	A b	0,10	±	0,01	A a	0,10	±	0,01	A a
	Solo 100 cm									Nascentes														
1 91/92	0,06	±	0,02	A a	0,08	±	0,01	A a	0,07	±	0,01	A a	0,07	±	0,02	A a	0,05	±	0,01	A a B	0,06	±	0,01	B a
2 92/93	0,02	±	0,00	B b	0,04	±	0,01	B b	0,06	±	0,02	A a	0,02	±	0,00	B b	0,08	±	0,05	A a	0,03	±	0,01	C b
3 93/94	0,02	±	0,00	B a	0,05	±	0,01	B a	0,04	±	0,00	B a	0,01	±	0,00	B a	0,03	±	0,00	B a	0,03	±	0,00	C a
4 94/95	0,06	±	0,02	A a	0,09	±	0,02	A a	0,07	±	0,01	A a	0,06	±	0,02	A b	0,06	±	0,02	A b	0,11	±	0,03	A a

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.25. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de manganês (Mn mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL			MOJ			PAR			PIL			MOJ			PAR																		
	Clareira									Sobcopas																								
1 91/92	0,01	±	0,00	A ^a	0,08	±	0,05	A ^a	a	0,02	±	0,00	A ^a	a	0,02	±	0,00	A ^a	a	0,10	±	0,02	A ^a	a	0,07	±	0,01	A ^a	a					
2 92/93	0,01	±	0,00	A ^a	0,03	±	0,00	A ^a	a	0,01	±	0,00	A ^a	a	0,01	±	0,00	A ^a	a	0,01	±	0,00	A ^a	a	0,07	±	0,01	A ^a	a	0,04	±	0,01	A ^a	a
3 93/94	0,04	±	0,03	A ^a	0,03	±	0,01	A ^a	a	0,05	±	0,04	A ^a	a	0,03	±	0,01	A ^a	a	0,03	±	0,01	A ^a	a	0,09	±	0,01	A ^a	a	0,08	±	0,01	A ^a	a
4 94/95	0,01	±	0,00	A ^a	0,02	±	0,01	A ^a	a	0,01	±	0,00	A ^a	a	0,02	±	0,00	A ^a	a	0,02	±	0,00	A ^a	a	0,07	±	0,01	A ^a	a	0,05	±	0,00	A ^a	a
	Solo 10 cm									Solo 60 cm																								
1 91/92	0,38	±	0,04	C ^b	0,42	±	0,04	A ^a	a	0,04	±	0,01	A ^a	c	0,24	±	0,01	A ^a	a	0,30	±	0,03	D ^a	a	0,03	±	0,00	A ^a	b	0,03	±	0,00	A ^a	b
2 92/93	0,53	±	0,20	A ^a	0,33	±	0,02	B ^b	b	0,03	±	0,00	A ^a	c	0,18	±	0,01	B ^b	b	0,36	±	0,03	C ^a	a	0,03	±	0,00	A ^a	c	0,03	±	0,00	A ^a	c
3 93/94	0,44	±	0,05	B ^a	0,39	±	0,03	B ^b	b	0,04	±	0,00	A ^a	c	0,24	±	0,01	A ^b	b	0,56	±	0,01	B ^a	a	0,03	±	0,00	A ^a	c	0,03	±	0,00	A ^a	c
4 94/95	0,29	±	0,03	D ^b	0,37	±	0,03	B ^a	a	0,05	±	0,00	A ^a	c	0,25	±	0,01	A ^b	b	0,73	±	0,02	A ^a	a	0,03	±	0,01	A ^a	c	0,03	±	0,01	A ^a	c
	Solo 100 cm									Nascentes																								
1 91/92	0,13	±	0,01	A ^a	0,22	±	0,01	C ^a	a	0,07	±	0,02	A ^a	b	0,01	±	0,00	A ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	a
2 92/93	0,12	±	0,01	A ^b	0,27	±	0,02	C ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	c	0,01	±	0,00	A ^a	a	0,06	±	0,01	A ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	a
3 93/94	0,11	±	0,01	A ^b	0,39	±	0,02	B ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	c	0,01	±	0,00	A ^a	a	0,03	±	0,00	A ^a	a	0,05	±	0,01	A ^a	a	0,05	±	0,01	A ^a	a
4 94/95	0,13	±	0,01	A ^b	0,48	±	0,03	A ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	c	0,01	±	0,00	A ^a	a	0,04	±	0,00	A ^a	a	0,06	±	0,00	A ^a	a	0,06	±	0,00	A ^a	a

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.26. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de cobre (Cu mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira				Sobcopas		
1 91/92	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,01 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{A b}	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,01 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{A b}
2 92/93	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,02 ± 0,00 ^{AB a}	0,01 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{A b}
3 93/94	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{B a}	0,01 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{A b}
4 94/95	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{B a}	0,01 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{Ba}	0,01 ± 0,00 ^{A a}
Solo 10 cm				Solo 60 cm		
1 91/92	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{A b}	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{A b}
2 92/93	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{A b}	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{A b}
3 93/94	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{A b}	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{A b}
4 94/95	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{B a}	0,01 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{Ba}	0,01 ± 0,00 ^{A a}
Solo 100 cm				Nascentes		
1 91/92	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{A b}	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,01 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{A b}
2 92/93	0,01 ± 0,00 ^{Ab}	0,02 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{A b}	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{Ba}	0,01 ± 0,00 ^{A a}
3 93/94	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,02 ± 0,00 ^{AB a}	0,01 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{Ba}	0,01 ± 0,00 ^{A a}
4 94/95	0,02 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{B a}	0,01 ± 0,00 ^{A a}	0,01 ± 0,00 ^{Aa}	0,01 ± 0,00 ^{Ba}	0,01 ± 0,00 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.27. Concentração anual média $\pm$ erro padrão* (n=4) de zinco (Zn mg.l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	0,04 ± 0,00 ^{B a}	0,04 ± 0,00 ^{B a}	0,05 ± 0,00 ^{B a}	0,05 ± 0,01 ^{C a}	0,07 ± 0,01 ^{B b}	0,05 ± 0,01 ^{B a}
2 92/93	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,05 ± 0,00 ^{B b}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{B a}	0,07 ± 0,01 ^{B a}	0,07 ± 0,01 ^{A a}
3 93/94	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A a}	0,07 ± 0,02 ^{A a}	0,09 ± 0,01 ^{A a}	0,11 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{A a}
4 94/95	0,04 ± 0,01 ^{B ab}	0,04 ± 0,01 ^{B a}	0,03 ± 0,00 ^{C b}	0,04 ± 0,01 ^{C b}	0,08 ± 0,02 ^{B a}	0,04 ± 0,01 ^{B b}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	0,06 ± 0,00 ^{B b}	0,10 ± 0,00 ^{B a}	0,06 ± 0,00 ^{A b}	0,05 ± 0,00 ^{B b}	0,10 ± 0,00 ^{B a}	0,06 ± 0,01 ^{A b}
2 92/93	0,07 ± 0,01 ^{B b}	0,11 ± 0,01 ^{B a}	0,06 ± 0,01 ^{A b}	0,06 ± 0,01 ^{AB b}	0,10 ± 0,01 ^{B a}	0,05 ± 0,01 ^{A b}
3 93/94	0,09 ± 0,01 ^{A b}	0,13 ± 0,02 ^{A a}	0,08 ± 0,02 ^{A c}	0,07 ± 0,01 ^{A b}	0,12 ± 0,02 ^{A a}	0,05 ± 0,01 ^{A c}
4 94/95	0,03 ± 0,00 ^{C b}	0,07 ± 0,01 ^{C a}	0,04 ± 0,00 ^{B b}	0,05 ± 0,01 ^{B b}	0,08 ± 0,01 ^{C a}	0,03 ± 0,00 ^{B c}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	0,06 ± 0,01 ^{B b}	0,09 ± 0,00 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{B b}	0,03 ± 0,00 ^{AB a}	0,03 ± 0,00 ^{B a}	0,04 ± 0,00 ^{BC a}
2 92/93	0,06 ± 0,01 ^{B b}	0,10 ± 0,01 ^{A a}	0,05 ± 0,01 ^{B b}	0,05 ± 0,01 ^{A a}	0,03 ± 0,00 ^{AB a}	0,05 ± 0,01 ^{B a}
3 93/94	0,07 ± 0,01 ^{B b}	0,10 ± 0,01 ^{A a}	0,06 ± 0,01 ^{A b}	0,05 ± 0,01 ^{A b}	0,05 ± 0,01 ^{A b}	0,06 ± 0,01 ^{A a}
4 94/95	0,09 ± 0,01 ^{A a}	0,08 ± 0,01 ^{B b}	0,03 ± 0,00 ^{C c}	0,02 ± 0,00 ^{B a}	0,02 ± 0,00 ^{B a}	0,02 ± 0,00 ^{C a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Figura IV.9. Perfil das concentrações trimestrais de amônio ($\text{NH}_4\text{-N} \text{ mg L}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.10. Perfil das concentrações trimestrais de potássio ($K \text{ mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.11. Perfil das concentrações trimestrais de sódio (Na mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.12. Perfil das concentrações trimestrais de magnésio (Mg mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.13. Perfil das concentrações trimestrais de cálcio (Ca mg L⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.14. Perfil das concentrações trimestrais de alumínio (AL mg L⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.15. Perfil das concentrações trimestrais de ferro (Fe mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.16. Perfil das concentrações trimestrais de manganês (Mn mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.17. Perfil das concentrações trimestrais de cobre (Cu mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Figura IV.18. Perfil das concentrações trimestrais de zinco (Zn mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

As concentrações de Mn (Figura IV.16, Anexo 13, Tabela IV.25) também são, de um modo geral, superiores na solução do solo do Pilões.

Constata-se, também, que a área moderadamente atingida pela poluição (Paranapiacaba) ocupa uma posição intermediária, tanto em relação ao perfil dos cátions como ao dos ânions considerados.

Os valores trimestrais e anuais médios de pH e da saturação de cátions ácidos na água que atravessa o sistema solo-planta ao longo dos quatro anos de estudo nas três florestas investigadas são apresentados nos Anexos 17 e 18 (trimestrais) e Tabelas IV.28 e IV.29 (anuais), enquanto que o perfil dos valores trimestrais é mostrado nas Figuras IV.19 e IV.20, respectivamente. Considerou-se como porcentagem de acidez ou de saturação de cátions ácidos a porcentagem de prótons e cátions ácidos em relação a soma total de cátions (ácidos e básicos) em solução.

Quanto ao pH (Figura IV.19), os valores na precipitação são estatisticamente semelhantes nas três áreas. Na solução do solo e na água de superfície, os valores de pH são estatisticamente mais altos na área mais preservada do Pilões, ou seja, significativamente mais ácidos na solução do solo do Moji e Paranapiacaba (Anexo 17 e Tabela IV.28).

Os dados mostram que a água é acidificada durante sua passagem através do solo, possivelmente devido à deposição substâncias acidificantes, como por exemplo, amônio e processos de nitrificação na camada superficial, principalmente, nas florestas do Moji e Paranapiacaba. Considerando que as águas de superfície (nascentes) parecem ser bem tamponadas, significa que as camadas mais profundas do solo (100cm) são acidificadas pela deposição atmosférica e perda de cátions básicos. A entrada de ácidos ou substâncias acidificantes excede a capacidade tampão dos solos da região.

Figura IV.19. Perfil dos valores trimestrais de pH na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

$$\% \text{ de acidez} = \frac{(H + Ma) * 100}{(H + Ma + Mb)}, \text{ onde } H^+ = \text{prótons; Ma} = \text{cátions ácidos e Mb} = \text{cátions básicos}$$

Figura IV.20. Perfil da saturação de cátions ácidos na água de chuva em clareira e sob copas, na água do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de setembro/91 a agosto/95, nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Tabela IV.28. Valores anuais médios $\pm$ erro padrão de pH * (n=4) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira			Sobcopas			
1 91/92	4,9 ± 0,1 ^{A c}	5,5 ± 0,2 ^{A a}	5,2 ± 0,1 ^{A b}	6,0 ± 0,1 ^{A a}	5,5 ± 0,1 ^{A c}	5,5 ± 0,1 ^{A b}
2 92/93	4,8 ± 0,2 ^{AB b}	5,2 ± 0,1 ^{B a}	5,2 ± 0,1 ^{A a}	5,7 ± 0,1 ^{B a}	5,1 ± 0,0 ^{B b}	5,5 ± 0,1 ^{A a}
3 93/94	4,4 ± 0,1 ^{C b}	5,0 ± 0,1 ^{B a}	5,2 ± 0,1 ^{A a}	5,1 ± 0,1 ^{C a}	4,8 ± 0,1 ^{C b}	4,9 ± 0,1 ^{B b}
4 94/95	4,5 ± 0,2 ^{B b}	5,1 ± 0,0 ^{B a}	5,1 ± 0,1 ^{A a}	5,2 ± 0,1 ^{C a}	4,9 ± 0,1 ^{C b}	4,9 ± 0,1 ^{B b}
Solo 10 cm			Solo 60 cm			
1 91/92	4,7 ± 0,0 ^{A a}	3,6 ± 0,0 ^{AB c}	3,8 ± 0,0 ^{A b}	4,6 ± 0,0 ^{A a}	3,9 ± 0,0 ^{A c}	4,0 ± 0,1 ^{A b}
2 92/93	4,7 ± 0,1 ^{B a}	3,7 ± 0,0 ^{A b}	3,7 ± 0,0 ^{AB b}	4,5 ± 0,1 ^{A a}	3,8 ± 0,0 ^{A b}	3,8 ± 0,0 ^{B b}
3 93/94	4,3 ± 0,1 ^{C a}	3,4 ± 0,1 ^{B b}	3,5 ± 0,1 ^{B b}	4,3 ± 0,1 ^{B a}	3,5 ± 0,1 ^{B b}	3,5 ± 0,1 ^{C b}
4 94/95	4,4 ± 0,1 ^{C a}	3,5 ± 0,1 ^{AB b}	3,4 ± 0,0 ^{B b}	4,5 ± 0,0 ^{B a}	3,5 ± 0,0 ^{B b}	3,5 ± 0,1 ^{C b}
Solo 100 cm			Nascentes			
1 91/92	4,9 ± 0,0 ^{A a}	4,0 ± 0,0 ^{A b}	4,2 ± 0,1 ^{A b}	6,7 ± 0,1 ^{A a}	5,5 ± 0,1 ^{A b}	5,0 ± 0,0 ^{A c}
2 92/93	5,0 ± 0,0 ^{A a}	3,9 ± 0,0 ^{B c}	4,0 ± 0,0 ^{A b}	6,6 ± 0,1 ^{A a}	5,3 ± 0,1 ^{A b}	5,0 ± 0,1 ^{A c}
3 93/94	4,5 ± 0,1 ^{B a}	3,6 ± 0,1 ^{C b}	3,7 ± 0,1 ^{B b}	6,0 ± 0,1 ^{B a}	5,0 ± 0,1 ^{B b}	4,7 ± 0,1 ^{B c}
4 94/95	4,5 ± 0,1 ^{B a}	3,6 ± 0,1 ^{C b}	3,6 ± 0,1 ^{B b}	5,8 ± 0,1 ^{B a}	4,8 ± 0,1 ^{B b}	4,4 ± 0,1 ^{C c}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

Tabela IV.29. Valores anuais médios $\pm$ erro padrão* (n=4) de saturação de cátions ácidos (% ***) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, nos quatro anos de estudo (1991 a 1995) nas três áreas estudadas em Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Ano	PIL		MOJ		PAR		PIL		MOJ		PAR	
	Clareira						Sobcopas					
1 91/92	35 ±	4,84 ^{AB a}	30 ±	4,27 ^{B a}	33 ±	5,28 ^{A a}	8 ±	1,51 ^{A c}	20 ±	2,21 ^{B a}	14 ±	1,75 ^{A b}
2 92/93	33 ±	5,54 ^{B b}	38 ±	5,52 ^{A a}	31 ±	4,19 ^{A b}	9 ±	2,11 ^{A c}	27 ±	3,12 ^{AB a}	12 ±	1,03 ^{A b}
3 93/94	38 ±	5,13 ^{A a}	37 ±	2,63 ^{A a}	29 ±	5,75 ^{A a}	9 ±	1,56 ^{A c}	25 ±	0,95 ^{B a}	16 ±	1,93 ^{A b}
4 94/95	43 ±	6,64 ^{A a}	42 ±	4,69 ^{A a}	35 ±	2,86 ^{A a}	10 ±	1,52 ^{A c}	28 ±	1,78 ^{A a}	18 ±	1,34 ^{A b}
	Solo 10 cm						Solo 60 cm					
1 91/92	19 ±	1,10 ^{B c}	42 ±	2,24 ^{B b}	65 ±	3,16 ^{C a}	23 ±	1,46 ^{B c}	66 ±	3,46 ^{B b}	80 ±	2,61 ^{B a}
2 92/93	23 ±	2,91 ^{B c}	37 ±	2,95 ^{B b}	73 ±	1,86 ^{B a}	27 ±	3,07 ^{A c}	60 ±	4,94 ^{C b}	80 ±	1,38 ^{B a}
3 93/94	25 ±	1,55 ^{B c}	53 ±	1,63 ^{A b}	81 ±	2,01 ^{A a}	34 ±	1,11 ^{A b}	87 ±	1,63 ^{A a}	87 ±	1,25 ^{A a}
4 94/95	28 ±	1,55 ^{A c}	49 ±	2,52 ^{A b}	80 ±	1,71 ^{A a}	34 ±	3,30 ^{A b}	90 ±	0,49 ^{A a}	87 ±	1,37 ^{A a}
	Solo 100 cm						Nascentes					
1 91/92	20 ±	1,07 ^{B c}	63 ±	3,05 ^{B b}	72 ±	3,57 ^{C a}	4 ±	0,71 ^{A b}	3 ±	0,32 ^{A b}	21 ±	1,82 ^{B a}
2 92/93	16 ±	1,24 ^{C c}	58 ±	5,10 ^{B b}	76 ±	2,07 ^{B a}	2 ±	0,28 ^{A b}	3 ±	0,55 ^{A b}	12 ±	1,14 ^{C a}
3 93/94	26 ±	1,36 ^{B b}	82 ±	2,44 ^{A a}	88 ±	1,06 ^{A a}	2 ±	0,08 ^{A b}	4 ±	0,42 ^{A b}	15 ±	1,63 ^{C a}
4 94/95	32 ±	3,09 ^{A b}	83 ±	2,26 ^{A a}	89 ±	1,11 ^{A a}	3 ±	0,35 ^{A b}	5 ±	0,45 ^{A b}	30 ±	4,88 ^{A a}

* média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Em cada compartimento, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student

*** % de acidez = $\frac{(H + Ma) * 100}{(H + Ma + Mb)}$, onde H+ = prótons; Ma = cátions ácidos e Mb = cátions básicos

IV.3.2 Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais utilizada para apontar os elementos químicos mais significativos encontrados em cada compartimento ao longo dos quatro anos nas três florestas estudadas, é apresentada na Tabela IV.30 e Figuras de IV.21 a IV.26. Nessas figuras, foram plotados o primeiro componente principal contra o segundo para verificar como se daria a separação das florestas estudadas em termos das concentrações iônicas encontradas na água que atravessa o sistema solo-planta. De modo geral, independentemente do compartimento, verifica-se que o primeiro componente principal (PRIN1) envolve elementos ou substâncias acidificantes (sulfato, cloreto, fluoreto, amônio) e o segundo componente principal (PRIN2), envolve cátions nutrientes como potássio, ferro, sódio, fósforo. Com a passagem da água no ecossistema, a separação das áreas fica bem distinta, prevalecendo substâncias acidificantes na floresta do Moji e mais básicas na floresta do Pilões.

Na precipitação em clareira (Figura IV.21), somente a floresta do Moji se apresenta separada das duas outras em termos de concentrações dos elementos químicos verificados. O componente principal 1, que explica 35% da variação total, é basicamente formado por cálcio, sulfato, magnésio, fluoreto, cloreto e fosfato, enquanto o componente 2, que explica mais 10% da variação, envolve principalmente o ferro, manganês, amônio, fosfato e potássio. Conforme pode ser visto nas Tabelas IV.13, IV.16, IV.17, IV.18, IV.21 e IV.22 as concentrações desses elementos na precipitação em clareira são muito maiores no Moji do que no Pilões, destacando o sulfato (relação 3/1), fluoreto (7/1), magnésio (5/1), cálcio (6/1), fosfato (6/1) e amônio (11/1).

Na precipitação que atinge o solo (sobcopas), conforme a Figura IV.22, as áreas se apresentam um pouco separadas, sendo o primeiro componente (explica 47% da variação total) formado por uma série de elementos (Mg, SO₄, Ca, Mn, F, PO₄, Cl e NH₄) enquanto o segundo componente (explica mais 14% da variação), principalmente pelo K, pH e quantidade de chuva (L/m²) por área.

Tabela IV.30. Resumo dos coeficientes padronizados dos dois primeiros componentes principais (PRIN1 e PRIN2) das concentrações de elementos químicos¹ no ciclo hidrológico das três florestas estudadas em Cubatão.

Componentes Principais			
Precipitação na Clareira		Água do Solo a 60cm	
PRIN1	PRIN2	PRIN1	PRIN2
0,36Ca	0,47Fe	0,38SO ₄	0,54K
0,35SO ₄	0,46Mn	0,38Al	0,46pH
0,34Mg	-0,35NH ₄	0,37NO ₃	-0,36Fe
0,32F	-0,32PO ₄	0,37Mn	0,36Na
0,30Cl	-0,32K	0,33F	0,31Mg
0,29PO ₄	-0,24NO ₃	0,32Mg	0,21Cl
li/ Σli² 35%	li/ Σli 45%	li/ Σli 39%	li/ Σli 59%
Precipitação Sobcopas		Água do Solo a 100 cm	
0,34Mg	0,53K	0,38Mn	0,48Na
0,33SO ₄	0,45pH	0,38NO ₃	0,47K
0,32Ca	-0,40L m ⁻²	0,37SO ₄	0,47pH
0,29Mn	0,25NO ₃	0,37Al	0,34Mg
0,29F	-0,22NH ₄	0,35F	0,23Cl
0,29PO ₄	-0,22F		
0,29Cl	0,21Fe		
0,29NH ₄	0,21Cl		
li/ Σli 47%	li/ Σli 61%	li/ Σli 42%	li/ Σli 60%
Água do Solo a 10 cm		Água de Nascentes	
0,35NO ₃	0,54pH	0,44Na	0,55NO ₃
0,34Al	-0,53Fe	0,39Cl	-0,40pH
0,33Na	0,43K	0,36Mg	0,39Mn
0,33SO ₄	0,34Mn	0,35K	0,38Mg
0,32Cl	-0,20SO ₄	0,32Ca	0,32Ca
0,32Mg	-0,16Al	0,31pH	-0,20PO ₄
0,29F	-0,16F	-0,27Al	0,20F
li/ Σli 51%	li/ Σli 70%	li/ Σli 28%	li/ Σli 47%

¹ Al, Ca, Fe, Mg, Mn, NH₄, K, Na, Cl, F, H₂PO₄, NO₃, SO₄, pH

² $\lambda_i / \Sigma \lambda_i$ - proporção da variação total explicada pelos componentes principais

Figura IV.21. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na precipitação que atinge a floresta (clareira).

Figura IV.22. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na precipitação que atinge o solo (sobcopas).

PRIN1=+0, 35NO₃+0, 34Al+0, 33Na+0, 33SO₄+0, 32Cl+0, 32Mg+0, 29F

Figura IV.23. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na água do solo a 10 cm de profundidade.

Figura IV.24. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na água do solo a 60 cm de profundidade.

PRIN2=+0, 48Na+0, 47K+0, 47pH+0, 34Mg

Figura IV.25. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na água do solo a 100 cm de profundidade.

PRIN2=+0, 55NO₃- 0, 40pH+0, 39Mn+0, 38Mg+0, 32Ca

Figura IV.26. Gráfico de dispersão das áreas segundo os dois primeiros componentes principais das concentrações de elementos químicos na água de superfície (nascentes).

Portanto, a passagem da água de chuva pelo dossel da floresta (Figura IV.22) evidencia uma pequena separação das três áreas, predominando o componente 1 na floresta do Moji e o componente 2 na floresta do Pilões. O potássio já passa a se tornar um elemento importante.

Na solução do solo (Figuras IV.23, IV.24 e IV.25), as três florestas investigadas se apresentam perfeitamente separadas, em termos da composição química encontrada ao longo do quatro anos de estudo, sendo que elementos como alumínio e nitrato passam a predominar entre os componentes principais.

A 60cm de profundidade (Figura IV.24), camada que melhor exprime a situação química do solo, pois a 10cm há maior influência atmosférica e a 100cm maior influência da camada rochosa, as florestas se apresentam perfeitamente separadas quanto a composição química da solução do solo. O componente principal 1, que explica 39% da variação total, é formado principalmente por sulfato, alumínio, manganês, nitrato, flúor e magnésio, enquanto o componente principal 2 (explica mais 20% da variação, totalizando 59% da variação total) basicamente por potássio, pH, sódio, ferro, sódio e magnésio. O componente 1 tem expressão máxima na floresta fortemente poluída (Moji), enquanto que o componente 2 na floresta menos poluída (Pilões), com a floresta de Paranapiacaba (moderadamente poluída) ocupando uma posição intermediária.

Na água de nascentes e de pequenos córregos (Figura IV.26) as áreas também estão perfeitamente separadas, mas a situação se inverte. O componente 1 (Na, Cl, Mg, K, Ca, pH), que explica 28% da variação total e o componente 2 (NO_3 , Mn, Mg, Ca), que explica mais 19% da variação, tem maior expressão na área mais poluída do Moji. No Pilões sobressai o componente 1, enquanto que Paranapiacaba os dois componentes tem pequena expressão .

Pode-se, portanto, com a análise de componentes principais separar os elementos químicos mais significativos na água que atravessa a floresta, resumindo as informações.

IV.3.3 Concentrações Médias de Cátions e Ânions

As concentrações médias de ânions e cátions na precipitação que atinge a floresta (clareira) e o solo (sobcopas), na água que percola através do solo a 10, 60 e 100cm de profundidade e na água de superfície (nascentes), com sua respectivas comparações estatísticas, são apresentadas nas Tabelas IV.31 e 32. Os valores de pH e da saturação de cátions ácidos na água que atravessa o sistema encontram-se, por sua vez, na Tabela IV.33.

Na precipitação que chega na floresta (clareira), a concentração da maioria dos íons foi significativamente mais alta no Moji do que no Pilões, destacando-se o sulfato (relação 3/1), fluoreto (7/1), magnésio (5/1), cálcio (6/1), fosfato (6/1) e amônio (11/1). Houve pequena variação dos valores de pH, embora os mesmos tenham sido significativamente mais baixos no Pilões (Tabela IV.33).

Provavelmente, o tamponamento por material particulado evidenciado pelas altas concentrações de cálcio e magnésio, e também por altas misturas de amônia anidra (NH_3) no ar, pode ter contribuído para que o pH fosse um pouco mais elevado na área fortemente poluída do Moji. Por outro lado, devido às dificuldades de amostragem e preservação da amostra não foram determinados o bicarbonato e a matéria orgânica dissolvidos, o que explicaria os valores mais baixos de pH na floresta mais preservada do Pilões. Apesar disso, durante os quatro anos de investigação, a soma de cátions e ânions, na maior parte do tempo, se mostrou balanceada.

Com a passagem da água de chuva pelo dossel da floresta (sobcopas), a concentração da maioria dos íons aumenta consideravelmente. Esse aumento ocorreu principalmente para o potássio, cujas relações (Clareira/Sobcopas) estiveram ao redor de 18/1 no Pilões e de 6/1 no Moji e Paranapiacaba. Além do potássio, isso também ocorreu com o sulfato, cloreto, magnésio, sódio e cálcio. Entretanto, a passagem da água de chuva pelo dossel da floresta teve pouca influência sobre as concentrações de amônio e sobre o pH.

Tabela IV.31. Concentração média $\pm$ erro padrão* de ânions, no período de setembro de 1991 a agosto de 1995, na água que atravessa as três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

		Pilões		Moji		Paranapiacaba	
		mgL ⁻¹	meqL ⁻¹	mgL ⁻¹	meqL ⁻¹	mgL ⁻¹	meqL ⁻¹
SO ₄ -S**	Clareira	1,67 $\pm$ 0,15	104 ^{D b}	4,81 $\pm$ 0,32	300 ^{D a}	2,20 $\pm$ 0,18	137 ^{C b}
	Sobcopas	4,86 $\pm$ 0,35	304 ^{A b}	10,21 $\pm$ 0,62	638 ^{C a}	4,28 $\pm$ 0,26	267 ^{B c}
	Solo 10 cm	4,24 $\pm$ 0,20	265 ^{B c}	18,76 $\pm$ 0,61	1172 ^{B a}	5,48 $\pm$ 0,19	342 ^{A b}
	Solo 60 cm	3,55 $\pm$ 0,15	222 ^{B c}	22,58 $\pm$ 0,93	1410 ^{A a}	4,72 $\pm$ 0,24	295 ^{A b}
	Solo 100 cm	2,76 $\pm$ 0,15	172 ^{C c}	18,62 $\pm$ 0,62	1163 ^{B a}	4,18 $\pm$ 0,15	261 ^{B b}
	Nascentes	1,70 $\pm$ 0,16	106 ^{D a}	1,90 $\pm$ 0,15	118 ^{E a}	1,81 $\pm$ 0,14	113 ^{C a}
NO ₃ -N	Clareira	0,32 $\pm$ 0,06	23 ^{B a}	0,46 $\pm$ 0,04	33 ^{D a}	0,24 $\pm$ 0,02	17 ^{B a}
	Sobcopas	0,60 $\pm$ 0,04	43 ^{B a}	0,70 $\pm$ 0,06	50 ^{D a}	0,32 $\pm$ 0,02	23 ^{B a}
	Solo 10 cm	4,21 $\pm$ 0,40	298 ^{A b}	15,26 $\pm$ 0,99	1081 ^{A a}	1,08 $\pm$ 0,07	76 ^{AB c}
	Solo 60 cm	0,80 $\pm$ 0,07	57 ^{B b}	12,43 $\pm$ 0,87	880 ^{B a}	0,71 $\pm$ 0,05	50 ^{B b}
	Solo 100 cm	0,74 $\pm$ 0,05	52 ^{B b}	13,08 $\pm$ 0,74	927 ^{B a}	0,62 $\pm$ 0,03	44 ^{B b}
	Nascentes	0,42 $\pm$ 0,02	30 ^{B c}	7,27 $\pm$ 0,18	515 ^{C a}	2,01 $\pm$ 0,10	142 ^{A b}
Cl	Clareira	2,62 $\pm$ 0,20	73 ^{C b}	3,65 $\pm$ 0,37	102 ^{E a}	1,82 $\pm$ 0,17	51 ^{B b}
	Sobcopas	5,07 $\pm$ 0,37	142 ^{A a}	7,56 $\pm$ 0,59	212 ^{B b}	4,39 $\pm$ 0,43	123 ^{A c}
	Solo 10 cm	5,41 $\pm$ 0,36	152 ^{A b}	11,84 $\pm$ 0,76	332 ^{A a}	2,72 $\pm$ 0,22	76 ^{B c}
	Solo 60 cm	5,40 $\pm$ 0,37	151 ^{A a}	8,13 $\pm$ 0,56	228 ^{B b}	2,29 $\pm$ 0,14	64 ^{B c}
	Solo 100 cm	4,17 $\pm$ 0,27	117 ^{B b}	5,80 $\pm$ 0,30	162 ^{C a}	2,00 $\pm$ 0,12	56 ^{B c}
	Nascentes	4,75 $\pm$ 0,16	133 ^{B a}	4,19 $\pm$ 0,16	117 ^{D a}	2,36 $\pm$ 0,10	66 ^{B b}
F	Clareira	0,12 $\pm$ 0,01	6 ^{A b}	0,63 $\pm$ 0,08	33 ^{D a}	0,17 $\pm$ 0,01	9 ^{AB b}
	Sobcopas	0,16 $\pm$ 0,01	9 ^{A b}	1,14 $\pm$ 0,11	60 ^{B a}	0,26 $\pm$ 0,02	14 ^{A b}
	Solo 10 cm	0,18 $\pm$ 0,01	9 ^{A b}	1,20 $\pm$ 0,07	63 ^{B a}	0,22 $\pm$ 0,01	12 ^{AB b}
	Solo 60 cm	0,18 $\pm$ 0,01	10 ^{A b}	1,40 $\pm$ 0,09	74 ^{A a}	0,19 $\pm$ 0,01	10 ^{AB b}
	Solo 100 cm	0,22 $\pm$ 0,01	12 ^{A b}	0,97 $\pm$ 0,05	51 ^{C a}	0,17 $\pm$ 0,01	9 ^{AB b}
	Nascentes	0,13 $\pm$ 0,01	7 ^{A a}	0,15 $\pm$ 0,01	8 ^{E a}	0,14 $\pm$ 0,01	7 ^{B a}
PO ₄ -P	Clareira	0,04 $\pm$ 0,00	4 ^{C b}	0,23 $\pm$ 0,04	23 ^{B a}	0,06 $\pm$ 0,01	6 ^{B b}
	Sobcopas	0,10 $\pm$ 0,01	10 ^{A b}	0,30 $\pm$ 0,04	29 ^{A a}	0,08 $\pm$ 0,01	8 ^{A b}
	Solo 10 cm	0,06 $\pm$ 0,01	6 ^{AB a}	0,07 $\pm$ 0,01	7 ^{BC a}	0,04 $\pm$ 0,00	4 ^{B a}
	Solo 60 cm	0,04 $\pm$ 0,00	4 ^{C a}	0,05 $\pm$ 0,01	5 ^{C a}	0,04 $\pm$ 0,00	4 ^{B a}
	Solo 100 cm	0,04 $\pm$ 0,00	4 ^{C a}	0,05 $\pm$ 0,01	5 ^{C a}	0,03 $\pm$ 0,00	3 ^{B a}
	Nascentes	0,08 $\pm$ 0,01	8 ^{A a}	0,05 $\pm$ 0,00	5 ^{C b}	0,04 $\pm$ 0,00	4 ^{B b}
S ânions	Clareira		210		491		220
	Sobcopas		506		988		435
	Solo 10 cm		729		2654		510
	Solo 60 cm		444		2596		423
	Solo 100 cm		357		2308		373
	Nascentes		283		764		333

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Para cada variável, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t-student

Tabela IV.32. Concentração média $\pm$ erro padrão* de cátions, no período de setembro/91 a agosto/95, na água que atravessa as três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

		Pilões		Moji		Paranapiacaba	
		mgL^{-1}	meqL^{-1}	mgL^{-1}	meqL^{-1}	mgL^{-1}	ueqL^{-1}
NH₄-N**	Clareira	$0,20 \pm 0,03$	14 ^{A c}	$2,24 \pm 0,26$	159 ^{B a}	$0,36 \pm 0,03$	26 ^{A b}
	Sobcopas	$0,30 \pm 0,02$	21 ^{A b}	$2,80 \pm 0,21$	199 ^{A a}	$0,48 \pm 0,03$	34 ^{A b}
	Solo 10 cm	$0,13 \pm 0,01$	9 ^{A a}	$0,20 \pm 0,01$	14 ^{C a}	$0,10 \pm 0,01$	7 ^{B a}
	Solo 60 cm	$0,08 \pm 0,01$	6 ^{A a}	$0,11 \pm 0,01$	7 ^{C a}	$0,09 \pm 0,01$	7 ^{B a}
	Solo 100 cm	$0,09 \pm 0,01$	6 ^{A a}	$0,12 \pm 0,01$	8 ^{C a}	$0,09 \pm 0,01$	6 ^{B a}
	Nascentes	$0,10 \pm 0,01$	7 ^{A a}	$0,10 \pm 0,01$	7 ^{C a}	$0,11 \pm 0,01$	8 ^{B a}
K	Clareira	$0,37 \pm 0,03$	9 ^{D a}	$0,51 \pm 0,06$	13 ^{D a}	$0,36 \pm 0,03$	9 ^{BC a}
	Sobcopas	$6,28 \pm 0,41$	160 ^{A a}	$3,28 \pm 0,28$	84 ^{A b}	$2,92 \pm 0,31$	74 ^{A b}
	Solo 10 cm	$2,13 \pm 0,15$	54 ^{B a}	$1,85 \pm 0,09$	47 ^{B a}	$0,16 \pm 0,02$	4 ^{C b}
	Solo 60 cm	$1,03 \pm 0,05$	26 ^{C a}	$0,28 \pm 0,02$	7 ^{E b}	$0,10 \pm 0,01$	2 ^{C b}
	Solo 100 cm	$0,40 \pm 0,02$	10 ^{D a}	$0,28 \pm 0,02$	7 ^{E a}	$0,17 \pm 0,02$	4 ^{C a}
	Nascentes	$1,26 \pm 0,05$	32 ^{C a}	$1,00 \pm 0,04$	26 ^{C a}	$0,67 \pm 0,02$	17 ^{B b}
Na	Clareira	$1,26 \pm 0,11$	55 ^{E a}	$1,57 \pm 0,16$	68 ^{F a}	$0,81 \pm 0,08$	35 ^{C b}
	Sobcopas	$2,67 \pm 0,17$	117 ^{C b}	$3,29 \pm 0,23$	143 ^{C a}	$1,96 \pm 0,15$	86 ^{A c}
	Solo 10 cm	$3,10 \pm 0,18$	135 ^{B b}	$5,78 \pm 0,28$	252 ^{A a}	$1,43 \pm 0,10$	62 ^{B c}
	Solo 60 cm	$2,36 \pm 0,13$	103 ^{C a}	$2,50 \pm 0,17$	109 ^{D a}	$1,03 \pm 0,07$	45 ^{C b}
	Solo 100 cm	$2,10 \pm 0,11$	92 ^{D a}	$1,98 \pm 0,11$	86 ^{E a}	$0,94 \pm 0,06$	41 ^{C b}
	Nascentes	$3,92 \pm 0,15$	171 ^{A b}	$4,73 \pm 0,15$	206 ^{B a}	$1,84 \pm 0,10$	80 ^{A c}
Mg	Clareira	$0,14 \pm 0,02$	11 ^{F b}	$0,69 \pm 0,07$	57 ^{E a}	$0,20 \pm 0,05$	17 ^{C b}
	Sobcopas	$0,89 \pm 0,07$	73 ^{E b}	$2,15 \pm 0,14$	177 ^{C a}	$0,88 \pm 0,07$	73 ^{B b}
	Solo 10 cm	$2,67 \pm 0,19$	220 ^{A b}	$4,39 \pm 0,21$	361 ^{A a}	$0,23 \pm 0,02$	19 ^{C c}
	Solo 60 cm	$1,58 \pm 0,06$	130 ^{C b}	$2,00 \pm 0,08$	165 ^{C a}	$0,07 \pm 0,01$	6 ^{C c}
	Solo 100 cm	$1,41 \pm 0,04$	116 ^{D b}	$1,74 \pm 0,07$	143 ^{D a}	$0,06 \pm 0,01$	5 ^{C c}
	Nascentes	$2,01 \pm 0,06$	165 ^{B b}	$3,71 \pm 0,07$	306 ^{B a}	$1,16 \pm 0,03$	95 ^{A c}
Ca	Clareira	$0,6 \pm 0,05$	29 ^{C b}	$3,1 \pm 0,18$	155 ^{E a}	$1,3 \pm 0,12$	63 ^{BC b}
	Sobcopas	$2,0 \pm 0,14$	100 ^{B c}	$7,7 \pm 0,59$	387 ^{B a}	$3,1 \pm 0,31$	153 ^{A b}
	Solo 10 cm	$3,1 \pm 0,22$	155 ^{A b}	$12,5 \pm 0,90$	623 ^{A a}	$1,0 \pm 0,10$	48 ^{C c}
	Solo 60 cm	$1,5 \pm 0,14$	73 ^{B b}	$5,3 \pm 0,65$	266 ^{D a}	$0,5 \pm 0,06$	23 ^{C c}
	Solo 100 cm	$1,0 \pm 0,09$	50 ^{C b}	$6,4 \pm 0,75$	322 ^{C a}	$0,5 \pm 0,08$	26 ^{C b}
	Nascentes	$2,1 \pm 0,11$	107 ^{B b}	$3,4 \pm 0,12$	170 ^{E a}	$1,4 \pm 0,08$	68 ^{B b}
Al	Clareira	$0,07 \pm 0,01$	4 ^{B a}	$0,08 \pm 0,01$	5 ^{D a}	$0,09 \pm 0,01$	5 ^{C a}
	Sobcopas	$0,06 \pm 0,01$	3 ^{B a}	$0,37 \pm 0,03$	21 ^{D a}	$0,13 \pm 0,02$	7 ^{C a}
	Solo 10 cm	$0,89 \pm 0,06$	50 ^{A b}	$6,48 \pm 0,33$	363 ^{C a}	$0,96 \pm 0,04$	54 ^{B b}
	Solo 60 cm	$0,72 \pm 0,05$	40 ^{A c}	$16,59 \pm 1,06$	929 ^{A a}	$1,54 \pm 0,04$	86 ^{A b}
	Solo 100 cm	$0,40 \pm 0,03$	22 ^{B c}	$11,68 \pm 0,57$	654 ^{B a}	$1,66 \pm 0,05$	93 ^{A b}
	Nascentes	$0,04 \pm 0,00$	2 ^{B a}	$0,06 \pm 0,00$	3 ^{D a}	$0,24 \pm 0,05$	13 ^{C a}

Continuação da Tabela IV.32

		Pilões		Moji		Paranapiacaba	
		mgL⁻¹	meqL⁻¹	mgL⁻¹	meqL⁻¹	mgL⁻¹	ueqL⁻¹
Fe	Clareira	0,05 ± 0,01	2 ^{AB} ^{ab}	0,06 ± 0,01	2 ^C ^a	0,05 ± 0,01	2 ^D ^b
	Sobcopas	0,07 ± 0,01	2 ^A ^b	0,08 ± 0,01	3 ^B ^a	0,05 ± 0,01	2 ^{CD} ^b
	Solo 10 cm	0,06 ± 0,01	2 ^A ^c	0,19 ± 0,01	7 ^A ^b	0,25 ± 0,01	9 ^A ^a
	Solo 60 cm	0,04 ± 0,01	2 ^B ^c	0,07 ± 0,01	2 ^C ^b	0,10 ± 0,01	3 ^B ^a
	Solo 100 cm	0,04 ± 0,01	1 ^B ^b	0,06 ± 0,01	2 ^C ^a	0,06 ± 0,01	2 ^C ^a
	Nascentes	0,04 ± 0,01	2 ^B ^a	0,05 ± 0,01	2 ^C ^a	0,06 ± 0,01	2 ^{CD} ^a
Mn	Clareira	0,02 ± 0,01	1 ^D ^a	0,04 ± 0,01	1 ^E ^a	0,02 ± 0,01	1 ^B ^a
	Sobcopas	0,02 ± 0,00	1 ^D ^b	0,08 ± 0,01	3 ^D ^a	0,06 ± 0,00	2 ^A ^a
	Solo 10 cm	0,41 ± 0,05	15 ^A ^a	0,38 ± 0,02	14 ^B ^a	0,04 ± 0,00	2 ^{AB} ^b
	Solo 60 cm	0,23 ± 0,01	8 ^B ^b	0,49 ± 0,03	18 ^A ^a	0,03 ± 0,00	1 ^B ^c
	Solo 100 cm	0,12 ± 0,00	4 ^C ^b	0,34 ± 0,02	12 ^C ^a	0,05 ± 0,00	2 ^{AB} ^c
	Nascentes	0,01 ± 0,00	0 ^D ^a	0,04 ± 0,00	2 ^{DE} ^a	0,05 ± 0,00	2 ^{AB} ^a
Cu	Clareira	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b	0,02 ± 0,00	0 ^A ^a	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b
	Sobcopas	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b	0,02 ± 0,00	0 ^A ^a	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b
	Solo 10 cm	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b	0,02 ± 0,00	0 ^A ^a	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b
	Solo 60 cm	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b	0,02 ± 0,00	0 ^A ^a	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b
	Solo 100 cm	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b	0,02 ± 0,00	0 ^A ^a	0,01 ± 0,00	0 ^A ^b
	Nascentes	0,01 ± 0,00	0 ^A ^a	0,01 ± 0,00	0 ^B ^a	0,01 ± 0,00	0 ^A ^a
Zn	Clareira	0,05 ± 0,00	1 ^{AB} ^b	0,05 ± 0,00	1 ^C ^b	0,05 ± 0,01	1 ^A ^a
	Sobcopas	0,06 ± 0,01	1 ^A ^b	0,08 ± 0,01	1 ^B ^a	0,06 ± 0,00	1 ^A ^b
	Solo 10 cm	0,06 ± 0,00	1 ^A ^b	0,10 ± 0,01	2 ^A ^a	0,06 ± 0,00	1 ^A ^b
	Solo 60 cm	0,06 ± 0,00	1 ^A ^b	0,10 ± 0,01	2 ^A ^a	0,05 ± 0,00	1 ^B ^c
	Solo 100 cm	0,07 ± 0,00	1 ^A ^{ab}	0,09 ± 0,00	1 ^{AB} ^a	0,05 ± 0,00	1 ^{AB} ^b
	Nascentes	0,04 ± 0,00	1 ^B ^a	0,03 ± 0,00	0 ^D ^a	0,04 ± 0,00	1 ^B ^a
H	Clareira		50 ^A ^a		9 ^D ^b		10 ^E ^b
	Sobcopas		10 ^D ^b		13 ^C ^a		10 ^E ^b
	Solo 10 cm		49 ^B ^b		326 ^A ^a		311 ^A ^a
	Solo 60 cm		44 ^B ^b		254 ^B ^a		243 ^B ^a
	Solo 100 cm		27 ^C ^c		215 ^B ^a		191 ^C ^b
	Nascentes		1 ^E ^c		11 ^D ^b		29 ^D ^a
S cátions	Clareira		176		470		169
	Sobcopas		488		1031		442
	Solo 10 cm		690		2009		518
	Solo 60 cm		433		1759		418
	Solo 100 cm		330		1452		372
	Nascentes		488		733		316

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

** Para cada variável, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t-student

Tabela IV.33. Valor médio $\pm$ erro padrão* de pH e da porcentagem de saturação de cátions ácidos, no período de setembro/91 a agosto/95, na água que atravessa as três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

	Pilões		Moji pH		Paranapiacaba	
Clareira	4,6 $\pm$ 0,1	D b	5,2 $\pm$ 0,1	A a	5,2 $\pm$ 0,1	A a
Sobcopas	5,5 $\pm$ 0,1	B a	5,1 $\pm$ 0,1	B c	5,2 $\pm$ 0,1	A b
Solo 10 cm	4,5 $\pm$ 0,0	E a	3,6 $\pm$ 0,0	D b	3,6 $\pm$ 0,0	F b
Solo 60 cm	4,5 $\pm$ 0,0	E a	3,7 $\pm$ 0,0	C b	3,7 $\pm$ 0,0	E b
Solo 100 cm	4,7 $\pm$ 0,0	C a	3,8 $\pm$ 0,0	C c	3,9 $\pm$ 0,0	D b
Nascentes	6,3 $\pm$ 0,1	A a	5,1 $\pm$ 0,1	A b	4,8 $\pm$ 0,1	C c
Saturação por Cátions Ácidos (%) ***						
Clareira	37 $\pm$ 2,77	A a	37 $\pm$ 2,20	C a	32 $\pm$ 2,28	C b
Sobcopas	9 $\pm$ 0,82	D c	25 $\pm$ 1,10	D a	15 $\pm$ 0,82	E b
Solo 10 cm	24 $\pm$ 1,03	C c	46 $\pm$ 1,44	B b	75 $\pm$ 1,44	B a
Solo 60 cm	30 $\pm$ 1,34	B c	76 $\pm$ 2,35	A b	84 $\pm$ 0,97	A a
Solo 100 cm	24 $\pm$ 1,29	C c	72 $\pm$ 2,27	AB b	82 $\pm$ 1,48	A a
Nascentes	3 $\pm$ 0,22	E b	4 $\pm$ 0,24	E b	20 $\pm$ 1,70	D a

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos

**Para cada variável, valores seguidos pela mesma letra maiúscula (em azul) na coluna e pela mesma letra minúscula (em vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t-student

***% de Saturação de Cátions Ácidos = $\frac{(H^+ + Ma) \cdot 100}{(H^+ + Ma + Mb)}$, onde H+ = prótons, Ma = cátions ácidos e Mb = cátions básicos

Observando a proporção relativa dos íons, verifica-se que na precipitação em clareira o sulfato é o ânion dominante, perfazendo mais de 50% (>60% em Moji e Paranapiacaba) da soma total de ânions. Depois do sulfato, tem-se o cloreto que perfaz entre 21% (Moji) a 34% (Pilões) do total de ânions. Na precipitação sobcopas essas proporções permanecem inalteradas, mas a soma total de ânions e cátions é mais do que o dobro em todas as florestas.

Os principais cátions na precipitação sobcopas são cálcio, potássio, sódio e magnésio. Somente na floresta fortemente poluída do Moji, o amônio torna-se importante e fica na segunda posição depois de cálcio, perfazendo 33% do total de cátions na clareira e 19% na precipitação sobcopas.

Há uma mudança muito grande na concentração da maioria dos íons quando se compara a precipitação sob copas com a solução do solo.

A passagem da água pela camada orgânica de solo até a profundidade de 10cm muda completamente a composição iônica da água (meio de transporte). A mudança mais evidente ocorre com o nitrato, especialmente no Moji (relação solo 10cm/sobcopas 22/1). As concentrações de sulfato e cloreto também aumentaram muito com a passagem da água nos 10cm iniciais do solo do Moji.

A soma de cátions e ânions também aumenta consideravelmente na água do solo a 10cm de profundidade se comparada com essa soma na precipitação sobcopas. Esse aumento é mais do que o dobro no Moji e um pouco menor (30 a 45%) nas outras duas áreas. Com a infiltração da água nas camadas mais profundas do solo (100cm), a concentração molar diminui um pouco no Moji, e torna-se praticamente a metade no Pilões e Paranapiacaba. Um decréscimo pronunciado pode também ser observado na água de superfície (nascentes) das respectivas bacias.

Grandes diferenças entre áreas são observadas na proporção dos diferentes íons. Na precipitação que atinge o solo (sobcopas) predomina o sulfato (60-65% do total de ânions), seguido pelo cloreto (21-28%). Na solução do solo a 10cm de profundidade, a porcentagem de sulfato e cloreto se mantém mais ou menos igual, e o nitrato se torna o principal componente aniônico, alcançando valores entre 15% (Paranapiacaba) e 41% (Moji e Pilões) da soma total de ânions. Essas porcentagens diminuem nas camadas mais profundas do solo (100cm e nascentes) do Pilões e Paranapiacaba, mas aumentam consideravelmente no Moji, atingindo na água de nascentes 67% da soma total de ânions.

A situação é bem mais balanceada entre os principais componentes catiônicos, como sódio, magnésio e cálcio. As concentrações de potássio não apresentam grandes alterações ao longo do caminho da água, o mesmo ocorrendo com as de amônio, ao contrário do nitrato, a forma aniônica do nitrogênio.

De todos os elementos, o alumínio tem a alteração mais marcante. Enquanto na precipitação as formas iônicas de alumínio não são importantes, na solução do solo elas tornam-se as espécies catiônicas dominantes, perfazendo na floresta poluída do Moji aproximadamente 50% da soma total de cátions nas camadas de 60 e 100cm de profundidade. Nas outras áreas, os valores são bem mais baixos, mas ainda alcançam entre 6 e 25% do total de cátions. Na água de nascentes, ao contrário, a porcentagem de alumínio é bem mais baixa, menor que 1% da soma total de cátions nas três florestas.

Quando diferentes fontes de entrada contribuem para a composição iônica da água de chuva, precisa-se ter em mente que a precipitação medida na clareira representa apenas uma parte da entrada atmosférica total (Mayer & Ulrich 1974). Os nutrientes e outros elementos químicos entram também no ecossistema através da deposição atmosférica de aerossóis e partículas finas como poeira e pólen. A deposição de material particulado se dá principalmente por forças gravitacionais (sedimentação), ou pela movimentação de massas de ar que são carregadas até a superfície do dossel (impacto). A deposição de partículas finas (aerossóis) e gases é mais complicada, pois depende das características da superfície receptora (Ulrich & Pankrath 1983) e não pode ser medida diretamente de maneira simples.

Entretanto, após a passagem da água de chuva pelo dossel da floresta a entrada de partículas finas e gases está incluída na precipitação sobcopas. Além disso, durante a passagem da água pelas copas, pode ocorrer absorção de substâncias pela folhagem e pelas epífitas, ou ainda, ocorrer lixiviação de elementos, tanto daqueles que tiveram origem atmosférica, como daqueles absorvidos do solo. Esses aspectos dificultam a interpretação dos resultados.

A despeito de toda dificuldade metodológica, três fontes principais de entrada de elementos minerais na floresta podem ser identificadas nas mensurações da precipitação:

1. Spray marítimo: a contribuição marinha para a composição iônica da água de chuva é estimada, usualmente, comparando-se a relação iônica dos principais constituintes na água do mar (sódio, magnésio e cloro) com a da precipitação (Faure 1998). Na precipitação em clareira, a relação molar $(Na+Mg)/Cl$ de 0,9 na floresta do Pilões, e de 1,0 na de Paranapiacaba, é bem parecida com a água do mar (1,06). No Moji, a relação 1,3 indica origem não marinha de sódio e/ou magnésio, provavelmente devido à entrada de material particulado.
2. Poluição aérea: uma indicação muito boa da origem antropogênica do sulfato é a relação sulfato/cloreto de 1,4, 2,9 e 2,7 no Pilões, Moji e Paranapiacaba, respectivamente, se comparada a relação de 0,31 na água do mar (Faure 1998). As concentrações de amônio, nitrato, cálcio, magnésio e prótons também excedem em muito a composição da água do mar. Os altos valores de cálcio e magnésio na precipitação que atinge o solo (sob copas) principalmente no Moji, deve-se à poeira oriunda da produção de fertilizantes e cimento, onde parte das partículas sólidas é depositada na superfície do dossel e do solo e parte é dissolvida pela precipitação ácida.
3. Lixiviação de íons das folhas: esses íons originam-se da transferência iônica interna entre solo/rizosfera e as partes epígeas das plantas. Geralmente, cátions nutrientes monovalentes, como o sódio e o potássio, translocam-se mais rapidamente dentro da planta do que cátions divalentes, tais como o cálcio e magnésio. A transferência dos cátions monovalentes, sobretudo o potássio, da folha para o solo ocorre, preferencialmente, via lixiviação. Um bom indicativo disso é a relação potássio/cloreto, que enquanto na água do mar é de 0,18, atinge valores tão altos quanto 0,4 (Moji) e 1,1 (Pilões). O valor do Pilões reflete um bom suprimento de potássio nessa floresta.

Informações adicionais resultam da comparação das concentrações na água de chuva com a da neblina, aspecto investigado por Jaeschke (1997) dentro das pesquisas desenvolvidas no mesmo período em Cubatão, nas imediações das três florestas investigadas. Embora os resultados não sejam diretamente comparáveis, pois a água era coletada em episódios isolados, no geral, verificou-se que nas florestas menos poluídas (Pilões e Paranapiacaba) os elementos de origem marinha (cloro, sódio) tem concentrações similares na precipitação e na neblina, enquanto que os elementos oriundos da poluição atmosférica (enxofre, nitrato, amônio) apresentam-se em concentrações bem menores na neblina. No local mais poluído (Moji), por sua vez, todos esses elementos apresentam maior concentração na precipitação, indicando que a queda da gota de chuva arrasta grandes quantidades de poluentes da atmosfera.

A área poluída do Moji apresenta na solução do solo concentrações muito elevadas de nitrato, fluoreto, cálcio e alumínio, juntamente com baixos valores de pH. Isso provavelmente ocorre devido a um processo intensivo de intemperismo do solo acarretado pela entrada muito alta de ácidos e substâncias acidificantes. A acidificação do solo acarreta mudanças severas no ambiente radicular da floresta, incluindo perda de nutrientes essenciais por lixiviação, aumento das concentrações de H^+ na solução do solo, bem como da atividade de metais potencialmente tóxicos, tais como o alumínio (Maitat et al. 2000).

Comparando em cada floresta as concentrações na camada mais profunda do solo (100cm) com a da água superficial (nascentes), notam-se grandes diferenças para maioria dos íons. O pH, embora seja bem mais ácido em Paranapiacaba, é de 1 a 2 unidades mais elevado na água superficial, significando que, durante a infiltração para as camadas mais profundas, a água é tamponada e sua acidez neutralizada. Isso acarreta um aumento simultâneo nos teores de elementos alcalinos e alcalinos terrosos (sódio, potássio, cálcio e magnésio). Somente na floresta fortemente poluída do Moji as concentrações de cálcio na água superficial são bem menores do que na solução do solo, indicando que no processo de intemperização do solo entra material particulado contendo grandes quantidades de cálcio, e que as taxas de carbonato envolvidas no processo não são suficientes para neutralizar a acidez.

Assim, na floresta fortemente poluída do Moji, a acidificação do solo já ultrapassou a profundidade de 100cm, pois as rochas e minerais intemperizados não provêem alcalinidade suficientes para tamponar o pH.

A composição iônica da solução do solo e da água de superfície reflete bem a as alterações químicas no solo induzidas pela água que atravessa a vegetação e infiltra no solo. As mudanças na composição química da solução do solo devem-se principalmente a três processos:

1. Nitrificação da matéria orgânica no horizonte húmico e camada superficial do solo (Horizonte A). As baixas concentrações de amônio na profundidade de 10cm de solo e o aumento pronunciado das concentrações de nitrato indicam claramente a importância do processo de nitrificação.
2. Absorção de nutrientes pelas plantas. O decréscimo na solução do solo das concentrações dos principais nutrientes como nitrato, potássio, magnésio e, em menor escala, sulfato e cálcio é indicativo desse processo. No solo do Moji, as concentrações de nitrato permanecem quase inalteradas, provavelmente como consequência do grande suprimento de nitrogênio às plantas e/ou redução na absorção em função dos danos na vegetação. Cloreto e sódio não mostram o mesmo comportamento uma vez que suas concentrações praticamente se mantêm ou até aumentam.
3. Intemperização dos minerais do solo com solubilização de íons alumínio dos silicatos.

Os efeitos ecológicos dos íons alumínio na solução do solo dependem do conteúdo de cálcio no solo e da relação molar cálcio/alumínio na solução do solo. No que diz respeito a toxicidade de alumínio, isso é muito importante (Ulrich 1989). Em condições ácidas, devido ao aumento da solubilidade do alumínio e da lixiviação de cátions básicos, essa razão tende a diminuir. Valores da relação cálcio/alumínio menores que 1,0 são considerados críticos para o desenvolvimento de “*Spruce*” (*Picea*) e “*Beech*” (*Fagus*) segundo Rost-Siebert (1985) e Ulrich (1989). Há indicações que espécies de regiões tropicais são mais tolerantes ao alumínio do que as

de regiões temperadas (Jordan 1985). Nas florestas mais poluídas, os valores da relação Ca/AL da solução de solo foram muito baixos (Moji, relação Ca/AL=0,28; Paranapiacaba, Ca/AL = 0,27), indicando que são mais sujeitas ao estresse por alumínio do que a floresta menos poluída (Pilões Ca/AL = 1,8).

Os processos químicos no solo acarretados pelas entradas atmosféricas devem ser interpretados a partir dos impactos sobre a hidrosfera. O alumínio é solubilizado dos minerais e o cálcio e o magnésio depositados como material particulado são dissolvidos. O nitrato é liberado da matéria orgânica por nitrificação. Até mesmo na água superficial (nascentes) da floresta fortemente poluída do Moji as concentrações de nitrato são extremamente altas, cerca de dez vezes a concentração da água que infiltra no solo (sobcopas). A relação $\text{NO}_3\text{-N/Cl}$ (g/g) confirma o processo de nitrificação nas florestas do Moji e Paranapiacaba. No Pilões, a precipitação (clareira) e a água superficial tem praticamente a mesma relação (0,11/0,08). Entretanto, no Moji (0,14/1,74) e em Paranapiacaba (0,11/0,83) o aumento da razão de concentração da precipitação para a água superficial indica mineralização do nitrogênio e lixiviação de nitrato, com produção equivalente de acidez.

IV.4 Fluxos de Elementos

A Tabela IV.34 apresenta o fluxo anual de elementos através da precipitação e da solução do solo nas três florestas investigadas.

Com relação a entrada pela água de chuva, embora não ocorra diferença no volume de precipitação (Tabela IV.11), os fluxos de elementos diferem consideravelmente entre as florestas estudadas na região de Cubatão. Para a maioria dos elementos, exceto alumínio e zinco, a entrada pela precipitação é muito maior na área mais poluída do Moji. Essa diferença é bastante pronunciada para aqueles elementos emitidos como poluentes industriais, tais como, nitrato, sulfato, fluoreto, magnésio, cálcio e amônio. Durante a passagem da água de chuva pelo dossel da vegetação, os fluxos da maioria dos elementos investigados aumenta consideravelmente. Isso ocorre tanto para os elementos que apresentam intensa ciclagem interna (potássio, cálcio, magnésio), como para aqueles que entram no sistema predominantemente pela atmosfera, como o enxofre. Dentre todos os componentes, somente o amônio mostra pequena variação após a passagem da água pelas copas da floresta. Os prótons, por sua vez, tendem a diminuir devido às reações químicas de troca e neutralização que ocorrem com a passagem da água pelo dossel da floresta.

A entrada atmosférica de potássio nas três áreas é bem mais alta do que a usualmente observada em ecossistemas florestais europeus, mas dentro da faixa encontrada em ecossistemas florestais tropicais. Os fluxos de potássio associados ao gotejamento das copas também são extremamente altos. Eles podem ser resultantes de emissões antropogênicas, mas pesquisas em florestas tropicais preservadas no Panamá (Golley *et al.* 1978), em São Paulo (Meguro *et al.* 1979), na Mata Atlântica da Ilha do Cardoso (Varjabedian 1994), entre outras, também mostram altos fluxos de potássio na água que atravessa a floresta. Certamente as condições super úmidas reinantes nas florestas tropicais favorecem a ciclagem interna do potássio, bem como sua lixiviação da vegetação arbórea e da flora epífita.

Tabela IV.34. Fluxo anual de elementos pela precipitação e pela solução do solo nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída).

Elementos	Fluxos		Pilões	Moji g.m ² ano ⁻¹	Paranapiacaba
NO ₃ -N	Precipitação	Clareira	0,93	1,27	0,77
		Sobcopas	1,57	1,75	0,92
	Solução do Solo	10 cm	9,71	32,57	2,90
		60 cm	1,82	26,14	1,89
		100 cm	1,64	27,14	1,63
SO ₄ -S	Precipitação	Clareira	4,85	13,32	6,93
		Sobcopas	12,70	25,45	12,16
	Solução do Solo	10 cm	9,78	40,04	14,76
		60 cm	8,05	47,50	12,54
		100 cm	6,13	38,63	10,98
F	Precipitação	Clareira	0,35	1,74	0,55
		Sobcopas	0,42	2,84	0,73
	Solução do Solo	10 cm	0,41	2,55	0,59
		60 cm	0,41	2,94	0,51
		100 cm	0,50	2,01	0,44
Cl	Precipitação	Clareira	7,61	10,10	5,73
		Sobcopas	13,25	18,86	12,47
	Solução do Solo	10 cm	12,49	25,27	7,31
		60 cm	12,25	17,10	6,09
		100 cm	9,27	12,03	5,26
PO ₄ -P	Precipitação	Clareira	0,11	0,65	0,18
		Sobcopas	0,26	0,74	0,23
	Solução do Solo	10 cm	0,14	0,15	0,10
		60 cm	0,10	0,11	0,11
		100 cm	0,10	0,11	0,08
NH ₄ -N	Precipitação	Clareira	0,57	6,20	1,15
		Sobcopas	0,78	6,97	1,36
	Solução do Solo	10 cm	0,30	0,43	0,28
		60 cm	0,19	0,22	0,24
		100 cm	0,19	0,25	0,24
K	Precipitação	Clareira	1,07	1,41	1,12
		Sobcopas	16,39	8,18	8,29
	Solução do Solo	10 cm	4,92	3,94	0,43
		60 cm	2,33	0,60	0,26
		100 cm	0,88	0,58	0,43
Na	Precipitação	Clareira	3,67	4,34	2,54
		Sobcopas	6,98	8,20	5,58
	Solução do Solo	10 cm	7,15	12,34	3,85
		60 cm	5,34	5,25	2,75
		100 cm	4,67	4,10	2,47

(cont.)

continuação Tabela IV.34

Mg	Precipitação	Clareira	0,40	1,91	0,65
		Sobcopas	2,31	5,37	2,50
	Solução do Solo	10 cm	6,17	9,37	0,61
		60 cm	3,57	4,21	0,19
		100 cm	3,13	3,61	0,17
Ca	Precipitação	Clareira	1,68	8,57	3,99
		Sobcopas	5,23	19,30	8,67
	Solução do Solo	10 cm	7,15	26,59	2,60
		60 cm	3,32	11,20	1,21
		100 cm	2,21	13,37	1,34
Al	Precipitação	Clareira	0,21	0,23	0,27
		Sobcopas	0,15	0,91	0,38
	Solução do Solo	10 cm	2,05	13,82	2,59
		60 cm	1,64	34,90	4,10
		100 cm	0,89	24,23	4,37
Fe	Precipitação	Clareira	0,16	0,17	0,14
		Sobcopas	0,18	0,19	0,15
	Solução do Solo	10 cm	0,14	0,40	0,67
		60 cm	0,10	0,14	0,26
		100 cm	0,08	0,13	0,16
Mn	Precipitação	Clareira	0,06	0,11	0,07
		Sobcopas	0,05	0,20	0,17
	Solução do Solo	10 cm	0,94	0,80	0,11
		60 cm	0,51	1,02	0,08
		100 cm	0,27	0,70	0,13
Zn	Precipitação	Clareira	0,14	0,13	0,16
		Sobcopas	0,16	0,20	0,18
	Solução do Solo	10 cm	0,14	0,22	0,16
		60 cm	0,14	0,21	0,13
		100 cm	0,15	0,19	0,13
Cu	Precipitação	Clareira	0,035	0,046	0,038
		Sobcopas	0,031	0,047	0,035
	Solução do Solo	10 cm	0,028	0,040	0,036
		60 cm	0,028	0,038	0,034
		100 cm	0,028	0,037	0,034
H	Precipitação	Clareira	0,145	0,025	0,032
		Sobcopas	0,026	0,033	0,029
	Solução do Solo	10 cm	0,112	0,696	0,838
		60 cm	0,099	0,534	0,647
		100 cm	0,060	0,446	0,502

O aumento do sulfato durante a passagem da água pelo dossel deve-se, provavelmente, à deposição seca de aerossóis, poeiras e gases (SO_2), os quais não foram detectados pelos coletores em clareira. É importante também notar que o cloro e o sódio, possivelmente de origem marinha, aumentaram seus fluxos em cerca de duas vezes com a passagem da água pelas copas da floresta. Isso indica que os aerossóis marinhos são uma via importante de deposição em todas as florestas estudadas, como também foi verificado em floresta livre de poluição na Ilha do Cardoso (Varjabedian 1994).

Pelos fluxos associados a precipitação, constata-se que mais de 250kg ha^{-1} de enxofre (na forma de sulfato), 87kg ha^{-1} de nitrogênio (como amônio e nitrato) e 28kg ha^{-1} de fluoreto, entram anualmente no solo do Moji pela água de chuva. Comparando com outras regiões tropicais e temperadas, a floresta do Moji, no período de 1991-1995, representa uma das áreas de florestas mais poluídas no que diz respeito aos componentes considerados.

Ainda pela Tabela IV.34, analisando o fluxo de elementos associados a água de solo, verifica-se que na floresta fortemente poluída do Moji os fluxos de nitrato, sulfato e alumínio na solução do solo são extremamente altos. Na floresta do Pilões, os fluxos de nitrato decrescem com a profundidade, enquanto que na do Moji permanecem praticamente constantes, e em quantidades muito elevadas.

No Moji, a grande entrada de amônio, sua transformação em nitrato no solo (nitrificação) e a grande perda para as camadas mais profundas, indica que o nitrogênio está longe de ter um ciclo que possa ser considerado fechado. Ao contrário, no Pilões e em Paranapiacaba a maior parte do nitrogênio que entra no ecossistema é absorvido pelas raízes juntamente com o nitrogênio solubilizado pela mineralização da matéria orgânica. Uma grande parte do amônio que entra com a precipitação no solo da floresta do Moji é convertido a nitrato, um processo gerador de acidez (prótons), que aumenta ainda mais a acidificação do solo.

Perdas de enxofre e solubilização do alumínio são conseqüências dos processos de acidificação do solo. Com o decréscimo do pH, o hidroxissulfato de alumínio que estava precipitado é solubilizado. Em faixas de pH entre 4,0 e 4,5, pequenas variações na acidez acarretam grandes alterações na solubilidade do alumínio. (Ulrich 1987, 1989).

As altas taxas de deposição de cálcio e magnésio no Moji não compensam as perdas de bases do solo mesmo nas camadas mais profundas, pois devido à acidificação esses cátions são altamente lixiviados do solo. O potássio, um nutriente essencial, é absorvido em grandes quantidades pelas plantas, por isso as perdas por lixiviação são relativamente pequenas.

Os íons cloreto são bastante móveis na planta e comumente não são adsorvidos pelos minerais no solo. O decréscimo nos fluxos de cloreto com o aumento da profundidade, como observado no Pilões e Moji, pode ser explicado pela ciclagem interna do cloreto, ou seja, absorção pelas raízes, transporte para as folhas e lixiviação das copas pela água de chuva ou retorno ao solo pela queda da serapilheira.

O vale do rio Moji é altamente poluído por fluoretos e fluxos muito altos foram verificados até mesmo na solução do solo. Danos severos em plantas indicadoras, sensíveis ao fluoreto foram descritos nessa área por Klumpp *et al.* (1996 a,b).

IV.5 Solo e Balanço entre Entradas e Saídas de Elementos no Ecossistema

O balanço líquido dos fluxos de elementos nos compartimentos do ecossistema foi calculado pela diferença entre a entrada e saída do sistema. O balanço anual de nitrogênio, enxofre, alumínio e fluoreto nas três florestas pode ser visualizado nas Figuras IV.27 a IV.31, sendo a entrada (positiva) de elementos no solo pela precipitação colocada junto com a saída (negativa) pela água do solo a 100cm de profundidade. Para fins de comparação com outras regiões, foram incluídos os fluxos obtidos em floresta secundária não poluída de Igarapé Açu, Pará (Holscher 1995), em Campo Cerrado não poluído de Mogi-Guaçu, São Paulo (Pompéia 1989) e de uma floresta temperada em Solling, Alemanha (Ellenberg *et al.* 1986), com níveis de poluição relativamente altos.

A entrada de nitrato (Figura IV.27) pela água de chuva no solo do Moji ($17,5\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) é cerca de duas vezes maior que em Paranapiacaba e três vezes maior que no Campo Cerrado, e da mesma ordem de grandeza que a da floresta temperada poluída ($15,5\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$). Ao contrário disso, a entrada de nitrato em Igarapé Açu não atingiu níveis mensuráveis. Quando se verifica a saída de nitrato no solo do Moji ($271\text{kg de N ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) fica clara a situação extraordinária da Serra do Mar na região de Cubatão. A saída de nitrato na floresta do Moji é quinze vezes maior que a entrada. No Cerrado, a saída de nitrogênio ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) é cerca de metade da entrada, enquanto que em Igarapé Açu e Solling é menos que 2% da entrada. O solo do Moji atua como uma fonte de nitrato e, comparando com o balanço de amônio (Figura IV.28), verifica-se que a saída de nitrato excede em muito a entrada de amônio. Deduz-se assim, que o amônio depositado da atmosfera é realmente transformado em nitrato (nitrificação) e, então, perdido do solo com a percolação da água. Além disso, a mineralização da matéria orgânica contribui sobremaneira como fonte de nitrato para água de infiltração.

Figura IV.27. Balanço anual dos fluxos de nitrato em floresta tropicais e temperadas.

Figura IV.28. Balanço anual dos fluxos de amônio em florestas tropicais e temperadas.

O balanço de amônio (Figura IV.28) está intimamente relacionado ao de nitrato. A entrada é muito alta na floresta fortemente poluída do Moji ($70\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de N), cerca de oito vezes maior que no Pilões, três vezes maior que Solling e quatorze vezes maior que no Cerrado. A entrada de amônio na floresta de Igarapé Açu é, também, muito baixa. Mesmo considerando as grandes variações na entrada do amônio, todos os tipos de vegetação tem em comum saídas bastante baixas pela água de infiltração. O amônio, além de ser retido pelos minerais do solo, é absorvido pelas plantas ou, como mostrado no caso do Moji, é transformado em nitrato, sendo então sujeito a perdas por percolação. Esse processo produz quantidades equivalentes de acidez, contribuindo ainda mais para a acidificação do solo e perdas de cátions nutrientes, como cálcio, magnésio e potássio.

Na Figura IV.29, é apresentado o balanço anual de sulfato. A floresta de Solling com 85 e 40 kg de S ha⁻¹ ano⁻¹ de entrada e saída, respectivamente, é considerada a floresta européia mais poluída no que diz respeito à deposição de sulfato. Mesmo nesse caso, a floresta do Moji está na frente, com 254 e 386 kg.ha⁻¹ ano⁻¹ de entrada e saída de enxofre, respectivamente. Em contraste a isso, a deposição e saída de sulfato na floresta de Igarapé Açu é praticamente negligenciável e da ordem de 5 e 0,9 kg.ha⁻¹ano⁻¹ de enxofre, respectivamente. O balanço de enxofre no solo da floresta do Moji é negativo, ou seja, há perda líquida de sulfato do solo, que atua como uma fonte. Obviamente está exaurida a capacidade de retenção de sulfato do solo. Na floresta de Paranapiacaba, por sua vez, as taxas de entrada e saída do solo são praticamente as mesmas, enquanto na floresta do Pilões, onde o solo é o menos acidificado, a lixiviação de sulfato é menor que a entrada pela precipitação. Na área mais preservada do Pilões, o solo ainda é capaz de reter sulfato.

Figura IV.29. Balanço anual dos fluxos de sulfato em floresta tropicais e temperadas.

A Figura IV.30 apresenta o balanço de alumínio. Enquanto que em Igarapé Açu e no Cerrado praticamente não há ciclagem de alumínio, verifica-se tanto no Moji como em Solling, pequena entrada e grande saída de alumínio do solo. No solo do Moji, as taxas de saída são consideravelmente maiores do que no solo de Solling (242 versus 52 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de alumínio). Isso reflete as taxas de acidificação do solo na floresta do Moji, uma vez que o alumínio carregado pela água de percolação é liberado dos minerais, consumindo prótons da solução do solo. Por meio de reações de hidrólise, os íons alumínio reduzem a alcalinidade da água acarretando a acidificação da solução.

Figura IV.30. Balanço anual dos fluxos de alumínio em florestas tropicais e temperadas.

Com relação ao fluoreto (Figura IV.31), a entrada e a saída no solo do Pilões e Paranapiacaba são similares e baixas. Na floresta do Moji, o solo funciona como um reservatório desse elemento.

Figura IV.31. Balanço anual dos fluxos de flúor nas florestas estudadas em Cubatão.

Para avaliar a ciclagem dos elementos em relação ao estado químico do solo, é interessante comparar o balanço entre entradas e saídas com o estoque da fração móvel no solo. A Tabela IV.35 mostra a entrada (precipitação e gotejamento das copas), a saída pela solução do solo na profundidade de 100cm juntamente com o estoque no solo de cátions trocáveis e de enxofre, fósforo e flúor solúveis na camada de 0-80cm de profundidade nas três áreas de estudo.

Tabela IV.35. Fluxo anual e estoque no solo de elementos solúveis (S, F, P) e trocáveis (K, Na, Mg Ca, e Al) e nas três florestas de Cubatão: Pilões (menos poluída), Moji (fortemente poluída) e Paranapiacaba (moderadamente poluída)

Fluxos			Pilões	Moji	Paranapiacaba
SO₄-S	Entrada na floresta pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	48	133	69
	Entrada no solo pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	127	255	122
	Estoque no solo (S 0-80cm)	kg ha⁻¹	860	890	323
	Saída do solo a 100cm	kg ha⁻¹ ano⁻¹	61	386	110
F	Entrada na floresta pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	4	17	5
	Entrada no solo pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	4	28	7
	Estoque no solo (S 0-80cm)*	kg ha⁻¹	7	70	-
	Saída do solo a 100cm	kg ha⁻¹ ano⁻¹	5	20	4
PO₄-P	Entrada na floresta pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	1	6	2
	Entrada no solo pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	3	7	2
	Estoque no solo (S 0-80cm)	kg ha⁻¹	28	70	23
	Saída do solo a 100cm	kg ha⁻¹ ano⁻¹	1	1	1
K	Entrada na floresta pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	11	14	11
	Entrada no solo pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	164	82	83
	Estoque no solo (S 0-80cm)	kg ha⁻¹	577	439	271
	Saída do solo a 100cm	kg ha⁻¹ ano⁻¹	9	6	4
Na	Entrada na floresta pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	37	43	25
	Entrada no solo pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	70	82	56
	Estoque no solo (S 0-80cm)	kg ha⁻¹	2	21	22
	Saída do solo a 100cm	kg ha⁻¹ ano⁻¹	47	41	25
Mg	Entrada na floresta pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	4	19	6
	Entrada no solo pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	23	54	25
	Estoque no solo (S 0-80cm)	kg ha⁻¹	326	46	47
	Saída do solo a 100cm	kg ha⁻¹ ano⁻¹	31	36	2
Ca	Entrada na floresta pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	17	86	40
	Entrada no solo pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	52	193	87
	Estoque no solo (S 0-80cm)	kg ha⁻¹	613	331	349
	Saída do solo a 100cm	kg ha⁻¹ ano⁻¹	22	134	13
Al	Entrada na floresta pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	2	2	3
	Entrada no solo pela chuva	kg ha⁻¹ ano⁻¹	1	9	4
	Estoque no solo (S 0-80cm)	kg ha⁻¹	1319	1953	1791
	Saída do solo a 100cm	kg ha⁻¹ ano⁻¹	9	242	44

* dados obtidos por Bulbovas (2000)

- dados não disponíveis

Os estoques no solo, comparados aos fluxos de ciclagem, são bem baixos para sódio, cálcio e magnésio, especialmente no Moji e Paranapiacaba. No Moji a situação é mais crítica do ponto de vista nutricional, pois além do solo ter reservas baixas desses nutrientes, a saída é bastante elevada. Por outro lado, o estoque de alumínio, elemento potencialmente tóxico quando na forma solúvel, é altíssimo.

Com relação ao fluoreto (Figura IV.31), a entrada e saída no Pilões e em Paranapiacaba é praticamente a mesma. No Moji, a área mais poluída, o solo funciona como um reservatório de fluoreto, pois há muito flúor entrando e saindo do sistema, bem como estocado no solo.

O cloreto tem comportamento semelhante, no solo do Pilões e de Paranapiacaba a entrada e saída é bastante similar, enquanto na floresta do Moji há muito cloro, tanto entrando como saindo do solo. Na Ilha do Cardoso a entrada de cloreto pela precipitação, cerca de 78 e 135 kg ha⁻¹ano⁻¹ na clareira e sob copas, respectivamente, conforme Varjabedian (1994), é bastante similar ao verificado na floresta do Pilões, que é a área considerada de referência ou menos poluída nesse trabalho. Deve-se ressaltar que sódio e cloreto são depositados em grandes quantidades (Moji>Pilões>Paranapiacaba) perto da costa devido aos “sprays” marinhos. Os íons cloreto são muito móveis e mostram grande perda por lixiviação que dependem das taxas de deposição.

O fósforo também se comporta de modo análogo aos demais ânions. A entrada e saída é quase balanceada no solo das florestas do Pilões e de Paranapiacaba, enquanto na floresta mais poluída (Moji) há muito fósforo entrando e sendo estocado no solo. No Moji o solo parece atuar como um grande reservatório de fósforo. São bem conhecidas as reações de fixação de fosfatos de ferro e alumínio que ocorrem em solos ácidos. Os estoques de fósforo no solo da Ilha do Mel, cerca de 29,7 kg ha⁻¹, conforme Britez *et al.* (1997), tem a mesma ordem de grandeza dos verificados nos solos das florestas do Pilões e de Paranapiacaba, embora nessas áreas as taxas de deposição de fósforo sejam mais elevadas.

Nos três ecossistemas investigados há pouco fósforo deixando o sistema, mostrando que, mesmo na floresta do Moji onde o estoque no solo é bastante alto, ocorre adsorção aniônica de fosfato, bem como reações de fixação do fósforo no solo.

De um modo geral, verifica-se que o balanço de ânions no solo é bem similar nas florestas do Pilões e de Paranapiacaba. Na área do Moji, o aporte de ânions é mais elevado e o solo funciona como reservatório ou perde grande quantidade da maioria dos ânions.

Com relação aos cátions trocáveis, a área preservada do Pilões diferencia-se das duas outras. O estoque de potássio, cálcio e magnésio no solo do Pilões é bem mais alto que nas demais áreas, indicando maior fertilidade e disponibilidade de nutrientes no solo. Existe, assim, uma clara relação entre as taxas de deposição e a distância das fontes poluidoras (Moji > Paranapiacaba > Pilões).

Observa-se que as taxas de deposição de cálcio e magnésio no solo do Pilões (a área menos poluída) são menos que a metade do que as encontradas em diferentes tipos de vegetação brasileira, como na Mata Atlântica da Ilha do Cardoso (Varjabedian 1994), na floresta de restinga da Ilha do Mel (Britez 1994), no cerrado de Mogi Guaçu (Pompéia 1989) e na Mata de Igarapé Açu (Holscher 1995). Nas florestas do Pilões, de Igarapé Açu e no Cerrado de Mogi Guaçu as entradas e saídas de cálcio são quase balanceadas. Embora na floresta Moji seja alta a entrada de cálcio e magnésio no solo, devido às condições de muita acidez, o complexo de troca do solo está totalmente ocupado pelo alumínio, não havendo condições de retenção do cálcio e magnésio, ocorrendo então, perdas por lixiviação e grande saída desses elementos do sistema.

Os estoques de cálcio no solo de Paranapiacaba e Moji são muito baixos (349 e 331 kg ha⁻¹, respectivamente), cerca de metade dos encontrados em Igarapé Açu (628 kg ha⁻¹), Ilha do Mel (692 kg ha⁻¹) e até mesmo em floresta temperada na Alemanha (581 kg ha⁻¹, Ellenberg *et al.* 1986).

Os estoques de magnésio no solo do Moji e Paranapiacaba são bem mais baixos, cerca de dez vezes menores aos da Ilha do Mel, Ilha do Cardoso, Igarapé Açu e na floresta temperada. São apenas comparáveis aos do Cerrado de Mogi Guaçu (25 kg ha^{-1}) que é um solo extremamente pobre. Embora seja comum que os solos de regiões tropicais sejam pobres em nutrientes (Jordan 1985, Rodhe & Herrera 1988), é digno de nota que os solos das florestas investigadas apresentam níveis extremamente baixos de nutrientes, fato agravado ainda mais nas áreas mais poluídas. A única exceção diz respeito ao potássio, onde principalmente na floresta do Pilões, há grande ciclagem interna e estoque no solo. Muito provavelmente o material de origem dos solos, formados por mica e micaxisto, é responsável pelo alto fluxo de potássio nas três florestas.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto de dados obtidos permitiu uma análise pormenorizada da ciclagem dos elementos nessa importante fase do ciclo hidrológico e contribuiu para esclarecer alguns dos mecanismos que permeiam os efeitos de poluentes nas porções de Floresta Atlântica estudadas na região de Cubatão.

Com base nos resultados das relações iônicas na precipitação, pode-se concluir que a deposição é extremamente heterogênea na Serra do Mar. Atenção especial deve ser dada ao efeito do fluoreto sobre as plantas. As concentrações na precipitação da floresta fortemente poluída do Moji são sete vezes maiores que as concentrações na floresta mais preservada do Pilões. Embora a emissão industrial tenha sido reduzida em cerca de 90% entre 1984 e 1990, Klumpp *et al.* (1998) mostraram que o flúor tem-se acumulado nas folhas das espécies nativas, juntamente com sulfato, seguindo-se alterações na economia de nutrientes, mudanças metabólicas típicas de situação de estresse e modificações nas características de crescimento.

Quais seriam as conseqüências desse impacto no ecossistema florestal? O primeiro efeito parece ser a acumulação de íons acidificantes no solo. Embora característicos da Serra do mar, os solos ácidos, por resultarem da intemperização de gnaisses e xistos, têm pequena capacidade de neutralização da acidez. Assim, o pH extremamente baixo dos solos de Moji e de Paranapiacaba, quando comparado ao de Pilões, pode ser atribuído, pelo menos em parte, à entrada antropogênica de poluentes acidificantes na atmosfera. Nas áreas poluídas, até mesmo as camadas mais profundas do solo (subsolo) apresentam condições de extrema acidez.

Um segundo efeito, fortemente relacionado com a acidificação do solo, é a perda de nutrientes como potássio, cálcio, magnésio e amônio, por lixiviação. Esse processo é, em parte, contrabalançado pela entrada de nutrientes, como amônio, cálcio e magnésio, dentre os mais importantes.

Finalmente, deve-se levar em conta os efeitos na hidrosfera. Todas as trocas químicas importantes ocorrem na fase líquida do solo. Os efeitos sobre as plantas também são mediados pela solução do solo. A água de nascentes e a água superficial de pequenos córregos, coletadas nas proximidades das florestas estudadas, presumivelmente se situam a curta distância do subsolo e/ou da camada rochosa. Comparando as características químicas dessas águas de nascentes com as da solução do solo em cada área, pode-se concluir que a capacidade das rochas de neutralizar e tamponar a acidez não é suficiente para controlar o processo de acidificação. A acidez que chega com a precipitação e/ou aquela produzida em processos internos do solo, como a nitrificação, não é neutralizada completamente com a infiltração da água. Nutrientes e cátions metálicos potencialmente tóxicos, como alumínio, manganês e ferro, são lixiviados do solo. Mesmo na água superficial podem-se perceber esses efeitos.

VI. CONCLUSÕES

Os resultados das investigações desenvolvidas durante os anos de 1991-1995 mostram que na Serra do Mar, na região de Cubatão, a entrada de poluentes atmosféricos pela chuva tem distribuição bastante heterogênea sobre a superfície da floresta. Comparado esses resultados com os de estudos semelhantes realizados em outras regiões tropicais e temperadas, fica claro que a região de Cubatão tem uma das florestas mais poluídas do mundo.

As taxas de deposição pela chuva, medidas nas três florestas, estão plenamente de acordo com os resultados obtidos nos estudos de modelagem e transporte de poluentes realizados no mesmo período. Os padrões de deposição utilizados nos modelos de transporte (Fedler & Massambani 1997) mostraram que as taxas de deposição do SO_2 na floresta poluída do Moji foram de 2 a 5 vezes mais altas do que as taxas na floresta a sudoeste (Pilões) e na borda do planalto (Paranapiacaba).

A deposição úmida e seca (Jaeschke 1997) mostrou relação similar para os compostos de enxofre e nitrogênio, sendo a deposição pela neblina uma segunda via de entrada, perfazendo cerca de 10% do total depositado pela água de chuva.

Neste estudo foi possível constatar que os solos são afetados principalmente pela entrada de compostos de nitrogênio e enxofre, além de fluoreto. Dependendo do grau de deposição, o efeito negativo no ecossistema pôde ser observado por meio de:

1. condições físico-químicas do solo, como o abaixamento do pH e a acidificação do complexo de troca;
2. aumento da produção interna de ácidos no solo, pela mineralização da matéria orgânica e nitrificação;
3. degradação da vegetação, devido ao baixo suprimento e/ou desequilíbrio nutricional, além do efeito direto sobre o dossel. A degradação promove perda de nutrientes, pois a vegetação, juntamente com os organismos do solo, têm função muito importante na estocagem e reciclagem de nutrientes, mantendo os ciclos fechados e prevenindo as perdas por lixiviação;
4. transferência de acidez do solo para a hidrosfera;
5. aumento da ciclagem de nutrientes (nitrogênio, enxofre, cálcio, magnésio e potássio), com perdas desses nutrientes do solo e/ou do ecossistema para a hidrosfera.

Tais resultados fornecem subsídios para a comparação com outros ecossistemas, bem como para o monitoramento das alterações nas condições ambientais da região de Cubatão.

VII BIBLIOGRAFIA

- Ab'Saber, A.N. 1987. A Serra do Mar na região de Cubatão: Avalanches de janeiro de 1985. A ruptura do equilíbrio ecológico na Serra de Paranapiacaba e a poluição industrial. In: Simpósio sobre ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira – síntese de conhecimentos. Publicação ACIESP, São Paulo, 74-116.
- Agrawal, S.B. & Agrawal, M. 1999. Environmental pollution and plants responses. Lewis Publishers, United States of American.
- Alonso, C.D. & Godinho, R. 1992. A evolução da qualidade do ar em Cubatão. Química Nova 15:126-136.
- Bragança, C.F., Kuono, E.C., Aguiar, L.S.J. & Santos, R.P. 1987. Avaliação da degradação da Serra do Mar. Ambiente 1:77-85.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Serv. Nac. Pesq. Agron. Boletim 12.
- Britez, R.M. 1994. Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR. Dissertação de mestrado. Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- Bruskina, I.M., Chemeris, M.V., Gytarsky, M.L., Karaban, R.T. & Sysygina, T.I. 1994. Changes in deposition acidity and soil acidification in the vicinity of nickel smelters. Aquilo Ser. Bot. 34:13-17.
- Bulbovas, P. 2000. Efeitos da poluição atmosférica na germinação e crescimento de plântulas de *Euterpe edulis* Mart., na região de Cubatão, SP. Dissertação de mestrado. Departamento de Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Bussotti F. & Ferretti, M. 1999. Forest decline: A problem for Europe and North America. In: Ecology. (Farina, A. ed.). Perspectives Backhuys Publishers, Leiden, NL.
- CETESB, 1985. Caracterização química das águas de Cubatão. Série Relatórios

- CETESB. 1998. Relatório anual da qualidade do ar no Estado de São Paulo – 1997. Série Relatórios.
- Cicco, V. & Arcova, C.S. 1999. Manejo de bacias hidrográficas dos rios Paraíba e Una. 2ª Reunião sobre Pesquisa Ambiental na Secretaria do Meio Ambiente. Resumos p.155.
- Curi, N., Larach, J.O.I., Kämpf, N., Moniz, A.C. & Fontes, L.E.F. 1993. Vocabulário de ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Campinas, SP.
- De Vuono, Y., Domingos, M. & Lopes, M.I.M.S. 1989a. Decomposição da serapilheira e liberação de nutrientes na floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, São Paulo, Brasil. *Hoehnea* 16:179-193.
- De Vuono, Y., Lopes, M.I.M.S. & Domingos, M. 1989b. Air pollution and effects on soil and vegetation of Serra do Mar near Cubatão, São Paulo, Brazil. In: *Proceedings of the 15th international meeting for specialists in air pollution effects on forest ecosystems - air pollution and forests decline* (J.B.Bucher & I. Bucher-Wallin, eds). Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV), V.II:396-398.
- Derome J. & Nieminen, T. 1998. Metal and macronutrient fluxes in heavy-metal polluted Scots pine ecosystems in SW Finland. *Environmental Pollution* 103:219-228.
- Dias, C.T.S., Lima, C.G. & Nogueira, M. C. S. 1996. Estatística multivariada através do SAS para Windows. Departamento de Matemática e Estatística. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- Domingos, M. 1987. Aspectos da ciclagem de nutrientes na Reserva Biológica de Paranapiacaba (São Paulo), sujeita aos poluentes aéreos do complexo industrial de Cubatão. Dissertação de mestrado. Departamento de Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

- Domingos, M., 1998. Biomonitoramento da fitotoxicidade da poluição aérea e da contaminação do solo na região do complexo industrial de Cubatão, São Paulo, utilizando *Tibouchina pulchra* Cong. como espécie indicadora. Tese de doutorado. Departamento de Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Domingos, M., Klumpp, A. & Klumpp, G. 1998. Air pollution impact in the Atlantic Forest in the Cubatão region, SP, Brazil. *Ciência e Cultura. Journal of the Brazilian Association for the advancement of Science* 50(4):230-236.
- Domingos, M., Lopes, M.I.S.M. & De Vuono, Y.S. 2000. Nutrient cycling disturbance in Atlantic Forest sites affected by air pollution coming from the industrial complex of Cubatão, Southeast Brazil. *Revta. Brasil. Bot.*, São Paulo, 23(1):77-85.
- Domingos, M., Poggiani, F., De Vuono, Y.S. & Lopes, M.I.M.S. 1990. Produção de serapilheira na floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. *Hoehnea*, 17(1):47-58.
- Domingos, M., Poggiani, F., De Vuono, Y.S. & Lopes, M.I.M.S. 1995. Precipitação pluvial e fluxo de nutrientes na floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. *Revista brasileira de Botânica*, 18(1):119-131.
- Domingues, E.N. & Pfeifer, R.M. 1985. As formações superficiais e a geomorfologia da Bacia do Ribeirão Leme, no Parque Estadual da Serra do Mar (SP). *Boletim de Geografia Teorética*, 15(29-30):305-312.
- Ellenberg, H., Mayer, R. & Schauermann, J. 1986. *Ökosystemforschung – Ergebnisse des Solling-Projekts*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Alemanha.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, RJ.
- Faure, G. 1998. *Principles and applications of geochemistry*. Prentice Hall, New Jersey.

- Fialho, R. C. 1998. Acumulação foliar de fluoretos e seu significado ecológico, em espécies arbóreas da Mata Atlântica, Cubatão, SP. Dissertação de mestrado. Departamento de Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Fiedler, F. & Massambani, O. 1997. Circulation and mass transport module. In: Air pollution and vegetation damage in the tropics - the Serra do Mar as an example - Final report 1990-1996 (D. Klockow, H.T. Targa & W. Vautz, eds.). German/Brazilian Cooperation in Environmental Research and Technology, SHIFT (Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in Tropics). Programme GKSS – Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, Alemanha, p.II.1 - II.45.
- Freedman, B. 1995. Environmental ecology. The ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses. Academic Press Inc., San Diego.
- Furlan, C.M. Salatino, A. & Domingos, M. 1999. Leaf contents of nitrogen and phenolic compounds and their bearing with the herbivore damage to *Tibouchina pulchra* Cong. (Melastomataceae), under the influence of pollutants from industries of Cubatão, São Paulo. Revta. Brasil. Bot. 22 (2-suplemento):317-324.
- Furlan, C.M., 1998. Efeitos da poluição aérea de Cubatão sobre o conteúdo de nitrogênio, fibras, ligninas e substâncias fenólicas foliares e atividade herbivórica em *Tibouchina pulchra* Cong.. Dissertação de mestrado. Departamento de Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Golley, F.B., McGinnis, J.T., Clements, R.G., Child, G.I. & Duever, M.J. 1978. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), São Paulo.
- Gutberlet, J. 1996. Cubatão: desenvolvimento, exclusão social e degradação ambiental. . Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), São Paulo.
- Harrison, A.F., Ineson, P. & Heal, O.W. 1989. Nutrient cycling in terrestrial Ecosystems: Field methods, application and interpretation. Elsevier Applied Science, London.

- Harrison, R.M. 1990. Pollution: causes, effects and control. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Hölscher, D. 1995. Wasser – und Stoffhaushalt eines Agrarökosystems mit Waldbrache im ötlichen Amazonangebiet. Göttinger Beiträge zur Land – und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen.
- Jaeschke, W. 1997. Chemistry module. In: Air pollution and vegetation damage in the tropics – the Serra do Mar as an example – Final report 1990-1996. (D. Klockow, H.T. Targa & W. Vautz, eds.). German/Brazilian Cooperation in Environmental Research and Technology, SHIFT (Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in Tropics). Programme GKSS – Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, Alemanha, p. III.1- III.77.
- Jordan, C.F. & Heuveldop, J. 1981. The water budget of an Amazonian rain forest. *Acta Amazônica* 11(1):87-92.
- Jordan, C.F. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. John Wiley & Sons, Great Britain.
- Kiehl, E.J. 1979. Manual de edafologia. Agronômica Ceres, SP.
- Klar, A.E. 1988. A água no sistema solo-planta-atmosfera. Nobel, São Paulo.
- Klumpp A., Klumpp. G. & Domingos, M. 1994. Plants as bioindicators of air pollution at the Serra do Mar near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *Environmental Pollution* 85:109-116.
- Klumpp, A. Domingos, M., Klumpp, G. & Guderian, R. 1997. Vegetation module. In: Air pollution and vegetation damage in the tropics – the Serra do Mar as an example – Final report 1990-1996. (D. Klockow, H.T. Targa & W. Vautz, eds.). German/Brazilian Cooperation in Environmental Research and Technology, SHIFT (Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in Tropics). Programme GKSS – Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, Alemanha, p.V.1-V.40.
- Klumpp, A., Domingos, M. & Klumpp. G. 1996b. Assessment of the vegetation risk by fluoride emissions from fertilizer industries at Cubatão, Brazil. *The Science of the Total Environment* 192:219-228.

- Klumpp, A., Domingos, M., Moraes, R.M. & Klumpp, G. 1998. Effects of complex air pollution on tree species of the Atlantic rain forest near Cubatão, Brazil. *Chemosphere* 36(45):989-994.
- Klumpp, A., Domingos, M., Moraes, R.M. & Lima, J.S. 2000b. Use of subtropical plant species as bioindicators of air pollution in the vicinity of industrial complexes in Brazil. 1. Symposium der A.F.W. Schimper-Stifung. 392-396.
- Klumpp, A., Klumpp, G. Domingos, M. & Guderian, R. 1995. Hemerocallis as bioindicator of fluoride pollution in tropical countries. *Environmental Monitoring and Assessment* 35:27-42.
- Klumpp, A., Klumpp, G., Domingos, M. & Silva, M.D. 1996a. Fluoride impact on native tree species of the Atlantic Forest near Cubatão, Brazil. *Water, Air and Soil Pollution* 87:57-71.
- Klumpp, G., Furlan, C.M., Domingos, M. & Klumpp, A. 2000a. Response of stress indicators and growth parameters of *Tibouchina pulchra* Cong. exposed to air and soil pollution near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *The Science of the Total Environment* 246:79-91.
- Leitão Filho, H.F., Pagano, S.N., César, O., Timoni, J.L. & Rueda, J.J. 1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. Editora da Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP.
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Johnson, N.M. & Pierce, R.S. 1967. The calcium, magnesium, potassium and sodium budget for a small forested ecosystem. *Ecology* 48:772-85.
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Johnson, N.M., Fisher, D.W. & Pierce, R.S. 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. *Ecol. Monog.* 40:23-47.
- Likens, G.E., Driscoll, C.T. & Buso, D.C. 1996. Long-term effects of acid rain: response and recovery of a forest ecosystem. *Science* 272:244-246.
- Lima, W.P. 1980. As florestas e a poluição do ar. IPEF, Série Técnica 1(1):1-41.
- Lloyd, C.R. & Marques, A.O. 1988. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rain forest. *Agric. For. Meteorol.* 42:63-73.

- Lopes, M.I.M.S., De Vuono, Y.S. & Domingos, M. 1990. Serapilheira acumulada na floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. *Hoehnea* 17:59-70.
- Lopes, M.I.M.S., Teixeira, C.B., Compte, V.X., Liess, S. & Mayer, R. 1993. Litter production in the Atlantic Forest vegetation of Serra do Mar, Cubatão region, Brazil. In: III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira. Publicação ACIESP. II: 87-94.
- Maitat, O., Boudot, J.P., Merlet, D. & Rouiller, J. 2000. Aluminium chemistry in two contrasted acid forest soils and headwater streams impacted by acid deposition, Vosges Mountains, N.E. France. *Water, Air and Soil Pollution* 117:217-243.
- Mayer, R. & Lopes, M.I.M.S. 1997. Soil module. In: Air pollution and vegetation damage in the tropics - the Serra do Mar as an example - Final report 1990-1996 (D. Klockow, H.T. Targa & W. Vautz, eds.). German/Brazilian Cooperation in Environmental Research and Technology, SHIFT (Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in Tropics). Programme GKSS – Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, Alemanha, p.IV.1 - IV.36.
- Mayer, R. & Ulrich, B. 1974. Conclusions on the filtering action of forests on ecosystem analysis. *Oecol. Plant.* 9:157-168.
- Mayer, R., Liess, S., Lopes, M.I.M.S. & Kreutzer, K. 2000a. Atmospheric pollution in a tropical rain forest: effects of deposition upon biosphere and hydrosphere. I. Concentrations of chemicals. *Water, Air and Soil Pollution* 121(1-4):59-78.
- Mayer, R., Liess, S., Lopes, M.I.M.S. & Kreutzer, K. 2000b. Atmospheric pollution in a tropical rain forest: effects of deposition upon biosphere and hydrosphere. II. Fluxes of chemicals and element budgets. *Water, Air and Soil Pollution* 121(1-4):79-92.
- Mazzoni-Viveiros, S.C. 1996. Aspectos estruturais de *Tibouchina pulchra* Cong. (Melastomataceae) sob o impacto de poluentes atmosféricos provenientes do complexo industrial de Cubatão. Tese de doutorado. Departamento de Botânica. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

- Meguro, M., Vinueza, G.N. & Delitti, W.B.C. 1979. Ciclagem de nutrientes na mata mesófila secundária – São Paulo. II- O papel da precipitação na importação de potássio e fósforo. Boletim de Botânica – Universidade de São Paulo, SP. 7:61-67.
- Mello, F.A.F., Sobrinho, M.O.C.B, Arzolla, S., Silveira. R.I., Netto, A.C. & Kiehl, J.C. 1985. Fertilidade do Solo. Nobel, São Paulo.
- Merino, A., Macías, F. & Garcia-Rodeja, E. 2000. Element fluxes and buffer reactions in acidifiers soils from a humid-temperate region of Southern Europe. Water, Air and Soil Pollution 120:217-228.
- Moraes, M.R., Delitti, W.B.C. & Moraes, J.A.P.V. 2000a. Fotossíntese líquida e crescimento de *Tibouchina pulchra* Cong. nas proximidades de indústrias petroquímicas, em Cubatão, SP. Hoehnea 27(1):77-85.
- Moraes, M.R., Delitti, W.B.C. & Moraes, J.A.P.V. 2000b. Respostas de indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cong. à poluição aérea de Cubatão, SP: fotossíntese líquida, crescimento e química foliar. Revta. brasil. Bot. 23:441-447.
- Moraes, R.M. 1999. Fotossíntese líquida e respostas bioindicadoras da poluição em indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cong. (Melatomataceae) em Cubatão, SP. Tese de doutorado. Departamento de Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Mudd, J.B. & Kozlowski, T.T. 1975. Responses of plants to air pollution. Academic Press, New York.
- Nascimento, M.R. 1995. Decomposição da matéria orgânica em ecossistemas florestais da Serra do Mar afetados pela poluição aérea, na região de Cubatão, SP. Monografia, Universidade de Santo Amaro, São Paulo.
- Nichii, M., Bulbovas, P. & Lopes, M.I.M.S. 1998. Biomassa radicular em Floresta Atlântica de encosta, na região de Cubatão, São Paulo. XLIX Congresso Nacional de Botânica, Salvador, Bahia. Resumos p 312
- Pereira, A.R., Nova, N.A.V. & Sedyama G.C. 1997. Evapo(transpi)ração. Fundação de Estudos Agrários (FEALQ), Piracicaba, SP.

- Pompéia, S.L. 1989. Aspectos da dinâmica dos nutrientes minerais em solo sob vegetação de Campo Cerrado (Mogi-Guaçu-SP). Dissertação de mestrado. Departamento de Botânica. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Pompéia, S.L. 1997. Sucessão secundária da Mata Atlântica em áreas afetadas pela poluição atmosférica de Cubatão, SP. Tese de doutorado. Departamento de Botânica. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Pompéia, S.L. 2000. Respostas das plantas nativas brasileiras à poluição. In: *Ecofisiologia Vegetal* (W. Larcher ed.). Rima Artes e Textos, São Carlos, SP.
- Pradella, D.Z.A., 1997. Estudos com *Tibouchina pulchra* Cong. (Melastomataceae – manacá da serra) submetida a estresse por poluição na Serra do Mar em Cubatão-SP-Brasil. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em ecologia e recursos naturais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- Queiroz Neto, J.P. & Küpper, A. 1965. Os solos. In: *A Baixada Santista. Aspectos Geográficos*. USP. São Paulo, SP, VI:67-92.
- Radambrasil. Ministério das Minas e Energia. 1983. Levantamento de recursos naturais – folhas SF 23/24. Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia (Projeto Radambrasil, 32).
- Reichardt, K. 1977. *A água na produção agrícola*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
- Reichardt, K. 1985. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Fundação Cargil, Piracicaba, SP.
- Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A. & Bellot, J. 1999. *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Springer-Verlang, Berlin.
- Rodhe, H. & Herrera, R. 1988. Acidification in tropical countries. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), Great Britain, Série 36.
- Rossi, M. & Pfeifer, R.M. 1991a. Pedologia do Parque Estadual da Serra do Mar I. Levantamento de reconhecimento dos solos. *Rev. Flor. São Paulo* 3(1):1-44.
- Rossi, M. & Pfeifer, R.M. 1991b. Pedologia do Parque Estadual da Serra do Mar. II. Levantamento detalhado dos solos. *Rev. Flor. São Paulo* 3(1):45-65.

- Rost-Siebert, K. 1985. Untersuchungen zur H- und Al-Ionen-toxizität na Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies*) und Buche (*Fagus sylvatica*) in Lösungskultur. Ber Forschungszent Waldökosust Univ Göttingen 12:1-129.
- Segala-Alves, E. 1995. The effects of the pollution on wood of *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae). IAWA Journal 16(1):69-80.
- Setzer, J. 1976. Atlas da evapotranspiração efetiva no Estado de São Paulo. Secretaria de Obras e do Meio Ambiente. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de Hidráulica.
- Silva, L.F. 1996. Solos tropicais: Aspectos pedológicos, ecológicos e de manejo. Terra Brasilis Editora, São Paulo.
- SMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 1990. A Serra do Mar: degradação e recuperação. Série Documentos.
- Smith, W.H. 1990. Air pollution and forests: interaction between air contaminants and forest ecosystem. Springer-Verlag, New York.
- Szabo, A.V. 1999. Conteúdo de enxofre e tióis e parâmetros de crescimento em indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cong. expostos à poluição aérea, na região do pólo industrial de Cubatão, São Paulo. Dissertação de mestrado. Departamento de Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Targa, H.J. & Klockow, D., 1997. Introduction. In: Air pollution and vegetation damage in the tropics - the Serra do Mar as an example - Final report 1990-1996 (D. Klockow, H.T. Targa & W. Vautz, eds.). German/Brazilian Cooperation in Environmental Research and Technology, SHIFT (Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in Tropics). Programme GKSS – Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, Alemanha, p. I.1 - I.10.
- Treshow, M. & Anderson, F.K. 1991. Plant stress from air pollution. Wiley & Sons, Chichester, New York.
- Troppmair, H. & Ferreira, M.E.M.C. 1987. Cobertura vegetal, poluição aérea e deslizamentos na Serra do Mar. Geografia 12:117-129.

- Ubarana, V.N. 1995. Observation and modeling of rainfall interception in two experimental sites of Amazonian forest. (Gash, J.H.C. et al. eds.), Wiley & Sons, Chichester, New York.
- Ulrich, B. & Pankrath, J. 1983. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Ulrich, B. 1983. An ecosystem oriented hypothesis on the effect of air pollution on forest ecosystems. Ecological Effects of acid deposition, National Swedish Environment Protection Board-Report PM 1636:221-231.
- Ulrich, B. 1987. Stability, elasticity, and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter balance. Ecol. Studies 61:11-49.
- Ulrich, B. 1989. Effects of acid deposition on forest ecosystems in Europe. Advances Environmental Science, Springer, Great Britain.
- Varjabedian, R. 1994. Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais em Mata Atlântica de encosta e em mata sobre restinga, no Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP. Dissertação de mestrado. Departamento de Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Whitmore, T.C. 1990. An introduction to Tropical Rain Forest. Oxford University Press.
- Winter, E.G. 1976. A água, o solo e a planta. EDUSP, São Paulo, SP.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey.

ANEXOS:

Anexo 1. Concentração trimestral média* de sulfato (SO₄-S mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL= menos poluída), Moji (MOJ= fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	
Clareira**					Sobcopas			Solo 10cm			
1	91/92 1	set-nov	2,00 ^{B b}	5,93 ^{AB^a}	2,29 ^{BC^b}	5,83 ^{AB^b}	12,04 ^{A^a}	6,09 ^{A^b}	3,63 ^{B^b}	19,17 ^{BC^a}	4,87 ^{AB^b}
	91/92 2	dez-fev	2,00 ^{B b}	4,67 ^{B^a}	2,11 ^{BC^b}	6,72 ^{A^b}	12,56 ^{A^a}	5,33 ^{A^b}	5,02 ^{AB^b}	21,04 ^{B^a}	6,56 ^{A^b}
	91/92 3	mar-mai	1,67 ^{B^c}	7,11 ^{A^a}	3,11 ^{AB^c}	6,85 ^{A^b}	11,26 ^{A^a}	6,07 ^{A^b}	6,96 ^{A^b}	22,37 ^{AB^a}	7,64 ^{A^b}
	91/92 4	jun-ago	1,67 ^{B^c}	6,22 ^{A^a}	2,78 ^{B^c}	7,07 ^{A^b}	14,11 ^{A^a}	5,33 ^{A^b}	4,65 ^{AB^b}	22,18 ^{AB^a}	6,78 ^{A^b}
2	92/93 5	set-nov	0,67 ^{B^b}	4,89 ^{B^a}	1,11 ^{BC^b}	1,85 ^{B^b}	7,82 ^{B^a}	2,81 ^{A^b}	4,22 ^{B^c}	24,82 ^{A^a}	5,64 ^{A^b}
	92/93 6	dez-fev	1,45 ^{B^b}	3,67 ^{B^a}	1,45 ^{BC^b}	4,63 ^{B^b}	6,78 ^{B^a}	3,19 ^{A^b}	4,15 ^{B^c}	15,48 ^{CD^a}	6,47 ^{A^b}
	92/93 7	mar-mai	0,67 ^{B^a}	2,56 ^{C^a}	0,89 ^{C^a}	3,81 ^{B^a}	6,26 ^{B^a}	2,96 ^{A^a}	3,44 ^{B^b}	13,41 ^{D^a}	5,33 ^{AB^b}
	92/93 8	jun-ago	2,33 ^{B^c}	6,11 ^{A^a}	3,56 ^{A^b}	8,52 ^{A^b}	15,26 ^{A^a}	5,00 ^{A^c}	4,52 ^{B^c}	20,85 ^{B^a}	6,86 ^{A^b}
3	93/94 9	set-nov	1,44 ^{B^b}	3,78 ^{B^a}	2,11 ^{BC^b}	4,00 ^{B^b}	8,93 ^{B^a}	4,19 ^{A^b}	4,00 ^{B^b}	21,07 ^{B^a}	5,41 ^{AB^b}
	93/94 10	dez-fev	1,56 ^{B^a}	3,22 ^{BC^a}	1,22 ^{BC^a}	3,52 ^{B^b}	9,56 ^{B^a}	4,26 ^{A^b}	4,81 ^{AB^b}	18,85 ^{BC^a}	4,61 ^{B^b}
	93/94 11	mar-mai	0,67 ^{B^b}	4,22 ^{B^a}	1,78 ^{BC^b}	2,82 ^{B^b}	8,00 ^{B^a}	3,74 ^{A^b}	2,90 ^{B^b}	14,41 ^{D^a}	4,31 ^{B^b}
	93/94 12	jun-ago	0,67 ^{B^b}	7,83 ^{A^a}	2,17 ^{BC^b}	4,95 ^{B^b}	13,89 ^{A^a}	5,45 ^{A^b}	4,42 ^{B^b}	14,17 ^{D^a}	5,08 ^{AB^b}
4	94/95 13	set-nov	0,67 ^{B^b}	4,08 ^{B^a}	1,00 ^{C^b}	4,44 ^{B^b}	11,20 ^{AB^a}	3,17 ^{A^b}	3,50 ^{B^c}	14,72 ^{D^a}	5,46 ^{A^b}
	94/95 14	dez-fev	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{B^a}	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{B^a}	6,00 ^{B^a}	4,00 ^{A^a}	3,56 ^{B^b}	17,89 ^{C^a}	4,08 ^{B^b}
	94/95 15	mar-mai	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{B^a}	3,33 ^{A^a}	4,00 ^{B^b}	8,22 ^{B^a}	3,33 ^{A^b}	4,67 ^{AB^b}	18,00 ^{C^a}	4,17 ^{B^b}
	94/95 16	jun-ago	3,33 ^{A^a}	5,00 ^{B^a}	3,33 ^{A^a}	5,00 ^{B^b}	9,56 ^{B^a}	3,33 ^{A^b}	3,33 ^{B^b}	23,89 ^{AB^a}	4,08 ^{B^b}
Solo 60cm					Solo 100cm			Nascentes			
1	91/92 1	set-nov	3,25 ^{A^b}	17,42 ^{D^a}	5,38 ^{B^b}	2,30 ^{AB^b}	16,38 ^{D^a}	4,05 ^{AB^b}	1,90 ^{B^a}	1,90 ^{B^a}	1,90 ^{B^a}
	91/92 2	dez-fev	4,89 ^{A^b}	19,20 ^{CD^a}	5,74 ^{B^b}	4,15 ^{A^b}	18,93 ^{C^a}	4,00 ^{AB^b}	2,17 ^{B^a}	2,37 ^{B^a}	2,37 ^{B^a}
	91/92 3	mar-mai	5,30 ^{A^c}	19,85 ^{CD^a}	10,13 ^{A^b}	4,70 ^{A^b}	16,81 ^{CD^a}	6,14 ^{A^b}	3,22 ^{A^a}	3,52 ^{A^a}	2,37 ^{B^b}
	91/92 4	jun-ago	3,83 ^{A^b}	14,85 ^{D^a}	4,98 ^{B^b}	3,19 ^{AB^b}	14,04 ^{E^a}	4,92 ^{AB^b}	1,50 ^{BC^a}	1,70 ^{B^a}	1,80 ^{B^a}
2	92/93 5	set-nov	4,63 ^{A^b}	26,70 ^{B^a}	4,44 ^{B^b}	3,48 ^{AB^b}	20,00 ^{C^a}	4,72 ^{AB^b}	0,89 ^{C^b}	1,48 ^{BC^{ab}}	1,89 ^{B^a}
	92/93 6	dez-fev	4,63 ^{A^b}	19,81 ^{CD^a}	5,47 ^{B^b}	3,22 ^{AB^c}	15,93 ^{DE^a}	5,75 ^{A^b}	0,71 ^{C^a}	1,11 ^{C^a}	1,44 ^{C^a}
	92/93 7	mar-mai	2,41 ^{A^b}	21,67 ^{C^a}	4,03 ^{B^b}	2,15 ^{AB^b}	14,56 ^{DE^a}	3,95 ^{AB^b}	0,72 ^{C^a}	0,78 ^{C^a}	1,04 ^{C^a}
	92/93 8	jun-ago	2,94 ^{A^b}	16,72 ^{D^a}	3,45 ^{B^b}	2,31 ^{AB^b}	17,41 ^{CD^a}	4,53 ^{AB^b}	2,22 ^{B^a}	2,00 ^{B^a}	1,69 ^{B^a}
3	93/94 9	set-nov	2,80 ^{A^b}	28,94 ^{B^a}	3,97 ^{B^b}	2,15 ^{AB^b}	19,78 ^{C^a}	3,97 ^{AB^b}	1,33 ^{C^b}	1,70 ^{B^a}	1,60 ^{BC^{ab}}
	93/94 10	dez-fev	3,33 ^{A^b}	26,93 ^{B^a}	3,67 ^{B^b}	1,48 ^{B^b}	20,00 ^{C^a}	3,19 ^{B^b}	0,93 ^{C^a}	0,86 ^{C^a}	0,86 ^{C^a}
	93/94 11	mar-mai	3,00 ^{A^b}	26,71 ^{B^a}	4,09 ^{B^b}	1,93 ^{AB^b}	19,93 ^{C^a}	3,36 ^{B^b}	0,74 ^{C^a}	1,19 ^{C^a}	0,78 ^{C^a}
	93/94 12	jun-ago	3,06 ^{A^b}	22,56 ^{C^a}	3,42 ^{B^b}	1,78 ^{AB^b}	16,28 ^{D^a}	3,09 ^{B^b}	0,73 ^{C^a}	1,42 ^{C^a}	0,92 ^{C^a}
4	94/95 13	set-nov	2,36 ^{A^b}	14,65 ^{D^a}	4,05 ^{B^b}	1,70 ^{B^c}	14,03 ^{E^a}	3,60 ^{B^b}	0,78 ^{C^a}	0,86 ^{C^a}	0,94 ^{C^a}
	94/95 14	dez-fev	3,67 ^{A^b}	29,44 ^{B^a}	4,00 ^{B^b}	3,33 ^{AB^b}	28,00 ^{A^a}	3,50 ^{B^b}	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{A^a}
	94/95 15	mar-mai	3,67 ^{A^b}	33,89 ^{A^a}	4,92 ^{B^b}	3,33 ^{AB^b}	25,78 ^{AB^a}	4,25 ^{AB^b}	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{A^a}
	94/95 16	jun-ago	3,33 ^{A^b}	26,56 ^{B^a}	3,89 ^{B^b}	3,33 ^{AB^b}	23,56 ^{B^a}	4,08 ^{AB^b}	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{A^a}	3,33 ^{A^a}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 2. Concentração trimestral média* de nitrato (NO₃-N mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL= menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano		Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
			Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm		
1	91/92	1 set-nov	0,19 ^{C a}	0,45 ^{BC a}	0,24 ^{A a}	0,80 ^{B b}	1,26 ^{A a}	0,42 ^{A b}	3,63 ^{AB b}	12,99 ^{CD a}	1,32 ^{A b}
	91/92	2 dez-fev	0,20 ^{C a}	0,22 ^{C a}	0,27 ^{A a}	0,58 ^{BC a}	0,68 ^{BC a}	0,41 ^{A a}	5,97 ^{A b}	15,42 ^{CD a}	1,11 ^{A c}
	91/92	3 mar-mai	0,15 ^{C a}	0,22 ^{C a}	0,20 ^{A a}	0,41 ^{BC a}	0,47 ^{BC a}	0,26 ^{A a}	5,53 ^{A b}	11,47 ^{D a}	0,69 ^{A c}
	91/92	4 jun-ago	1,34 ^{A a}	0,74 ^{B b}	0,30 ^{A c}	0,90 ^{A a}	0,83 ^{AB a}	0,30 ^{A b}	10,20 ^{A b}	29,67 ^{A a}	1,12 ^{A c}
2	92/93	5 set-nov	0,04 ^{C a}	0,37 ^{BC a}	0,11 ^{A a}	0,18 ^{C a}	0,33 ^{C a}	0,10 ^{A a}	1,41 ^{B b}	8,35 ^{D a}	0,69 ^{A b}
	92/93	6 dez-fev	0,80 ^{B a}	0,45 ^{BC ab}	0,33 ^{A b}	0,58 ^{BC a}	0,59 ^{BC a}	0,33 ^{A a}	3,84 ^{AB ab}	7,38 ^{D a}	0,56 ^{A b}
	92/93	7 mar-mai	0,19 ^{C a}	0,35 ^{C a}	0,21 ^{A a}	0,67 ^{BC a}	0,45 ^{BC a}	0,26 ^{A a}	3,92 ^{AB ab}	7,34 ^{D a}	0,62 ^{A b}
	92/93	8 jun-ago	0,33 ^{C b}	0,99 ^{A a}	0,25 ^{A b}	1,02 ^{A a}	1,06 ^{A a}	0,40 ^{A b}	5,21 ^{A b}	20,11 ^{BC a}	1,45 ^{A c}
3	93/94	9 set-nov	0,39 ^{BC ab}	0,71 ^{B a}	0,24 ^{A b}	0,73 ^{BC b}	0,99 ^{A a}	0,44 ^{A b}	4,27 ^{AB b}	17,31 ^{BC a}	0,68 ^{A b}
	93/94	10 dez-fev	0,31 ^{C a}	0,39 ^{BC a}	0,35 ^{A a}	0,61 ^{BC b}	0,89 ^{A a}	0,44 ^{A b}	5,53 ^{A b}	19,86 ^{BC a}	0,80 ^{A c}
	93/94	11 mar-mai	0,16 ^{C a}	0,25 ^{C a}	0,27 ^{A a}	0,46 ^{BC a}	0,56 ^{BC a}	0,31 ^{A a}	4,08 ^{AB b}	13,06 ^{CD a}	1,23 ^{A b}
	93/94	12 jun-ago	0,20 ^{C a}	0,33 ^{C a}	0,29 ^{A a}	0,55 ^{BC a}	0,70 ^{BC a}	0,40 ^{A a}	3,80 ^{AB b}	19,93 ^{BC a}	1,62 ^{A b}
4	94/95	13 set-nov	0,25 ^{C b}	0,64 ^{B a}	0,26 ^{A b}	0,44 ^{BC a}	0,74 ^{BC a}	0,29 ^{A a}	1,81 ^{AB b}	16,28 ^{C a}	1,01 ^{A b}
	94/95	14 dez-fev	0,20 ^{C a}	0,38 ^{BC a}	0,24 ^{A a}	0,51 ^{BC a}	0,39 ^{BC a}	0,27 ^{A a}	2,36 ^{AB a}	7,75 ^{D a}	1,67 ^{A a}
	94/95	15 mar-mai	0,32 ^{C a}	0,46 ^{BC a}	0,24 ^{A a}	0,60 ^{BC a}	0,70 ^{BC a}	0,32 ^{A a}	4,18 ^{AB b}	15,31 ^{CD a}	1,08 ^{A b}
	94/95	16 jun-ago	0,08 ^{C a}	0,36 ^{BC a}	0,08 ^{A a}	0,63 ^{BC a}	0,57 ^{BC a}	0,25 ^{A a}	2,00 ^{AB b}	20,80 ^{B a}	1,55 ^{A b}
			Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes		
1	91/92	1 set-nov	1,16 ^{A b}	9,28 ^{D a}	0,74 ^{A b}	0,70 ^{A b}	8,83 ^{C a}	0,69 ^{A b}	0,30 ^{A c}	7,27 ^{B a}	2,11 ^{B b}
	91/92	2 dez-fev	1,65 ^{A b}	12,42 ^{CD a}	0,82 ^{A b}	1,07 ^{A b}	9,33 ^{C a}	0,75 ^{A b}	0,47 ^{A c}	7,80 ^{AB a}	2,25 ^{B b}
	91/92	3 mar-mai	0,91 ^{A b}	11,32 ^{CD a}	0,26 ^{A b}	0,51 ^{A b}	10,14 ^{BC a}	0,62 ^{A b}	0,30 ^{A c}	6,73 ^{BC a}	2,22 ^{B b}
	91/92	4 jun-ago	0,38 ^{A b}	24,72 ^{A a}	0,58 ^{A b}	0,96 ^{A b}	21,98 ^{A a}	0,68 ^{A b}	0,36 ^{A c}	8,22 ^{AB a}	3,96 ^{A b}
2	92/93	5 set-nov	0,26 ^{A b}	6,01 ^{DE a}	0,49 ^{A b}	0,36 ^{A b}	6,46 ^{C a}	0,43 ^{A b}	0,33 ^{A b}	5,86 ^{C a}	1,57 ^{B b}
	92/93	6 dez-fev	0,23 ^{A b}	4,90 ^{E a}	0,70 ^{A b}	0,29 ^{A b}	9,38 ^{C a}	0,59 ^{A b}	0,50 ^{A c}	6,73 ^{BC a}	2,31 ^{B b}
	92/93	7 mar-mai	0,27 ^{A b}	4,57 ^{E a}	0,68 ^{A b}	0,59 ^{A b}	9,31 ^{C a}	0,60 ^{A b}	0,49 ^{A c}	7,13 ^{BC a}	2,18 ^{B b}
	92/93	8 jun-ago	0,17 ^{A b}	11,70 ^{CD a}	0,56 ^{A b}	1,13 ^{A b}	10,44 ^{BC a}	0,43 ^{A b}	0,38 ^{A b}	8,98 ^{A a}	1,52 ^{B b}
3	93/94	9 set-nov	0,48 ^{A b}	15,58 ^{BC a}	0,39 ^{A b}	0,80 ^{A b}	16,09 ^{B a}	0,39 ^{A b}	0,42 ^{A c}	7,83 ^{AB a}	1,62 ^{B b}
	93/94	10 dez-fev	0,77 ^{A b}	18,78 ^{B a}	0,71 ^{A b}	0,68 ^{A b}	13,87 ^{B a}	0,40 ^{A b}	0,51 ^{A c}	7,60 ^{B a}	1,83 ^{B b}
	93/94	11 mar-mai	0,80 ^{A b}	14,25 ^{C a}	0,94 ^{A b}	0,62 ^{A b}	13,47 ^{B a}	0,54 ^{A b}	0,40 ^{A c}	7,40 ^{B a}	1,75 ^{B b}
	93/94	12 jun-ago	1,10 ^{A b}	8,10 ^{DE a}	0,80 ^{A b}	0,64 ^{A b}	14,40 ^{B a}	0,72 ^{A b}	0,33 ^{A b}	7,13 ^{BC a}	1,60 ^{B b}
4	94/95	13 set-nov	0,83 ^{A b}	15,50 ^{BC a}	0,58 ^{A b}	0,62 ^{A b}	18,05 ^{B a}	0,49 ^{A b}	0,31 ^{A b}	7,25 ^{B a}	1,55 ^{B b}
	94/95	14 dez-fev	1,18 ^{A b}	14,20 ^{C a}	0,98 ^{A b}	1,08 ^{A b}	20,20 ^{A a}	0,89 ^{A b}	0,42 ^{A c}	7,10 ^{BC a}	2,03 ^{B b}
	94/95	15 mar-mai	0,81 ^{A b}	12,50 ^{CD a}	0,71 ^{A b}	0,74 ^{A b}	13,17 ^{B a}	0,62 ^{A b}	0,42 ^{A c}	7,27 ^{B a}	2,00 ^{B b}
	94/95	16 jun-ago	1,83 ^{A b}	16,60 ^{BC a}	1,52 ^{A b}	1,13 ^{A b}	13,60 ^{B a}	1,15 ^{A b}	0,84 ^{A c}	6,00 ^{C a}	1,79 ^{B b}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 3. Concentração trimestral média* de cloro ($\text{Cl}^- \text{mg l}^{-1}$) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL= menos poluída), Moji (MOJ= fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano			Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
				Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm		
1	91/92	1	set-nov	2,38 ^{AB a}	3,71 ^{B a}	2,11 ^{AB a}	7,31 ^{A a}	9,14 ^{B a}	5,52 ^{AB a}	5,83 ^{AB ab}	10,79 ^{BC a}	3,30 ^{A b}
	91/92	2	dez-fev	2,33 ^{AB ab}	4,33 ^{AB a}	1,00 ^{B b}	5,78 ^{A a}	6,00 ^{B a}	2,83 ^{B b}	7,19 ^{A ab}	8,95 ^{C a}	2,40 ^{A b}
	91/92	3	mar-mai	2,00 ^{AB a}	4,00 ^{B a}	1,50 ^{AB a}	6,28 ^{A a}	6,89 ^{B a}	4,22 ^{B b}	7,28 ^{A ab}	10,78 ^{BC a}	2,75 ^{A b}
	91/92	4	jun-ago	3,67 ^{A b}	6,83 ^{A a}	2,17 ^{AB b}	7,72 ^{A b}	11,22 ^{A a}	7,72 ^{A b}	7,25 ^{A b}	18,11 ^{A a}	4,17 ^{A c}
2	92/93	5	set-nov	3,33 ^{A a}	3,83 ^{B a}	0,83 ^{B b}	2,72 ^{BC a}	4,39 ^{C a}	1,72 ^{B a}	2,67 ^{B b}	7,61 ^{C a}	1,25 ^{A b}
	92/93	6	dez-fev	1,67 ^{AB a}	2,17 ^{BC a}	0,83 ^{B a}	2,72 ^{BC a}	3,44 ^{C a}	2,45 ^{B a}	4,39 ^{B ab}	5,39 ^{C a}	0,84 ^{A a}
	92/93	7	mar-mai	1,33 ^{B a}	0,67 ^{C a}	0,67 ^{B a}	3,11 ^{BC a}	4,00 ^{C a}	1,78 ^{B a}	2,44 ^{B b}	6,61 ^{C a}	1,00 ^{A b}
	92/93	8	jun-ago	3,00 ^{A b}	6,17 ^{A a}	3,67 ^{A b}	3,47 ^{BC c}	12,44 ^{A a}	9,39 ^{A b}	6,64 ^{A b}	17,78 ^{A a}	5,25 ^{A b}
3	93/94	9	set-nov	3,80 ^{A a}	4,05 ^{B a}	2,00 ^{AB a}	6,00 ^{A a}	6,65 ^{B a}	4,29 ^{B b}	6,43 ^{A b}	20,06 ^{A a}	3,80 ^{A c}
	93/94	10	dez-fev	3,17 ^{A a}	2,00 ^{BC a}	1,67 ^{AB a}	7,00 ^{A a}	7,11 ^{B a}	4,94 ^{B b}	7,28 ^{A ab}	10,06 ^{BC a}	2,71 ^{A b}
	93/94	11	mar-mai	1,67 ^{AB a}	2,67 ^{BC a}	1,50 ^{AB a}	3,78 ^{BC b}	7,39 ^{B a}	4,72 ^{B b}	4,22 ^{B b}	6,39 ^{C a}	2,09 ^{A b}
	93/94	12	jun-ago	3,75 ^{A b}	6,25 ^{A a}	2,50 ^{AB b}	7,67 ^{A b}	13,92 ^{A a}	7,00 ^{A b}	7,38 ^{A b}	13,42 ^{B a}	3,44 ^{A c}
4	94/95	13	set-nov	3,25 ^{A a}	3,13 ^{B a}	2,13 ^{AB a}	5,84 ^{A a}	8,75 ^{B a}	4,25 ^{B b}	6,25 ^{A b}	13,58 ^{B a}	4,10 ^{A c}
	94/95	14	dez-fev	1,00 ^{B b}	0,50 ^{C b}	3,50 ^{A a}	0,67 ^{C a}	3,00 ^{C a}	1,50 ^{B a}	1,00 ^{B b}	10,83 ^{B a}	0,63 ^{A b}
	94/95	15	mar-mai	2,63 ^{AB a}	3,63 ^{B a}	1,83 ^{AB a}	5,08 ^{B b}	7,58 ^{B a}	4,39 ^{B b}	5,41 ^{AB b}	11,88 ^{B a}	2,72 ^{A b}
	94/95	16	jun-ago	2,50 ^{AB ab}	3,50 ^{B a}	1,00 ^{B b}	5,00 ^{B b}	6,83 ^{B a}	2,67 ^{B b}	4,00 ^{B b}	16,83 ^{AB a}	2,38 ^{A b}
				Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes		
1	91/92	1	set-nov	8,35 ^{A a}	8,76 ^{BC a}	2,99 ^{A b}	5,46 ^{AB a}	5,55 ^{BC a}	2,50 ^{A b}	5,00 ^{BC a}	4,17 ^{BC a}	2,17 ^{B b}
	91/92	2	dez-fev	8,22 ^{A a}	7,67 ^{BC a}	2,99 ^{A b}	6,28 ^{AB a}	5,17 ^{BC a}	2,42 ^{A b}	5,08 ^{BC a}	5,06 ^{AB a}	2,45 ^{AB b}
	91/92	3	mar-mai	6,83 ^{A a}	9,17 ^{BC a}	2,63 ^{A b}	6,28 ^{AB a}	5,67 ^{BC a}	2,17 ^{A b}	5,58 ^{AB a}	5,22 ^{A a}	2,72 ^{AB b}
	91/92	4	jun-ago	6,78 ^{A b}	10,19 ^{B a}	3,46 ^{A c}	7,44 ^{A a}	9,11 ^{A a}	3,04 ^{A b}	6,33 ^{A a}	5,22 ^{A b}	3,81 ^{A c}
2	92/93	5	set-nov	4,17 ^{A b}	10,00 ^{B a}	1,42 ^{A c}	4,56 ^{BC b}	6,72 ^{B a}	1,71 ^{AB b}	3,92 ^{CD a}	4,22 ^{B a}	1,89 ^{B b}
	92/93	6	dez-fev	3,61 ^{B a}	3,56 ^{D a}	1,60 ^{A a}	3,05 ^{C b}	4,94 ^{C a}	1,29 ^{B c}	5,53 ^{AB a}	4,33 ^{AB a}	2,67 ^{AB b}
	92/93	7	mar-mai	2,42 ^{B a}	2,50 ^{D a}	0,84 ^{A a}	2,67 ^{C a}	2,83 ^{D a}	0,88 ^{B b}	3,42 ^{CD a}	3,28 ^{C a}	1,61 ^{BC b}
	92/93	8	jun-ago	3,93 ^{AB b}	13,92 ^{A a}	1,88 ^{A b}	3,19 ^{BC a}	3,75 ^{CD a}	1,29 ^{B b}	4,58 ^{BC a}	4,17 ^{BC ab}	2,71 ^{AB b}
3	93/94	9	set-nov	8,32 ^{A a}	9,33 ^{BC a}	3,35 ^{A b}	5,05 ^{AB a}	5,78 ^{BC a}	2,54 ^{A b}	4,76 ^{BC a}	4,77 ^{AB a}	3,03 ^{AB b}
	93/94	10	dez-fev	8,59 ^{A a}	8,44 ^{BC a}	2,29 ^{A b}	6,00 ^{AB a}	6,61 ^{B a}	1,81 ^{AB b}	4,78 ^{BC a}	4,25 ^{B a}	2,46 ^{AB b}
	93/94	11	mar-mai	3,20 ^{B b}	5,78 ^{C a}	1,92 ^{A b}	3,61 ^{BC ab}	5,39 ^{BC a}	2,03 ^{AB b}	4,28 ^{C a}	0,08 ^{E c}	2,21 ^{B b}
	93/94	12	jun-ago	4,38 ^{A a}	3,42 ^{D b}	2,38 ^{A b}	1,92 ^{CD b}	6,67 ^{B a}	2,13 ^{A b}	4,75 ^{BC a}	4,25 ^{B a}	2,19 ^{B b}
4	94/95	13	set-nov	6,63 ^{A b}	12,42 ^{AB a}	3,31 ^{A c}	4,21 ^{BC b}	8,96 ^{A a}	3,06 ^{A b}	5,08 ^{BC a}	4,56 ^{AB a}	2,41 ^{AB b}
	94/95	14	dez-fev	3,00 ^{B b}	9,17 ^{BC a}	0,67 ^{A b}	1,33 ^{D b}	4,00 ^{CD a}	0,50 ^{B b}	2,50 ^{D a}	0,50 ^{D b}	0,75 ^{C b}
	94/95	15	mar-mai	5,40 ^{A a}	8,12 ^{BC a}	2,29 ^{A b}	4,14 ^{BC ab}	5,81 ^{BC a}	2,01 ^{AB b}	4,75 ^{BC a}	4,17 ^{BC ab}	2,35 ^{AB b}
	94/95	16	jun-ago	2,50 ^{B b}	7,67 ^{BC a}	2,33 ^{A b}	1,83 ^{CD b}	4,67 ^{C a}	2,33 ^{A b}	5,50 ^{AB a}	4,38 ^{AB a}	2,25 ^{B b}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 4. Concentração trimestral média* de flúor (F^- mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL= menos poluída), Moji (MOJ= fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR= moderadamente poluída).

Ano	Trimestre		PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm					
1	91/92	1 set-nov	0,15 ^A ^b	0,63 ^D ^a	0,17 ^A ^b	0,10 ^A ^b	1,18 ^C ^a	0,33 ^A ^b	0,15 ^{AB} ^b	1,45 ^B ^a	0,25 ^{AB} ^b
	91/92	2 dez-fev	0,12 ^A ^a	0,29 ^E ^a	0,20 ^A ^a	0,13 ^A ^b	0,62 ^D ^a	0,17 ^A ^{ab}	0,17 ^{AB} ^b	1,52 ^{AB} ^a	0,21 ^{AB} ^b
	91/92	3 mar-mai	0,10 ^A ^a	0,17 ^E ^a	0,10 ^A ^a	0,09 ^A ^a	0,41 ^D ^a	0,09 ^A ^a	0,10 ^B ^b	1,31 ^{BC} ^a	0,10 ^B ^b
	91/92	4 jun-ago	0,10 ^A ^b	0,48 ^D ^a	0,16 ^A ^b	0,12 ^A ^b	0,92 ^C ^a	0,13 ^A ^b	0,13 ^B ^b	0,82 ^{CD} ^a	0,16 ^{AB} ^b
2	92/93	5 set-nov	0,10 ^A ^a	0,43 ^{DE} ^a	0,10 ^A ^a	0,10 ^A ^b	0,78 ^C ^a	0,11 ^A ^b	0,10 ^B ^b	1,34 ^B ^a	0,16 ^{AB} ^b
	92/93	6 dez-fev	0,12 ^A ^a	0,16 ^E ^a	0,16 ^A ^a	0,12 ^A ^a	0,32 ^D ^a	0,19 ^A ^a	0,14 ^{AB} ^b	1,06 ^C ^a	0,25 ^{AB} ^b
	92/93	7 mar-mai	0,17 ^A ^a	0,29 ^E ^a	0,17 ^A ^a	0,19 ^A ^a	0,43 ^D ^a	0,21 ^A ^a	0,18 ^{AB} ^b	1,04 ^C ^a	0,23 ^{AB} ^b
	92/93	8 jun-ago	0,22 ^A ^b	1,17 ^B ^a	0,27 ^A ^b	0,36 ^A ^b	1,96 ^B ^a	0,39 ^A ^b	0,22 ^{AB} ^b	1,79 ^A ^a	0,38 ^A ^b
3	93/94	9 set-nov	0,19 ^A ^b	0,60 ^D ^a	0,19 ^A ^b	0,20 ^A ^b	1,53 ^B ^a	0,26 ^A ^b	0,16 ^{AB} ^b	1,58 ^A ^a	0,26 ^{AB} ^b
	93/94	10 dez-fev	0,17 ^A ^a	0,33 ^E ^a	0,13 ^A ^a	0,13 ^A ^b	1,15 ^C ^a	0,24 ^A ^b	0,12 ^B ^b	1,68 ^A ^a	0,18 ^{AB} ^b
	93/94	11 mar-mai	0,10 ^A ^a	0,35 ^E ^a	0,14 ^A ^a	0,11 ^A ^b	0,62 ^D ^a	0,22 ^A ^{ab}	0,13 ^B ^b	1,29 ^{BC} ^a	0,16 ^{AB} ^b
	93/94	12 jun-ago	0,10 ^A ^b	0,99 ^B ^a	0,17 ^A ^b	0,13 ^A ^b	1,76 ^B ^a	0,37 ^A ^b	0,16 ^{AB} ^b	1,68 ^A ^a	0,28 ^{AB} ^b
4	94/95	13 set-nov	0,07 ^A ^b	0,89 ^C ^a	0,20 ^A ^b	0,18 ^A ^b	1,63 ^B ^a	0,37 ^A ^b	0,29 ^{AB} ^b	1,00 ^C ^a	0,21 ^{AB} ^b
	94/95	14 dez-fev	0,13 ^A ^b	0,53 ^D ^a	0,14 ^A ^b	0,14 ^A ^b	1,21 ^C ^a	0,31 ^A ^b	0,31 ^{AB} ^b	0,69 ^D ^a	0,41 ^A ^b
	94/95	15 mar-mai	0,06 ^A ^b	0,52 ^D ^a	0,25 ^A ^b	0,30 ^A ^b	0,76 ^C ^a	0,39 ^A ^b	0,37 ^A ^a	0,32 ^E ^a	0,15 ^{AB} ^a
	94/95	16 jun-ago	0,05 ^A ^b	2,16 ^A ^a	0,24 ^A ^b	0,21 ^A ^b	2,77 ^A ^a	0,34 ^A ^b	0,11 ^B ^b	0,40 ^E ^a	0,08 ^B ^b
Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes					
1	91/92	1 set-nov	0,15 ^A ^b	1,42 ^C ^a	0,25 ^A ^b	0,21 ^{AB} ^b	1,00 ^{BC} ^a	0,17 ^B ^b	0,11 ^A ^a	0,15 ^B ^a	0,13 ^A ^a
	91/92	2 dez-fev	0,18 ^A ^b	1,51 ^C ^a	0,28 ^A ^b	0,23 ^{AB} ^b	1,04 ^B ^a	0,20 ^B ^b	0,13 ^A ^a	0,17 ^B ^a	0,18 ^A ^a
	91/92	3 mar-mai	0,09 ^A ^b	1,49 ^C ^a	0,14 ^A ^b	0,14 ^B ^b	0,89 ^{BC} ^a	0,12 ^B ^b	0,10 ^A ^a	0,10 ^B ^a	0,11 ^A ^a
	91/92	4 jun-ago	0,14 ^A ^b	1,35 ^C ^a	0,13 ^A ^b	0,15 ^B ^b	0,89 ^{BC} ^a	0,15 ^B ^b	0,12 ^A ^a	0,12 ^B ^a	0,14 ^A ^a
2	92/93	5 set-nov	0,10 ^A ^b	1,85 ^B ^a	0,15 ^A ^b	0,16 ^B ^b	1,28 ^A ^a	0,11 ^B ^b	0,10 ^A ^a	0,11 ^B ^a	0,10 ^A ^a
	92/93	6 dez-fev	0,18 ^A ^b	1,60 ^{BC} ^a	0,27 ^A ^b	0,24 ^A ^b	0,99 ^{BC} ^a	0,25 ^A ^b	0,12 ^A ^a	0,19 ^{AB} ^a	0,17 ^A ^a
	92/93	7 mar-mai	0,22 ^A ^b	1,34 ^C ^a	0,22 ^A ^b	0,26 ^A ^b	0,85 ^C ^a	0,20 ^{AB} ^b	0,17 ^A ^a	0,17 ^B ^a	0,16 ^A ^a
	92/93	8 jun-ago	0,23 ^A ^b	1,43 ^C ^a	0,28 ^A ^b	0,35 ^A ^b	1,01 ^B ^a	0,32 ^A ^b	0,21 ^A ^a	0,26 ^A ^a	0,18 ^A ^a
3	93/94	9 set-nov	0,19 ^A ^b	2,17 ^{AB} ^a	0,20 ^A ^b	0,25 ^A ^b	1,34 ^A ^a	0,19 ^B ^c	0,14 ^A ^a	0,15 ^B ^a	0,14 ^A ^a
	93/94	10 dez-fev	0,13 ^A ^b	1,55 ^{BC} ^a	0,16 ^A ^b	0,19 ^B ^b	1,35 ^A ^a	0,12 ^B ^b	0,10 ^A ^a	0,10 ^B ^a	0,10 ^A ^a
	93/94	11 mar-mai	0,15 ^A ^b	1,61 ^{BC} ^a	0,17 ^A ^b	0,16 ^B ^b	1,28 ^A ^a	0,13 ^B ^b	0,10 ^A ^a	0,11 ^B ^a	0,10 ^A ^a
	93/94	12 jun-ago	0,16 ^A ^b	2,19 ^A ^a	0,20 ^A ^b	0,19 ^B ^b	1,31 ^A ^a	0,16 ^B ^b	0,10 ^A ^a	0,14 ^B ^a	0,10 ^A ^a
4	94/95	13 set-nov	0,26 ^A ^b	1,31 ^C ^a	0,13 ^A ^b	0,26 ^A ^b	1,00 ^B ^a	0,12 ^B ^c	0,13 ^A ^a	0,12 ^B ^a	0,19 ^A ^a
	94/95	14 dez-fev	0,28 ^A ^a	0,62 ^D ^a	0,33 ^A ^a	0,31 ^A ^b	0,55 ^D ^a	0,30 ^A ^b	0,14 ^A ^a	0,23 ^{AB} ^a	0,11 ^A ^a
	94/95	15 mar-mai	0,13 ^A ^a	0,21 ^D ^a	0,10 ^A ^a	0,31 ^A ^a	0,36 ^E ^a	0,08 ^B ^b	0,14 ^A ^a	0,20 ^{AB} ^a	0,14 ^A ^a
	94/95	16 jun-ago	0,31 ^A ^a	0,41 ^D ^a	0,10 ^A ^a	0,18 ^B ^b	0,26 ^E ^a	0,10 ^B ^b	0,14 ^A ^a	0,13 ^B ^a	0,13 ^A ^a

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 5. Concentração trimestral média* de fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$ mg l^{-1}) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL= menos poluída), Moji (MOJ= fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR= moderadamente poluída).

Ano	Trimestre		PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm					
1	91/92	1 set-nov	0,032 ^{A a}	0,245 ^{BC a}	0,045 ^{A a}	0,134 ^{A b}	0,550 ^{B a}	0,113 ^{A b}	0,048 ^{BC a}	0,059 ^{B a}	0,040 ^{AB a}
	91/92	2 dez-fev	0,042 ^{A a}	0,113 ^{BC a}	0,047 ^{A a}	0,127 ^{A a}	0,197 ^{CD a}	0,082 ^{A a}	0,032 ^{BC a}	0,063 ^{B a}	0,036 ^{AB a}
	91/92	3 mar-mai	0,058 ^{A b}	0,647 ^{A a}	0,028 ^{A b}	0,092 ^{A a}	0,138 ^{CD a}	0,037 ^{A a}	0,098 ^{AB a}	0,142 ^{A a}	0,048 ^{AB a}
	91/92	4 jun-ago	0,040 ^{A a}	0,173 ^{BC a}	0,032 ^{A a}	0,096 ^{A a}	0,224 ^{CD a}	0,052 ^{A a}	0,028 ^{BC a}	0,052 ^{B a}	0,026 ^{AB a}
2	92/93	5 set-nov	0,025 ^{A a}	0,038 ^{C a}	0,050 ^{A a}	0,034 ^{A a}	0,110 ^{CD a}	0,024 ^{A a}	0,136 ^{A a}	0,144 ^{A a}	0,055 ^{A b}
	92/93	6 dez-fev	0,045 ^{A a}	0,047 ^{C a}	0,022 ^{A a}	0,071 ^{A a}	0,045 ^{D a}	0,033 ^{A a}	0,083 ^{B a}	0,071 ^{B a}	0,036 ^{AB a}
	92/93	7 mar-mai	0,017 ^{A a}	0,062 ^{C a}	0,022 ^{A a}	0,097 ^{A a}	0,083 ^{D a}	0,051 ^{A a}	0,064 ^{B a}	0,064 ^{B a}	0,029 ^{AB a}
	92/93	8 jun-ago	0,022 ^{A b}	0,533 ^{A a}	0,035 ^{A b}	0,118 ^{A b}	0,999 ^{A a}	0,057 ^{A b}	0,068 ^{B a}	0,067 ^{B a}	0,031 ^{AB a}
3	93/94	9 set-nov	0,052 ^{A b}	0,277 ^{B a}	0,098 ^{A ab}	0,117 ^{A b}	0,503 ^{B a}	0,129 ^{A b}	0,063 ^{B a}	0,071 ^{B a}	0,058 ^{A a}
	93/94	10 dez-fev	0,055 ^{A a}	0,187 ^{BC a}	0,107 ^{A a}	0,121 ^{A a}	0,325 ^{BC a}	0,171 ^{A a}	0,046 ^{BC a}	0,065 ^{B a}	0,037 ^{AB a}
	93/94	11 mar-mai	0,045 ^{A a}	0,225 ^{BC a}	0,133 ^{A a}	0,081 ^{A b}	0,278 ^{C a}	0,115 ^{A ab}	0,057 ^{B a}	0,060 ^{B a}	0,041 ^{AB a}
	93/94	12 jun-ago	0,024 ^{A b}	0,303 ^{B a}	0,090 ^{A ab}	0,091 ^{A b}	0,318 ^{C a}	0,117 ^{A ab}	0,052 ^{B a}	0,042 ^{B a}	0,030 ^{AB a}
4	94/95	13 set-nov	0,023 ^{A a}	0,228 ^{BC a}	0,043 ^{A a}	0,125 ^{A ab}	0,257 ^{C a}	0,090 ^{A b}	0,039 ^{BC a}	0,045 ^{B a}	0,034 ^{AB a}
	94/95	14 dez-fev	0,045 ^{A a}	0,180 ^{BC a}	0,065 ^{A a}	0,062 ^{A a}	0,163 ^{CD a}	0,068 ^{A a}	0,005 ^{C b}	0,052 ^{B a}	0,005 ^{B b}
	94/95	15 mar-mai	0,040 ^{A a}	0,230 ^{BC a}	0,060 ^{A a}	0,100 ^{A ab}	0,300 ^{C a}	0,080 ^{A b}	0,060 ^{B a}	0,070 ^{B a}	0,040 ^{AB a}
	94/95	16 jun-ago	0,040 ^{A a}	0,230 ^{BC a}	0,060 ^{A a}	0,100 ^{A ab}	0,300 ^{C a}	0,080 ^{A b}	0,060 ^{B a}	0,070 ^{B a}	0,040 ^{AB a}
Solo 60cm			Solo 100cm			Solo 100cm			Nascentes		
1	91/92	1 set-nov	0,032 ^{BC a}	0,041 ^{C a}	0,033 ^{AB a}	0,031 ^{BC ab}	0,039 ^{C a}	0,025 ^{B b}	0,058 ^{C a}	0,050 ^{AB a}	0,031 ^{AB a}
	91/92	2 dez-fev	0,025 ^{C b}	0,038 ^{ab}	0,077 ^{A a}	0,027 ^{C b}	0,062 ^{C a}	0,023 ^{B b}	0,029 ^{D a}	0,027 ^{B a}	0,031 ^{AB a}
	91/92	3 mar-mai	0,065 ^{B b}	0,099 ^{B a}	0,035 ^{AB b}	0,060 ^{B b}	0,111 ^{AB a}	0,027 ^{AB b}	0,169 ^{AB a}	0,078 ^{A b}	0,053 ^{AB b}
	91/92	4 jun-ago	0,036 ^{BC a}	0,030 ^{D a}	0,016 ^{C a}	0,023 ^{C a}	0,033 ^{CD a}	0,019 ^{B a}	0,096 ^{BC a}	0,044 ^{AB ab}	0,021 ^{B b}
2	92/93	5 set-nov	0,107 ^{A b}	0,171 ^{A a}	0,065 ^{A c}	0,098 ^{A b}	0,145 ^{A a}	0,070 ^{A b}	0,195 ^{A a}	0,098 ^{A b}	0,076 ^{A b}
	92/93	6 dez-fev	0,064 ^{B a}	0,078 ^{BC a}	0,039 ^{AB a}	0,063 ^{AB a}	0,079 ^{BC a}	0,046 ^{A a}	0,202 ^{A a}	0,086 ^{A b}	0,068 ^{A b}
	92/93	7 mar-mai	0,046 ^{B a}	0,050 ^{C a}	0,033 ^{AB a}	0,039 ^{B a}	0,040 ^{C a}	0,027 ^{AB a}	0,135 ^{B a}	0,053 ^{AB b}	0,044 ^{AB b}
	92/93	8 jun-ago	0,037 ^{BC a}	0,040 ^{C a}	0,039 ^{AB a}	0,045 ^{B a}	0,046 ^{C a}	0,043 ^{A a}	0,054 ^{CD a}	0,057 ^{AB a}	0,050 ^{AB a}
3	93/94	9 set-nov	0,039 ^{BC a}	0,050 ^{C a}	0,047 ^{B a}	0,053 ^{B a}	0,054 ^{C a}	0,044 ^{A a}	0,057 ^{CD a}	0,057 ^{AB a}	0,051 ^{AB a}
	93/94	10 dez-fev	0,030 ^{C a}	0,039 ^{CD a}	0,038 ^{AB a}	0,051 ^{B a}	0,043 ^{C a}	0,031 ^{AB a}	0,036 ^{CD a}	0,048 ^{AB a}	0,048 ^{AB a}
	93/94	11 mar-mai	0,049 ^{B a}	0,042 ^{C a}	0,042 ^{B a}	0,066 ^{AB a}	0,047 ^{C a}	0,039 ^{A a}	0,044 ^{CD a}	0,041 ^{AB a}	0,042 ^{AB a}
	93/94	12 jun-ago	0,041 ^{B a}	0,026 ^{D b}	0,049 ^{B a}	0,033 ^{BC a}	0,021 ^{D a}	0,026 ^{B a}	0,028 ^{D a}	0,042 ^{AB a}	0,035 ^{AB a}
4	94/95	13 set-nov	0,030 ^{C a}	0,023 ^{D a}	0,034 ^{AB a}	0,024 ^{C a}	0,018 ^{D a}	0,031 ^{AB a}	0,018 ^{D a}	0,030 ^{B a}	0,027 ^{B a}
	94/95	14 dez-fev	0,007 ^{C a}	0,013 ^{D a}	0,015 ^{C a}	0,005 ^{C a}	0,013 ^{D a}	0,005 ^{B a}	0,017 ^{D a}	0,009 ^{B a}	0,010 ^{B a}
	94/95	15 mar-mai	0,040 ^{B a}	0,050 ^{C a}	0,040 ^{B a}	0,040 ^{B a}	0,050 ^{C a}	0,030 ^{AB a}	0,080 ^{C a}	0,050 ^{AB a}	0,040 ^{AB a}
	94/95	16 jun-ago	0,040 ^{B a}	0,050 ^{C a}	0,040 ^{B a}	0,040 ^{B a}	0,050 ^{C a}	0,030 ^{AB a}	0,080 ^{C a}	0,050 ^{AB a}	0,040 ^{AB a}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 6. Concentração trimestral média* de amônio (NH₄-N mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL= menos poluída), Moji (MOJ= fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**				Sobcopas			Solo 10cm			
1 91/92	1 set-nov	0,13 ^A ^b	2,03 ^B ^a	0,29 ^A ^b	0,31 ^A ^b	2,90 ^B ^a	0,71 ^A ^b	0,14 ^B ^b	0,18 ^A ^a	0,16 ^{AB} ^{ab}
91/92	2 dez-fev	0,07 ^A ^a	0,47 ^C ^a	0,10 ^A ^a	0,39 ^A ^b	2,67 ^B ^a	0,56 ^A ^b	0,09 ^B ^b	0,25 ^A ^a	0,08 ^B ^b
91/92	3 mar-mai	0,09 ^A ^b	3,28 ^A ^a	0,19 ^A ^b	0,38 ^A ^b	2,04 ^C ^a	0,46 ^A ^b	0,15 ^{AB} ^a	0,16 ^{AB} ^a	0,08 ^B ^a
91/92	4 jun-ago	0,10 ^A ^b	2,05 ^B ^a	0,22 ^A ^b	0,21 ^A ^b	1,73 ^C ^a	0,31 ^A ^b	0,15 ^{AB} ^{ab}	0,19 ^A ^a	0,12 ^B ^b
2 92/93	5 set-nov	0,19 ^A ^a	0,89 ^{BC} ^a	0,25 ^A ^a	0,15 ^A ^b	3,77 ^A ^a	0,28 ^A ^b	0,20 ^A ^a	0,22 ^A ^a	0,19 ^A ^a
92/93	6 dez-fev	0,14 ^A ^a	1,41 ^{BC} ^a	0,12 ^A ^a	0,20 ^A ^a	0,59 ^D ^a	0,35 ^A ^b	0,14 ^B ^a	0,10 ^B ^a	0,07 ^B ^a
92/93	7 mar-mai	0,21 ^A ^b	3,54 ^A ^a	0,31 ^A ^b	0,44 ^A ^b	3,68 ^{AB} ^a	0,42 ^A ^b	0,28 ^A ^a	0,22 ^A ^a	0,19 ^A ^a
92/93	8 jun-ago	0,18 ^A ^b	4,37 ^A ^a	0,40 ^A ^b	0,41 ^A ^b	4,84 ^A ^a	0,49 ^A ^b	0,28 ^A ^a	0,25 ^A ^a	0,20 ^A ^a
3 93/94	9 set-nov	0,36 ^A ^b	2,33 ^B ^a	0,40 ^A ^b	0,41 ^A ^b	3,03 ^B ^a	0,49 ^A ^b	0,12 ^B ^b	0,26 ^A ^a	0,10 ^B ^b
93/94	10 dez-fev	0,59 ^A ^a	1,43 ^{BC} ^a	0,70 ^A ^a	0,38 ^A ^b	2,81 ^B ^a	0,55 ^A ^b	0,15 ^{AB} ^{ab}	0,24 ^A ^a	0,11 ^B ^b
93/94	11 mar-mai	0,12 ^A ^b	1,72 ^B ^a	0,57 ^A ^b	0,17 ^A ^b	2,44 ^C ^a	0,48 ^A ^b	0,06 ^B ^a	0,12 ^B ^a	0,05 ^B ^a
93/94	12 jun-ago	0,20 ^A ^b	3,03 ^{AB} ^a	0,42 ^A ^b	0,27 ^A ^b	3,89 ^A ^a	0,60 ^A ^b	0,06 ^B ^b	0,19 ^A ^a	0,06 ^B ^b
4 94/95	13 set-nov	0,18 ^A ^b	4,10 ^A ^a	0,53 ^A ^b	0,28 ^A ^b	3,60 ^B ^a	0,58 ^A ^b	0,06 ^B ^b	0,20 ^A ^a	0,06 ^B ^b
94/95	14 dez-fev	0,11 ^A ^a	1,60 ^{BC} ^a	0,59 ^A ^a	0,22 ^A ^b	1,68 ^C ^a	0,51 ^A ^b	0,05 ^B ^b	0,20 ^A ^a	0,05 ^B ^b
94/95	15 mar-mai	0,21 ^A ^b	2,24 ^B ^a	0,37 ^A ^b	0,30 ^A ^b	2,80 ^B ^a	0,48 ^A ^b	0,13 ^B ^b	0,20 ^A ^a	0,10 ^B ^b
94/95	16 jun-ago	0,29 ^A ^a	0,45 ^C ^a	0,38 ^A ^a	0,29 ^A ^b	1,68 ^C ^a	0,32 ^A ^b	0,05 ^B ^b	0,28 ^A ^a	0,04 ^B ^b
Solo 60cm				Solo 100cm			Nascentes			
1 91/92	1 set-nov	0,12 ^{AB} ^a	0,11 ^{AB} ^a	0,15 ^A ^a	0,12 ^{AB} ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,13 ^A ^a	0,09 ^B ^b	0,10 ^{AB} ^a	0,11 ^{AB} ^a
91/92	2 dez-fev	0,08 ^B ^a	0,09 ^B ^a	0,11 ^{AB} ^a	0,08 ^B ^a	0,08 ^C ^a	0,12 ^{AB} ^a	0,09 ^{AB} ^a	0,11 ^{AB} ^a	0,11 ^{AB} ^a
91/92	3 mar-mai	0,06 ^B ^a	0,05 ^B ^a	0,09 ^B ^a	0,05 ^B ^a	0,05 ^C ^a	0,05 ^B ^a	0,07 ^B ^a	0,06 ^B ^a	0,11 ^{AB} ^a
91/92	4 jun-ago	0,03 ^B ^b	0,10 ^{AB} ^{ab}	0,13 ^A ^a	0,08 ^B ^b	0,16 ^{AB} ^a	0,11 ^{AB} ^{ab}	0,16 ^A ^a	0,12 ^{AB} ^a	0,22 ^A ^a
2 92/93	5 set-nov	0,16 ^A ^a	0,15 ^A ^a	0,17 ^A ^a	0,15 ^A ^a	0,15 ^{AB} ^a	0,18 ^A ^a	0,14 ^{AB} ^a	0,20 ^A ^a	0,17 ^A ^a
92/93	6 dez-fev	0,07 ^B ^a	0,08 ^B ^a	0,09 ^B ^a	0,07 ^B ^a	0,07 ^C ^a	0,09 ^B ^a	0,07 ^B ^a	0,07 ^B ^a	0,06 ^B ^a
92/93	7 mar-mai	0,14 ^A ^a	0,15 ^A ^a	0,14 ^A ^a	0,16 ^A ^a	0,18 ^{AB} ^a	0,13 ^A ^a	0,17 ^A ^a	0,14 ^{AB} ^a	0,17 ^A ^a
92/93	8 jun-ago	0,09 ^B ^a	0,08 ^B ^a	0,08 ^B ^a	0,09 ^{AB} ^a	0,11 ^{BC} ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,10 ^{AB} ^a
3 93/94	9 set-nov	0,08 ^B ^b	0,20 ^A ^a	0,09 ^B ^b	0,10 ^{AB} ^b	0,23 ^A ^a	0,08 ^B ^b	0,07 ^B ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,11 ^{AB} ^a
93/94	10 dez-fev	0,11 ^{AB} ^a	0,17 ^A ^a	0,11 ^{AB} ^a	0,15 ^A ^a	0,15 ^{AB} ^a	0,11 ^{AB} ^a	0,12 ^{AB} ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,15 ^A ^a
93/94	11 mar-mai	0,05 ^B ^a	0,06 ^B ^a	0,04 ^B ^a	0,04 ^B ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,04 ^B ^a	0,06 ^B ^a	0,06 ^B ^a	0,08 ^B ^a
93/94	12 jun-ago	0,09 ^B ^a	0,10 ^B ^a	0,05 ^B ^a	0,05 ^B ^a	0,12 ^{BC} ^a	0,07 ^B ^a	0,08 ^B ^a	0,07 ^B ^a	0,08 ^B ^a
4 94/95	13 set-nov	0,07 ^B ^a	0,08 ^B ^a	0,06 ^B ^a	0,05 ^B ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,06 ^B ^a	0,05 ^B ^a	0,06 ^B ^a	0,07 ^B ^a
94/95	14 dez-fev	0,08 ^B ^a	0,12 ^{AB} ^a	0,05 ^B ^a	0,04 ^B ^b	0,15 ^{AB} ^a	0,06 ^B ^b	0,02 ^B ^a	0,08 ^B ^a	0,12 ^{AB} ^a
94/95	15 mar-mai	0,08 ^B ^a	0,11 ^{AB} ^a	0,09 ^B ^a	0,08 ^B ^a	0,12 ^{BC} ^a	0,09 ^{AB} ^a	0,09 ^{AB} ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,11 ^{AB} ^a
94/95	16 jun-ago	0,02 ^B ^a	0,04 ^B ^a	0,03 ^B ^a	0,09 ^{AB} ^a	0,06 ^C ^a	0,03 ^B ^a	0,17 ^A ^a	0,17 ^A ^a	0,03 ^B ^b

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 7. Concentração trimestral média* de potássio (K mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR			
				Clareira**				Solo 10cm					
1	91/92	1	set-nov	0,32 ^{AB} a	0,40 ^{BC} a	0,32 ^{BC} a		8,36 ^B a	3,68 ^B b	4,14 ^B b	3,31 ^A a	2,18 ^B b	0,63 ^A c
	91/92	2	dez-fev	0,23 ^{AB} a	0,08 ^C a	0,08 ^C a		5,54 ^C a	1,51 ^C b	1,59 ^C b	3,04 ^A a	1,99 ^B b	0,16 ^A c
	91/92	3	mar-mai	0,06 ^B b	1,07 ^A a	0,04 ^C b		4,45 ^{CD} a	1,44 ^C b	1,59 ^C b	3,10 ^A a	1,52 ^C b	0,08 ^A c
	91/92	4	jun-ago	0,40 ^{AB} a	0,67 ^B a	0,27 ^{BC} a		8,41 ^B a	2,92 ^{BC} b	3,14 ^{BC} b	3,21 ^A a	2,57 ^{AB} a	0,25 ^A b
2	92/93	5	set-nov	0,18 ^B a	0,27 ^{BC} a	0,17 ^C a		3,50 ^D a	1,94 ^C b	1,42 ^C b	2,14 ^B a	2,12 ^B a	0,12 ^A b
	92/93	6	dez-fev	0,47 ^A a	0,30 ^{BC} ab	0,17 ^C b		5,44 ^C a	2,17 ^C b	1,81 ^C b	2,71 ^A a	1,45 ^C b	0,11 ^A c
	92/93	7	mar-mai	0,33 ^{AB} a	0,43 ^{BC} a	0,30 ^{BC} a		4,85 ^C a	2,40 ^{BC} b	2,28 ^{BC} b	2,25 ^B a	1,67 ^C b	0,19 ^A c
	92/93	8	jun-ago	0,37 ^{AB} a	0,51 ^B a	0,36 ^{BC} a		6,29 ^C a	3,32 ^{BC} b	2,94 ^{BC} b	2,11 ^B a	1,85 ^{BC} a	0,16 ^A b
3	93/94	9	set-nov	0,46 ^{AB} a	0,47 ^B a	0,29 ^{BC} a		8,11 ^B a	3,52 ^B b	2,79 ^{BC} b	2,07 ^B a	2,45 ^B a	0,10 ^A b
	93/94	10	dez-fev	0,67 ^A a	0,53 ^B a	0,47 ^B a		6,74 ^B a	3,36 ^B b	2,84 ^{BC} b	2,98 ^A a	2,62 ^A a	0,08 ^A b
	93/94	11	mar-mai	0,28 ^{AB} a	0,33 ^{BC} a	0,63 ^B a		3,80 ^D a	2,78 ^{BC} a	2,37 ^{BC} ab	2,15 ^B a	1,11 ^C b	0,05 ^A c
	93/94	12	jun-ago	0,22 ^B c	0,75 ^A a	0,55 ^B b		6,62 ^{BC} a	4,54 ^B ab	3,45 ^B b	1,88 ^{BC} a	1,38 ^C a	0,08 ^A b
4	94/95	13	set-nov	0,48 ^A a	0,68 ^{AB} a	0,40 ^{BC} a		5,95 ^C a	3,75 ^B b	2,43 ^{BC} b	1,03 ^D b	2,03 ^B a	0,14 ^A c
	94/95	14	dez-fev	0,40 ^{AB} a	0,40 ^{BC} a	0,30 ^{BC} a		3,67 ^D a	2,03 ^C b	2,20 ^{BC} ab	0,38 ^E b	1,43 ^C a	0,08 ^A b
	94/95	15	mar-mai	0,70 ^A ab	0,43 ^{BC} b	0,96 ^A a		14,00 ^A a	9,95 ^A b	10,40 ^A b	0,50 ^E b	1,80 ^{BC} a	0,16 ^A b
	94/95	16	jun-ago	0,40 ^{AB} a	0,70 ^{AB} a	0,40 ^{BC} a		4,98 ^C a	3,20 ^{BC} b	1,67 ^C b	1,30 ^{CD} a	1,45 ^C a	0,20 ^A b
				Solo 60cm				Solo 100cm			Nascentes		
1	91/92	1	set-nov	0,95 ^{BC} a	0,29 ^A b	0,18 ^A b		0,40 ^{BC} a	0,41 ^{AB} a	0,44 ^A a	1,20 ^{CD} a	1,00 ^{AB} a	0,55 ^B b
	91/92	2	dez-fev	1,43 ^{AB} a	0,27 ^A b	0,09 ^A b		0,38 ^{BC} a	0,33 ^{AB} a	0,25 ^B a	0,92 ^D a	0,70 ^B ab	0,53 ^B b
	91/92	3	mar-mai	1,20 ^B a	0,31 ^A b	0,07 ^A b		0,22 ^C a	0,28 ^{AB} a	0,16 ^{BC} a	0,98 ^{CD} a	0,91 ^B a	0,51 ^B b
	91/92	4	jun-ago	0,86 ^{CD} a	0,36 ^A b	0,09 ^A b		0,41 ^{BC} ab	0,49 ^A a	0,24 ^B b	1,43 ^{BC} a	1,35 ^A a	0,74 ^A b
2	92/93	5	set-nov	0,93 ^C a	0,28 ^A b	0,07 ^A b		0,34 ^{BC} a	0,37 ^{AB} a	0,14 ^{BC} a	1,58 ^B a	1,39 ^A a	0,85 ^A b
	92/93	6	dez-fev	0,92 ^C a	0,37 ^A b	0,13 ^A b		0,36 ^{BC} a	0,42 ^A a	0,32 ^{AB} a	1,27 ^C a	1,10 ^{AB} ab	0,85 ^A b
	92/93	7	mar-mai	0,62 ^D a	0,45 ^A b	0,11 ^A b		0,49 ^{AB} a	0,48 ^A a	0,26 ^{AB} a	1,43 ^{BC} a	1,28 ^A a	0,82 ^A b
	92/93	8	jun-ago	1,03 ^{BC} a	0,28 ^A b	0,10 ^A b		0,40 ^{BC} a	0,27 ^{AB} a	0,16 ^{BC} a	1,26 ^C a	1,00 ^{AB} ab	0,67 ^{AB} b
3	93/94	9	set-nov	0,98 ^{BC} a	0,23 ^A b	0,06 ^A b		0,30 ^{BC} a	0,21 ^{BC} a	0,10 ^{BC} a	1,37 ^{BC} b	0,86 ^B a	0,69 ^{AB} a
	93/94	10	dez-fev	1,30 ^{AB} a	0,30 ^A b	0,05 ^A b		0,48 ^{AB} a	0,25 ^{AB} ab	0,11 ^{BC} b	1,50 ^{BC} a	0,78 ^B b	0,73 ^{AB} b
	93/94	11	mar-mai	0,89 ^C a	0,23 ^A b	0,06 ^A b		0,51 ^{AB} a	0,21 ^{BC} b	0,11 ^{BC} b	1,07 ^{CD} a	0,88 ^B a	0,48 ^B b
	93/94	12	jun-ago	0,94 ^C a	0,15 ^A b	0,04 ^A b		0,27 ^{BC} a	0,08 ^C b	0,05 ^D b	0,84 ^D a	1,07 ^{AB} a	0,47 ^B b
4	94/95	13	set-nov	1,53 ^A a	0,30 ^A b	0,14 ^A b		0,42 ^B a	0,14 ^{BC} b	0,05 ^D b	1,15 ^{CD} a	1,08 ^{AB} a	0,69 ^{AB} a
	94/95	14	dez-fev	1,10 ^{BC} a	0,13 ^A b	0,13 ^A b		0,40 ^{BC} a	0,18 ^{BC} b	0,04 ^D b	0,97 ^D a	0,83 ^B a	0,68 ^{AB} a
	94/95	15	mar-mai	0,87 ^{CD} a	0,33 ^A b	0,10 ^A b		0,40 ^{BC} a	0,23 ^B a	0,11 ^{BC} a	1,15 ^{CD} a	0,76 ^B a	0,68 ^{AB} a
	94/95	16	jun-ago	0,83 ^{CD} a	0,30 ^A b	0,12 ^A b		0,60 ^A a	0,13 ^{BC} b	0,14 ^{BC} b	2,20 ^A a	0,98 ^{AB} b	0,85 ^A b

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 8. Concentração trimestral média* de sódio (Na mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL= menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

1991 a 1995, nas três florestas de Cabauco: Pilos (PIL = menos poluída), Moj (MOJ = fortemente poluída) e Parapiçaba (PAR = moderadamente poluída).													
Ano	Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR			
					Clareira**			Solo 10cm					
1	91/92	1	set-nov	1,36 ^{B b}	2,02 ^{B a}	1,27 ^{A b}	3,14 ^{A a}	4,23 ^{B a}	2,86 ^{A a}	3,97 ^{AB ab}	5,90 ^{BC a}	2,07 ^{A b}	
	91/92	2	dez-fev	0,47 ^{C a}	0,14 ^{D a}	0,05 ^{B a}	1,69 ^{BC a}	1,61 ^{CD a}	0,75 ^{B a}	2,50 ^{B a}	3,21 ^{CD a}	0,60 ^{B b}	
	91/92	3	mar-mai	0,44 ^{C b}	1,33 ^{C a}	0,30 ^{B b}	2,03 ^{BC ab}	2,72 ^{C a}	1,16 ^{B b}	3,16 ^{AB a}	5,47 ^{BC a}	1,13 ^{B b}	
	91/92	4	jun-ago	1,07 ^{B b}	2,53 ^{B a}	0,71 ^{AB b}	3,08 ^{A b}	4,69 ^{A a}	2,16 ^{B c}	3,60 ^{AB b}	7,30 ^{AB a}	2,30 ^{A b}	
2	92/93	5	set-nov	1,13 ^{B a}	1,27 ^{C a}	0,43 ^{B b}	2,13 ^{BC b}	2,93 ^{B a}	1,23 ^{B b}	3,28 ^{AB b}	7,66 ^{AB a}	1,23 ^{B c}	
	92/93	6	dez-fev	1,63 ^{AB a}	1,53 ^{C a}	1,27 ^{A a}	3,22 ^{A a}	3,08 ^{B a}	2,03 ^{B b}	3,30 ^{AB a}	5,10 ^{BC a}	0,76 ^{B b}	
	92/93	7	mar-mai	1,17 ^{B a}	1,07 ^{C a}	0,83 ^{AB a}	2,85 ^{AB a}	2,58 ^{CD a}	1,81 ^{B a}	2,84 ^{B b}	4,28 ^{C a}	1,08 ^{B c}	
	92/93	8	jun-ago	1,27 ^{B a}	1,57 ^{BC a}	0,81 ^{AB a}	2,68 ^{B b}	3,30 ^{B a}	1,97 ^{B b}	3,09 ^{AB ab}	5,79 ^{BC a}	1,43 ^{AB b}	
3	93/94	9	set-nov	2,36 ^{A a}	2,56 ^{B a}	1,24 ^{A b}	4,47 ^{A a}	4,79 ^{A a}	2,63 ^{B b}	3,57 ^{AB b}	6,37 ^{B a}	1,66 ^{AB b}	
	93/94	10	dez-fev	2,27 ^{A a}	1,47 ^{C b}	1,17 ^{A b}	3,85 ^{A a}	3,95 ^{B a}	2,98 ^{A a}	4,43 ^{A b}	6,40 ^{B a}	1,79 ^{A c}	
	93/94	11	mar-mai	0,80 ^{BC a}	1,43 ^{C a}	0,77 ^{AB a}	2,03 ^{BC b}	3,05 ^{B a}	2,00 ^{B b}	2,60 ^{B a}	4,16 ^{CD a}	1,19 ^{B b}	
	93/94	12	jun-ago	1,85 ^{A b}	3,55 ^{A a}	1,45 ^{A c}	3,67 ^{A b}	5,74 ^{A a}	3,32 ^{A b}	4,23 ^{AB b}	7,53 ^{AB a}	1,84 ^{A b}	
4	94/95	13	set-nov	1,75 ^{A a}	1,88 ^{B a}	1,05 ^{A b}	3,18 ^{A a}	4,18 ^{B a}	2,40 ^{B b}	3,58 ^{AB b}	7,91 ^{A a}	2,20 ^{A b}	
	94/95	14	dez-fev	0,02 ^{C a}	0,02 ^{D a}	0,02 ^{B a}	0,21 ^{C a}	1,13 ^{D a}	0,35 ^{B a}	0,45 ^{C b}	2,70 ^{D a}	0,24 ^{B b}	
	94/95	15	mar-mai	1,29 ^{B a}	0,02 ^{D b}	0,70 ^{AB ab}	1,83 ^{BC a}	0,81 ^{D a}	1,65 ^{B a}	2,02 ^{B a}	4,16 ^{CD a}	1,21 ^{B b}	
	94/95	16	jun-ago	1,10 ^{B b}	2,00 ^{B a}	0,60 ^{AB b}	2,27 ^{BC a}	2,83 ^{BC a}	1,67 ^{B a}	2,30 ^{B b}	7,47 ^{AB a}	1,80 ^{A b}	
					Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes		
1	91/92	1	set-nov	3,29 ^{A a}	3,37 ^{AB a}	1,21 ^{A b}	2,62 ^{A a}	2,11 ^{BC ab}	1,51 ^{A b}	3,82 ^{BC a}	4,73 ^{BC a}	1,92 ^{BC b}	
	91/92	2	dez-fev	1,80 ^{B a}	2,29 ^{BC a}	0,41 ^{B b}	1,68 ^{BC a}	1,46 ^{CD a}	0,90 ^{A a}	2,58 ^{C a}	2,66 ^{D a}	0,82 ^{CD b}	
	91/92	3	mar-mai	2,22 ^{AB a}	2,11 ^{C a}	0,70 ^{B b}	2,28 ^{AB a}	1,91 ^{C a}	0,80 ^{A b}	3,88 ^{B a}	4,21 ^{BC a}	1,42 ^{C b}	
	91/92	4	jun-ago	2,11 ^{B a}	2,39 ^{BC a}	1,41 ^{A a}	2,46 ^{AB a}	1,88 ^{C a}	1,03 ^{A b}	4,00 ^{B b}	5,32 ^{AB a}	1,78 ^{BC c}	
2	92/93	5	set-nov	3,07 ^{AB b}	4,18 ^{A a}	0,95 ^{B c}	3,06 ^{A a}	3,44 ^{A a}	0,75 ^{A b}	4,77 ^{AB a}	5,23 ^{AB a}	2,25 ^{B b}	
	92/93	6	dez-fev	2,61 ^{AB a}	2,38 ^{BC a}	0,62 ^{B b}	2,66 ^{A a}	2,23 ^{BC a}	0,69 ^{AB b}	5,12 ^{A a}	5,87 ^{A a}	3,07 ^{A b}	
	92/93	7	mar-mai	1,93 ^{B a}	1,76 ^{C a}	0,71 ^{B b}	2,58 ^{AB b}	1,55 ^{CD a}	0,84 ^{A a}	4,90 ^{A a}	5,30 ^{AB a}	2,54 ^{A b}	
	92/93	8	jun-ago	2,36 ^{AB a}	2,49 ^{BC a}	1,04 ^{B b}	2,09 ^{AB a}	1,97 ^{C a}	0,94 ^{A b}	3,92 ^{B a}	4,73 ^{BC a}	1,84 ^{BC b}	
3	93/94	9	set-nov	3,16 ^{A a}	4,16 ^{AB a}	1,17 ^{AB b}	2,37 ^{AB a}	2,97 ^{AB a}	0,98 ^{A b}	4,77 ^{AB a}	5,14 ^{AB a}	2,11 ^{BC b}	
	93/94	10	dez-fev	3,71 ^{A a}	3,33 ^{AB a}	1,28 ^{A b}	2,90 ^{A a}	2,50 ^{BC a}	0,96 ^{A b}	4,70 ^{AB a}	5,60 ^{AB a}	2,29 ^{A b}	
	93/94	11	mar-mai	2,00 ^{B a}	1,19 ^{C a}	0,82 ^{B b}	2,31 ^{AB a}	1,10 ^{D b}	0,59 ^{AB b}	4,04 ^{B b}	5,41 ^{AB a}	1,84 ^{BC c}	
	93/94	12	jun-ago	2,28 ^{AB a}	1,20 ^{C a}	1,09 ^{B b}	1,52 ^{BC a}	1,47 ^{CD a}	0,97 ^{A a}	3,77 ^{BC b}	4,93 ^{B a}	1,79 ^{BC c}	
4	94/95	13	set-nov	3,15 ^{A a}	3,08 ^{B a}	1,70 ^{A b}	1,91 ^{B b}	2,65 ^{B a}	1,40 ^{A b}	4,30 ^{AB a}	5,31 ^{AB a}	2,07 ^{BC b}	
	94/95	14	dez-fev	0,51 ^{C b}	1,31 ^{C a}	0,18 ^{B b}	0,37 ^{D b}	1,38 ^{CD a}	0,09 ^{B b}	1,23 ^{D b}	2,50 ^{D a}	0,09 ^{D c}	
	94/95	15	mar-mai	1,39 ^{B a}	1,60 ^{C a}	1,19 ^{AB a}	1,20 ^{C a}	1,11 ^{D a}	0,77 ^{A a}	2,97 ^{C a}	3,56 ^{CD a}	1,34 ^{C b}	
	94/95	16	jun-ago	1,87 ^{B b}	3,27 ^{AB a}	1,93 ^{A b}	1,63 ^{BC a}	1,77 ^{CD a}	1,68 ^{A a}	3,80 ^{BC b}	4,93 ^{B a}	2,15 ^{BC c}	

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 9. Concentração trimestral média* de magnésio (Mg mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre		PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm			Solo 60cm		
1	91/92	1 set-nov	0,05 ^{A b}	0,71 ^{B a}	0,18 ^{BC b}	0,74 ^{B b}	2,01 ^{C a}	0,95 ^{B b}	1,86 ^{C a}	2,90 ^{C a}	0,32 ^{A b}
	91/92	2 dez-fev	0,06 ^{A a}	0,33 ^{C a}	0,01 ^{C a}	0,69 ^{B a}	1,31 ^{C a}	0,46 ^{B a}	1,82 ^{C a}	2,70 ^{C a}	0,15 ^{A b}
	91/92	3 mar-mai	0,09 ^{A a}	0,45 ^{C a}	0,19 ^{BC a}	0,67 ^{B b}	1,40 ^{C a}	0,62 ^{B b}	2,88 ^{BC a}	3,44 ^{C a}	0,23 ^{A b}
	91/92	4 jun-ago	0,10 ^{A b}	0,96 ^{B a}	0,22 ^{BC b}	1,50 ^{A b}	2,76 ^{B a}	1,11 ^{AB b}	3,47 ^{BC b}	5,50 ^{B a}	0,35 ^{A c}
2	92/93	5 set-nov	0,19 ^{A b}	0,74 ^{B a}	0,08 ^{BC b}	0,47 ^{B b}	1,71 ^{C a}	0,51 ^{B b}	1,69 ^{C b}	4,39 ^{BC a}	0,23 ^{A c}
	92/93	6 dez-fev	0,07 ^{A a}	0,51 ^{C a}	0,09 ^{BC a}	0,89 ^{B b}	1,68 ^{C a}	0,64 ^{B b}	1,82 ^{C a}	3,21 ^{C a}	0,14 ^{A b}
	92/93	7 mar-mai	0,02 ^{A a}	0,36 ^{C a}	0,01 ^{C a}	0,82 ^{B b}	1,80 ^{C a}	0,66 ^{B b}	2,36 ^{C b}	3,74 ^{C a}	0,10 ^{A c}
	92/93	8 jun-ago	0,14 ^{A b}	0,69 ^{B a}	0,21 ^{BC b}	0,89 ^{B b}	2,17 ^{B a}	0,89 ^{B b}	1,85 ^{C b}	4,42 ^{BC a}	0,23 ^{A c}
3	93/94	9 set-nov	0,31 ^{A b}	0,41 ^{C b}	0,94 ^{A b}	1,03 ^{B b}	2,12 ^{BC a}	1,21 ^{AB ab}	3,20 ^{BC a}	4,95 ^{BC a}	0,18 ^{A b}
	93/94	10 dez-fev	0,20 ^{A a}	0,40 ^{C a}	0,16 ^{BC a}	1,22 ^{AB b}	2,50 ^{B a}	1,26 ^{AB b}	3,88 ^{B b}	5,95 ^{AB a}	0,08 ^{A c}
	93/94	11 mar-mai	0,09 ^{A b}	0,67 ^{B a}	0,22 ^{BC b}	0,50 ^{B b}	2,15 ^{B a}	1,03 ^{B b}	2,38 ^{C a}	3,50 ^{C a}	0,15 ^{A b}
	93/94	12 jun-ago	0,38 ^{A b}	1,77 ^{A a}	0,43 ^{B b}	1,33 ^{A b}	4,18 ^{A a}	1,64 ^{A b}	3,34 ^{BC b}	5,22 ^{B a}	0,32 ^{A c}
4	94/95	13 set-nov	0,25 ^{A b}	1,02 ^{B a}	0,21 ^{BC b}	0,91 ^{B b}	2,95 ^{B a}	0,95 ^{B b}	2,22 ^{C b}	5,27 ^{B a}	0,34 ^{A c}
	94/95	14 dez-fev	0,06 ^{A a}	0,36 ^{C a}	0,12 ^{BC a}	0,53 ^{B a}	1,24 ^{C a}	0,88 ^{B a}	1,63 ^{C b}	3,68 ^{C a}	0,24 ^{A c}
	94/95	15 mar-mai	0,09 ^{A a}	0,51 ^{C a}	0,09 ^{BC a}	0,89 ^{B b}	1,64 ^{C a}	0,71 ^{B b}	5,92 ^{A a}	4,20 ^{BC a}	0,32 ^{A b}
	94/95	16 jun-ago	0,01 ^{A b}	0,75 ^{B a}	0,10 ^{BC b}	0,96 ^{B b}	2,12 ^{BC a}	0,43 ^{B b}	2,71 ^{BC b}	7,06 ^{A a}	0,20 ^{A c}
Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes					
1	91/92	1 set-nov	1,46 ^{BC a}	1,68 ^{C a}	0,03 ^{A b}	1,04 ^{B a}	1,17 ^{D a}	0,09 ^{A b}	1,48 ^{C b}	3,72 ^{BC a}	0,83 ^{B b}
	91/92	2 dez-fev	1,19 ^{C a}	1,16 ^{D a}	0,03 ^{A b}	0,96 ^{B a}	0,98 ^{D a}	0,09 ^{A b}	1,22 ^{C b}	2,44 ^{D a}	0,60 ^{B c}
	91/92	3 mar-mai	1,54 ^{BC a}	1,55 ^{CD a}	0,15 ^{A b}	1,36 ^{B a}	1,48 ^{CD a}	0,09 ^{A b}	1,82 ^{BC b}	3,41 ^{C a}	1,04 ^{A b}
	91/92	4 jun-ago	1,42 ^{BC a}	1,71 ^{C a}	0,09 ^{A b}	1,66 ^{AB a}	1,58 ^{CD a}	0,11 ^{A b}	2,00 ^{B b}	3,66 ^{BC a}	1,26 ^{A c}
2	92/93	5 set-nov	1,28 ^{BC a}	2,08 ^{BC a}	0,13 ^{A b}	1,44 ^{AB b}	2,34 ^{AB a}	0,13 ^{A c}	1,89 ^{B b}	3,65 ^{BC a}	1,15 ^{A c}
	92/93	6 dez-fev	1,14 ^{C b}	2,07 ^{BC a}	0,11 ^{A c}	1,21 ^{B b}	1,85 ^{BC a}	0,12 ^{A c}	1,92 ^{B b}	3,98 ^{AB a}	1,26 ^{A c}
	92/93	7 mar-mai	1,10 ^{C b}	1,96 ^{BC a}	0,03 ^{A c}	1,46 ^{AB a}	1,75 ^{C a}	0,02 ^{A b}	2,18 ^{B b}	4,33 ^{A a}	1,40 ^{A c}
	92/93	8 jun-ago	1,59 ^{BC a}	2,01 ^{BC a}	0,07 ^{A b}	1,41 ^{AB a}	1,74 ^{CD a}	0,06 ^{A b}	2,01 ^{B b}	3,72 ^{BC a}	1,16 ^{A c}
3	93/94	9 set-nov	2,05 ^{AB b}	2,81 ^{A a}	0,12 ^{A c}	1,30 ^{B b}	2,61 ^{A a}	0,05 ^{A c}	2,07 ^{B b}	3,77 ^{BC a}	1,11 ^{A c}
	93/94	10 dez-fev	2,28 ^{A a}	2,63 ^{AB a}	0,01 ^{A b}	1,76 ^{A b}	2,40 ^{AB a}	0,01 ^{A c}	2,47 ^{AB b}	4,15 ^{AB a}	1,29 ^{A c}
	93/94	11 mar-mai	1,62 ^{BC b}	2,32 ^{AB a}	0,04 ^{A c}	1,44 ^{AB a}	1,76 ^{C a}	0,03 ^{A b}	2,15 ^{B b}	3,90 ^{AB a}	1,29 ^{A c}
	93/94	12 jun-ago	1,97 ^{AB a}	2,03 ^{BC a}	0,07 ^{A b}	1,49 ^{AB a}	1,53 ^{CD a}	0,05 ^{A b}	2,21 ^{B b}	4,00 ^{AB a}	1,31 ^{A c}
4	94/95	13 set-nov	1,73 ^{B a}	1,63 ^{CD a}	0,10 ^{A b}	1,62 ^{AB a}	1,67 ^{CD a}	0,06 ^{A b}	2,14 ^{B b}	3,87 ^{B a}	1,27 ^{A c}
	94/95	14 dez-fev	1,50 ^{BC b}	2,18 ^{B a}	0,10 ^{A c}	1,61 ^{AB b}	2,20 ^{B a}	0,08 ^{A c}	1,89 ^{B b}	3,37 ^{C a}	1,20 ^{A c}
	94/95	15 mar-mai	1,50 ^{BC a}	1,90 ^{BC a}	0,05 ^{A b}	1,39 ^{AB a}	1,40 ^{CD a}	0,03 ^{A b}	2,01 ^{B b}	3,48 ^{BC a}	1,16 ^{A c}
	94/95	16 jun-ago	1,84 ^{AB a}	2,57 ^{AB a}	0,01 ^{A b}	1,37 ^{AB a}	1,55 ^{CD a}	0,01 ^{A b}	2,68 ^{A b}	3,90 ^{B a}	1,16 ^{A c}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 10. Concentração trimestral média* de cálcio (Ca mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano		Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
			Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm		
1	91/92	1 set-nov	1,02 ^{A b}	3,22 ^{B a}	2,82 ^{A a}	3,13 ^{A c}	15,88 ^{A a}	8,62 ^{A b}	4,23 ^{AB b}	18,03 ^{B a}	2,40 ^{A b}
	91/92	2 dez-fev	0,48 ^{A b}	3,04 ^{B a}	0,79 ^{BC b}	2,16 ^{A b}	9,90 ^{B a}	3,26 ^{B b}	4,66 ^{AB b}	22,73 ^{A a}	1,81 ^{A c}
	91/92	3 mar-mai	0,41 ^{A b}	2,82 ^{B a}	1,05 ^{BC b}	1,95 ^{A b}	8,37 ^{B a}	2,79 ^{B b}	4,49 ^{AB b}	17,62 ^{BC a}	1,18 ^{A c}
	91/92	4 jun-ago	0,48 ^{A b}	4,70 ^{A a}	0,91 ^{BC b}	3,34 ^{A b}	8,71 ^{B a}	3,16 ^{B b}	4,28 ^{AB b}	12,49 ^{CD a}	0,99 ^{A c}
2	92/93	5 set-nov	0,20 ^{A b}	2,54 ^{B a}	0,33 ^{C b}	0,83 ^{A b}	4,91 ^{C a}	1,36 ^{B b}	2,10 ^{C b}	7,36 ^{DE a}	0,74 ^{A b}
	92/93	6 dez-fev	0,64 ^{A a}	2,40 ^{BC a}	0,96 ^{BC a}	1,87 ^{A b}	5,24 ^{C a}	2,46 ^{B ab}	3,01 ^{BC b}	9,58 ^{DE a}	0,72 ^{A b}
	92/93	7 mar-mai	0,79 ^{A b}	2,99 ^{B a}	0,99 ^{BC b}	2,69 ^{A b}	7,91 ^{B a}	3,15 ^{B b}	6,18 ^{A b}	21,16 ^{AB a}	1,79 ^{A c}
	92/93	8 jun-ago	0,58 ^{A b}	3,09 ^{B a}	1,27 ^{BC b}	1,99 ^{A b}	7,71 ^{B a}	3,03 ^{B b}	3,06 ^{BC b}	12,35 ^{CD a}	0,95 ^{A b}
3	93/94	9 set-nov	0,84 ^{A b}	2,48 ^{B a}	2,57 ^{A a}	1,75 ^{A b}	7,93 ^{B a}	2,91 ^{B b}	2,29 ^{C b}	14,01 ^{C a}	0,74 ^{A b}
	93/94	10 dez-fev	0,84 ^{A b}	3,51 ^{AB a}	1,60 ^{B b}	1,66 ^{A b}	8,75 ^{B a}	3,74 ^{B b}	2,57 ^{BC b}	10,19 ^{D a}	0,35 ^{A b}
	93/94	11 mar-mai	0,34 ^{A b}	2,69 ^{B a}	1,02 ^{BC b}	1,24 ^{A b}	5,83 ^{C a}	2,56 ^{B ab}	2,56 ^{BC ab}	5,63 ^{E a}	0,31 ^{A b}
	93/94	12 jun-ago	0,73 ^{A b}	4,43 ^{A a}	1,68 ^{B b}	2,40 ^{A b}	9,76 ^{B a}	3,38 ^{B b}	2,77 ^{BC b}	6,67 ^{E a}	0,44 ^{A b}
4	94/95	13 set-nov	0,54 ^{A b}	3,36 ^{B a}	0,99 ^{BC b}	1,60 ^{A b}	8,15 ^{B a}	2,23 ^{B b}	1,66 ^{C b}	7,69 ^{DE a}	0,58 ^{A b}
	94/95	14 dez-fev	0,58 ^{A a}	1,95 ^{C a}	1,00 ^{BC a}	1,29 ^{A a}	3,83 ^{C a}	2,69 ^{B ab}	2,43 ^{BC b}	18,87 ^{B a}	1,30 ^{A b}
	94/95	15 mar-mai	0,61 ^{A a}	1,75 ^{C a}	0,66 ^{BC a}	1,39 ^{A a}	2,74 ^{C a}	1,51 ^{B ab}	2,02 ^{C b}	5,75 ^{E a}	0,61 ^{A b}
	94/95	16 jun-ago	0,18 ^{A c}	3,98 ^{A a}	1,65 ^{B b}	2,58 ^{A b}	6,92 ^{B a}	1,86 ^{B b}	1,23 ^{C b}	10,97 ^{CD a}	0,64 ^{A b}
			Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes		
1	91/92	1 set-nov	2,72 ^{A b}	9,79 ^{B a}	1,02 ^{A c}	1,48 ^{A b}	11,05 ^{B a}	1,32 ^{A b}	3,24 ^{AB a}	3,37 ^{CD a}	1,77 ^{A b}
	91/92	2 dez-fev	3,54 ^{A b}	13,27 ^{A a}	0,34 ^{A c}	1,75 ^{A b}	11,38 ^{B a}	0,76 ^{A b}	2,92 ^{BC b}	4,74 ^{B a}	1,45 ^{AB b}
	91/92	3 mar-mai	2,64 ^{A b}	7,42 ^{C a}	0,93 ^{A c}	1,48 ^{A b}	8,57 ^{BC a}	1,34 ^{A b}	2,15 ^{C b}	3,46 ^{CD a}	1,49 ^{A b}
	91/92	4 jun-ago	1,40 ^{AB b}	6,71 ^{C a}	0,21 ^{A b}	0,92 ^{A a}	5,13 ^{CD a}	0,40 ^{A a}	1,55 ^{C b}	2,99 ^{CD a}	0,97 ^{B c}
2	92/93	5 set-nov	1,39 ^{AB ab}	5,35 ^{CD a}	0,37 ^{A b}	1,02 ^{A b}	6,96 ^{C a}	0,43 ^{A b}	1,91 ^{C b}	3,22 ^{CD a}	1,10 ^{B c}
	92/93	6 dez-fev	1,35 ^{AB b}	6,18 ^{C a}	0,61 ^{A b}	1,01 ^{A b}	8,91 ^{BC a}	0,53 ^{A b}	2,40 ^{BC b}	3,66 ^{C a}	1,76 ^{A b}
	92/93	7 mar-mai	2,12 ^{AB b}	14,44 ^{A a}	1,20 ^{A b}	2,36 ^{A b}	15,01 ^{A a}	1,32 ^{A b}	3,64 ^{A b}	5,67 ^{A a}	2,21 ^{A c}
	92/93	8 jun-ago	1,44 ^{AB ab}	5,19 ^{CD a}	0,45 ^{A b}	0,98 ^{A b}	6,33 ^{C a}	0,50 ^{A b}	2,11 ^{C b}	3,37 ^{CD a}	1,35 ^{B c}
3	93/94	9 set-nov	1,32 ^{AB ab}	5,39 ^{CD a}	0,65 ^{A b}	0,61 ^{A b}	5,90 ^{C a}	0,41 ^{A b}	2,50 ^{BC b}	3,51 ^{CD a}	2,09 ^{A b}
	93/94	10 dez-fev	0,62 ^{B a}	2,15 ^{DE a}	0,13 ^{A a}	0,54 ^{A ab}	2,99 ^{D a}	0,08 ^{A b}	2,22 ^{BC a}	2,92 ^{D a}	1,39 ^{AB a}
	93/94	11 mar-mai	0,44 ^{B a}	1,36 ^{DE a}	0,14 ^{A a}	0,43 ^{A a}	2,00 ^{D a}	0,08 ^{A a}	1,22 ^{D b}	2,66 ^{D a}	0,94 ^{B b}
	93/94	12 jun-ago	0,84 ^{B a}	1,32 ^{E a}	0,14 ^{A a}	0,56 ^{A a}	1,45 ^{D a}	0,08 ^{A a}	1,58 ^{C b}	3,12 ^{CD a}	1,19 ^{B c}
4	94/95	13 set-nov	0,91 ^{B a}	1,49 ^a	0,19 ^{A a}	0,67 ^{A a}	1,76 ^{D a}	0,10 ^{A a}	1,46 ^{C b}	2,93 ^{D a}	1,04 ^{B c}
	94/95	14 dez-fev	1,67 ^{AB ab}	3,20 ^{D a}	0,78 ^{A b}	1,41 ^{A b}	14,59 ^{A a}	0,79 ^{A b}	1,86 ^{C b}	3,23 ^{CD a}	1,54 ^{A b}
	94/95	15 mar-mai	0,55 ^{B a}	0,78 ^{E a}	0,11 ^{A a}	0,36 ^{A a}	0,80 ^{D a}	0,04 ^{A a}	1,56 ^{C a}	2,51 ^{D a}	0,70 ^{B b}
	94/95	16 jun-ago	0,46 ^{B a}	1,61 ^{DE a}	0,08 ^{A a}	0,31 ^{A a}	1,63 ^{D a}	0,08 ^{A a}	1,94 ^{C a}	2,86 ^{D a}	0,75 ^{B b}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 11. Concentração trimestral média* de alumínio (Al mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre		PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm					
1	91/92	1 set-nov	0,07 ^B ^b	0,09 ^{AB} ^{ab}	0,14 ^A ^a	0,06 ^B ^b	0,34 ^B ^a	0,15 ^{BC} ^{ab}	0,69 ^A ^b	5,73 ^{CD} ^a	1,17 ^A ^b
	91/92	2 dez-fev	0,20 ^A ^a	0,12 ^{AB} ^a	0,16 ^A ^a	0,12 ^B ^b	0,28 ^C ^a	0,09 ^C ^b	0,86 ^A ^b	6,20 ^{CD} ^a	0,98 ^A ^b
	91/92	3 mar-mai	0,14 ^A ^a	0,09 ^{AB} ^a	0,12 ^A ^a	0,08 ^B ^b	0,21 ^C ^a	0,10 ^C ^b	0,63 ^A ^b	6,31 ^{CD} ^a	0,88 ^A ^b
	91/92	4 jun-ago	0,06 ^B ^b	0,11 ^{AB} ^a	0,12 ^{AB} ^a	0,06 ^B ^b	0,44 ^B ^a	0,12 ^C ^b	1,24 ^A ^b	10,33 ^A ^a	1,19 ^A ^b
2	92/93	5 set-nov	0,13 ^A ^a	0,02 ^B ^b	0,02 ^B ^b	0,02 ^B ^a	0,02 ^D ^a	0,03 ^C ^a	0,42 ^A ^b	2,60 ^E ^a	0,28 ^A ^b
	92/93	6 dez-fev	0,03 ^B ^a	0,05 ^B ^a	0,02 ^B ^a	0,03 ^B ^b	0,40 ^B ^a	0,09 ^C ^b	1,03 ^A ^b	4,27 ^D ^a	0,95 ^A ^b
	92/93	7 mar-mai	0,03 ^B ^b	0,10 ^{AB} ^{ab}	0,19 ^A ^a	0,05 ^B ^b	0,25 ^C ^a	0,08 ^C ^b	0,61 ^A ^b	3,98 ^{DE} ^a	0,97 ^A ^b
	92/93	8 jun-ago	0,07 ^B ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,08 ^B ^a	0,07 ^B ^b	0,38 ^B ^a	0,13 ^C ^b	1,11 ^A ^b	6,46 ^{CD} ^a	0,93 ^A ^b
3	93/94	9 set-nov	0,11 ^{AB} ^a	0,13 ^A ^a	0,09 ^{AB} ^a	0,06 ^B ^c	0,56 ^A ^a	0,31 ^{AB} ^b	1,06 ^A ^b	7,54 ^{BC} ^a	1,04 ^A ^b
	93/94	10 dez-fev	0,12 ^A ^a	0,12 ^A ^a	0,06 ^B ^b	0,03 ^B ^c	0,37 ^B ^a	0,17 ^B ^b	1,21 ^A ^b	7,70 ^{BC} ^a	1,02 ^A ^b
	93/94	11 mar-mai	0,04 ^B ^a	0,07 ^B ^a	0,05 ^B ^a	0,04 ^B ^b	0,32 ^B ^a	0,14 ^{BC} ^b	0,65 ^A ^b	5,43 ^{CD} ^a	0,90 ^A ^b
	93/94	12 jun-ago	0,02 ^B ^a	0,09 ^B ^a	0,04 ^B ^a	0,03 ^B ^b	0,62 ^A ^a	0,13 ^C ^b	0,93 ^A ^b	8,23 ^B ^a	1,06 ^A ^b
4	94/95	13 set-nov	0,04 ^B ^a	0,06 ^B ^a	0,07 ^B ^a	0,04 ^B ^b	0,56 ^A ^a	0,07 ^C ^b	0,71 ^A ^b	7,46 ^{BC} ^a	1,09 ^A ^b
	94/95	14 dez-fev	0,05 ^B ^a	0,06 ^B ^a	0,04 ^B ^a	0,04 ^B ^b	0,21 ^C ^a	0,07 ^C ^b	0,71 ^A ^b	5,24 ^D ^a	1,00 ^A ^b
	94/95	15 mar-mai	0,04 ^B ^b	0,04 ^B ^b	0,15 ^A ^a	0,16 ^A ^c	0,60 ^A ^a	0,44 ^A ^b	1,47 ^A ^b	6,71 ^C ^a	1,00 ^A ^b
	94/95	16 jun-ago	0,05 ^B ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,05 ^B ^a	0,04 ^B ^b	0,21 ^C ^a	0,05 ^C ^b	0,96 ^A ^b	9,04 ^{AB} ^a	0,86 ^A ^b
Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes					
1	91/92	1 set-nov	0,72 ^A ^b	12,25 ^E ^a	1,91 ^A ^b	0,35 ^A ^b	8,88 ^E ^a	1,64 ^A ^b	0,05 ^A ^a	0,06 ^A ^a	0,27 ^{BC} ^a
	91/92	2 dez-fev	0,81 ^A ^b	8,96 ^F ^a	1,74 ^A ^b	0,43 ^A ^b	7,53 ^E ^a	1,50 ^A ^b	0,09 ^A ^b	0,10 ^A ^b	0,32 ^B ^a
	91/92	3 mar-mai	0,42 ^A ^b	12,07 ^E ^a	1,72 ^A ^b	0,43 ^A ^b	8,80 ^E ^a	1,56 ^A ^b	0,07 ^A ^a	0,07 ^A ^a	0,28 ^{BC} ^a
	91/92	4 jun-ago	0,52 ^A ^b	11,63 ^E ^a	1,63 ^A ^b	0,35 ^A ^b	9,53 ^{DE} ^a	1,91 ^A ^b	0,04 ^A ^a	0,05 ^A ^a	0,30 ^{BC} ^a
2	92/93	5 set-nov	0,14 ^A ^b	2,78 ^G ^a	0,96 ^A ^{ab}	0,07 ^A ^b	4,03 ^F ^a	1,23 ^A ^b	0,02 ^A ^a	0,07 ^A ^a	0,11 ^C ^a
	92/93	6 dez-fev	0,48 ^A ^b	8,72 ^F ^a	1,26 ^A ^b	0,26 ^A ^b	9,89 ^{DE} ^a	1,50 ^A ^b	0,02 ^A ^b	0,04 ^A ^{ab}	0,16 ^C ^a
	92/93	7 mar-mai	0,68 ^A ^b	9,74 ^{EF} ^a	1,45 ^A ^b	0,32 ^A ^b	9,15 ^{DE} ^a	1,49 ^A ^b	0,04 ^A ^a	0,07 ^A ^a	0,13 ^C ^a
	92/93	8 jun-ago	1,10 ^A ^b	14,42 ^D ^a	1,72 ^A ^b	0,40 ^A ^b	11,37 ^{CD} ^a	1,92 ^A ^b	0,03 ^A ^b	0,05 ^A ^{ab}	0,17 ^C ^a
3	93/94	9 set-nov	0,83 ^A ^b	18,31 ^C ^a	1,52 ^A ^b	0,38 ^A ^b	11,07 ^D ^a	1,67 ^A ^b	0,03 ^A ^a	0,05 ^A ^a	0,11 ^C ^a
	93/94	10 dez-fev	0,82 ^A ^b	20,83 ^B ^a	1,54 ^A ^b	0,42 ^A ^b	13,24 ^C ^a	1,45 ^A ^b	0,02 ^A ^a	0,06 ^A ^a	0,06 ^C ^a
	93/94	11 mar-mai	0,68 ^A ^b	22,12 ^B ^a	1,43 ^A ^b	0,38 ^A ^b	13,80 ^{BC} ^a	1,40 ^A ^b	0,02 ^A ^a	0,07 ^A ^a	0,08 ^C ^a
	93/94	12 jun-ago	0,95 ^A ^b	21,56 ^B ^a	1,40 ^A ^b	0,31 ^A ^b	15,98 ^{AB} ^a	1,72 ^A ^b	0,02 ^A ^a	0,05 ^A ^a	0,05 ^C ^a
4	94/95	13 set-nov	0,53 ^A ^b	25,07 ^A ^a	1,57 ^A ^b	0,35 ^A ^b	15,25 ^B ^a	1,94 ^A ^b	0,02 ^A ^b	0,05 ^A ^{ab}	0,27 ^{BC} ^a
	94/95	14 dez-fev	0,39 ^A ^b	26,47 ^A ^a	1,63 ^A ^b	0,44 ^A ^b	17,50 ^A ^a	1,93 ^A ^b	0,04 ^A ^a	0,05 ^A ^a	0,09 ^C ^a
	94/95	15 mar-mai	1,55 ^A ^b	25,50 ^A ^a	1,64 ^A ^b	1,21 ^A ^b	14,43 ^{BC} ^a	1,98 ^A ^b	0,04 ^A ^b	0,05 ^A ^b	1,47 ^A ^a
	94/95	16 jun-ago	1,01 ^A ^b	24,90 ^A ^a	1,63 ^A ^b	0,38 ^A ^b	15,77 ^{AB} ^a	1,74 ^A ^b	0,04 ^A ^a	0,05 ^A ^a	0,06 ^C ^a

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 12. Concentração trimestral média* de ferro (Fe mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**				Sobcopas			Solo 10cm			
1 91/92	1 set-nov	0,10 ^{B a}	0,10 ^{A a}	0,10 ^{A a}	0,10 ^{A a}	0,11 ^{A a}	0,10 ^{A a}	0,10 ^{A a}	0,16 ^{BC a}	0,18 ^{C a}
91/92	2 dez-fev	0,10 ^{B a}	0,10 ^{A a}	0,10 ^{A a}	0,12 ^{A a}	0,11 ^{A a}	0,10 ^{A a}	0,11 ^{A a}	0,19 ^{BC a}	0,17 ^{C a}
91/92	3 mar-mai	0,03 ^{C a}	0,08 ^{AB a}	0,03 ^{B a}	0,06 ^{B a}	0,06 ^{B a}	0,04 ^{B a}	0,05 ^{AB c}	0,19 ^{BC b}	0,29 ^{AB a}
91/92	4 jun-ago	0,07 ^{C a}	0,05 ^{BC a}	0,04 ^{B a}	0,07 ^{AB a}	0,07 ^{AB a}	0,02 ^{B a}	0,09 ^{A c}	0,18 ^{BC b}	0,24 ^{BC a}
2 92/93	5 set-nov	0,03 ^{C a}	0,04 ^{BC a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{B a}	0,04 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{B b}	0,13 ^{C a}	0,15 ^{C a}
92/93	6 dez-fev	0,02 ^{C a}	0,05 ^{BC a}	0,02 ^{B a}	0,12 ^{A a}	0,08 ^{A a}	0,03 ^{B b}	0,06 ^{AB b}	0,20 ^{BC a}	0,16 ^{C a}
92/93	7 mar-mai	0,03 ^{C a}	0,03 ^{BC a}	0,03 ^{B a}	0,02 ^{B b}	0,10 ^{A a}	0,03 ^{B b}	0,03 ^{B c}	0,10 ^{C b}	0,29 ^{AB a}
92/93	8 jun-ago	0,04 ^{C a}	0,05 ^{BC a}	0,04 ^{B a}	0,06 ^{B a}	0,06 ^{B a}	0,04 ^{B a}	0,06 ^{AB b}	0,17 ^{BC a}	0,23 ^{BC a}
3 93/94	9 set-nov	0,04 ^{C a}	0,04 ^{BC a}	0,04 ^{B a}	0,07 ^{AB ab}	0,08 ^{A a}	0,05 ^{B b}	0,04 ^{B c}	0,17 ^{BC b}	0,26 ^{B a}
93/94	10 dez-fev	0,03 ^{C a}	0,02 ^{BC a}	0,01 ^{B a}	0,05 ^{B b}	0,07 ^{A a}	0,05 ^{B b}	0,03 ^{B c}	0,18 ^{BC b}	0,29 ^{AB a}
93/94	11 mar-mai	0,02 ^{C a}	0,06 ^{B a}	0,03 ^{B a}	0,03 ^{B a}	0,06 ^{B a}	0,04 ^{B a}	0,03 ^{B c}	0,18 ^{BC b}	0,32 ^{A a}
93/94	12 jun-ago	0,02 ^{C b}	0,09 ^{A a}	0,04 ^{B b}	0,04 ^{B b}	0,07 ^{A a}	0,04 ^{B b}	0,04 ^{B c}	0,19 ^{BC b}	0,31 ^{A a}
4 94/95	13 set-nov	0,02 ^{C a}	0,01 ^{C a}	0,01 ^{B a}	0,05 ^{B a}	0,05 ^{B a}	0,04 ^{B a}	0,03 ^{B c}	0,20 ^{B b}	0,32 ^{A a}
94/95	14 dez-fev	0,03 ^{C a}	0,01 ^{C a}	0,01 ^{B a}	0,03 ^{B a}	0,07 ^{AB a}	0,06 ^{B a}	0,02 ^{B c}	0,19 ^{BC b}	0,33 ^{A a}
94/95	15 mar-mai	0,12 ^{B a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{A c}	0,18 ^{BC b}	0,34 ^{A a}
94/95	16 jun-ago	0,20 ^{A a}	0,12 ^{A b}	0,12 ^{A b}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{A b}	0,37 ^{A a}	0,12 ^{C b}
Solo 60cm				Solo 100cm			Nascentes			
1 91/92	1 set-nov	0,09 ^{A a}	0,10 ^{B a}	0,11 ^{BC a}	0,09 ^{A a}	0,10 ^{BC a}	0,10 ^{AB a}	0,09 ^{AB a}	0,05 ^{C a}	0,10 ^{BC a}
91/92	2 dez-fev	0,11 ^{A b}	0,10 ^{B b}	0,20 ^{A a}	0,09 ^{A a}	0,10 ^{BC a}	0,08 ^{AB a}	0,13 ^{A a}	0,09 ^{BC a}	0,10 ^{BC a}
91/92	3 mar-mai	0,02 ^{B b}	0,05 ^{C b}	0,12 ^{BC a}	0,01 ^{B b}	0,05 ^{C ab}	0,06 ^{B a}	0,03 ^{B a}	0,03 ^{C a}	0,03 ^{C a}
91/92	4 jun-ago	0,04 ^{B a}	0,08 ^{BC a}	0,07 ^{C a}	0,05 ^{AB a}	0,09 ^{BC a}	0,02 ^{BC a}	0,05 ^{B a}	0,03 ^{C a}	0,02 ^{C a}
2 92/93	5 set-nov	0,01 ^{B b}	0,02 ^{C ab}	0,09 ^{C a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{C a}	0,01 ^{C a}	0,01 ^{B b}	0,24 ^{A a}	0,03 ^{C b}
92/93	6 dez-fev	0,01 ^{B b}	0,03 ^{C ab}	0,08 ^{C a}	0,01 ^{B b}	0,03 ^{C b}	0,15 ^{A a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{C a}	0,01 ^{C a}
92/93	7 mar-mai	0,01 ^{B a}	0,06 ^{BC a}	0,08 ^{C a}	0,01 ^{B a}	0,05 ^{C a}	0,03 ^{BC a}	0,03 ^{B a}	0,02 ^{C a}	0,03 ^{C a}
92/93	8 jun-ago	0,03 ^{B a}	0,05 ^{BC a}	0,08 ^{C a}	0,03 ^{AB a}	0,05 ^{C a}	0,04 ^{BC a}	0,03 ^{B a}	0,04 ^{C a}	0,04 ^{C a}
3 93/94	9 set-nov	0,03 ^{B a}	0,07 ^{BC a}	0,09 ^{C a}	0,03 ^{AB a}	0,06 ^{C a}	0,05 ^{BC a}	0,03 ^{B a}	0,04 ^{C a}	0,04 ^{C a}
93/94	10 dez-fev	0,02 ^{B a}	0,05 ^{C a}	0,06 ^{C a}	0,01 ^{B a}	0,05 ^{C a}	0,04 ^{BC a}	0,01 ^{B a}	0,04 ^{C a}	0,03 ^{C a}
93/94	11 mar-mai	0,03 ^{B a}	0,05 ^{C a}	0,07 ^{C a}	0,01 ^{B a}	0,05 ^{C a}	0,04 ^{BC a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{C a}	0,03 ^{C a}
93/94	12 jun-ago	0,03 ^{B a}	0,06 ^{BC a}	0,08 ^{C a}	0,02 ^{B a}	0,04 ^{C a}	0,03 ^{BC a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{C a}	0,02 ^{C a}
4 94/95	13 set-nov	0,02 ^{B a}	0,07 ^{BC a}	0,08 ^{C a}	0,01 ^{B a}	0,04 ^{C a}	0,04 ^{BC a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{C a}	0,02 ^{C a}
94/95	14 dez-fev	0,02 ^{B b}	0,04 ^{C b}	0,09 ^{C a}	0,01 ^{B a}	0,03 ^{C a}	0,03 ^{BC a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{C a}	0,03 ^{C a}
94/95	15 mar-mai	0,12 ^{A a}	0,12 ^{B a}	0,13 ^{B a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{B a}	0,12 ^{A a}	0,12 ^{AB b}	0,12 ^{BC b}	0,26 ^{A a}
94/95	16 jun-ago	0,12 ^{A b}	0,17 ^{A a}	0,12 ^{BC b}	0,12 ^{A b}	0,17 ^{A a}	0,12 ^{A b}	0,12 ^{AB a}	0,12 ^{BC a}	0,14 ^{B a}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 13. Concentração trimestral média* de manganês (Mn mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**				Sobcopas			Solo 10cm			
1	91/92 1 set-nov	0,01 ^{B a}	0,03 ^{B a}	0,02 ^{B a}	0,03 ^{A b}	0,13 ^{A a}	0,09 ^{A a}	0,26 ^{CD ab}	0,37 ^{AB a}	0,06 ^{A b}
	91/92 2 dez-fev	0,01 ^{B a}	0,02 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{A b}	0,07 ^{B a}	0,04 ^{BC ab}	0,41 ^{BC a}	0,39 ^{AB a}	0,04 ^{A b}
	91/92 3 mar-mai	0,02 ^{B b}	0,23 ^{A a}	0,01 ^{B b}	0,01 ^{A b}	0,06 ^{B a}	0,04 ^{C b}	0,41 ^{BC a}	0,29 ^{C ab}	0,02 ^{A b}
	91/92 4 jun-ago	0,01 ^{B a}	0,04 ^{B a}	0,02 ^{B a}	0,02 ^{A b}	0,12 ^{A a}	0,09 ^{A a}	0,42 ^{BC a}	0,62 ^{A a}	0,04 ^{A b}
2	92/93 5 set-nov	0,01 ^{B a}	0,03 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{A b}	0,07 ^{B a}	0,04 ^{C b}	0,28 ^{CD ab}	0,38 ^{AB a}	0,03 ^{A b}
	92/93 6 dez-fev	0,01 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{A a}	0,05 ^{B a}	0,02 ^{C a}	0,29 ^{BC a}	0,26 ^{C a}	0,02 ^{A a}
	92/93 7 mar-mai	0,01 ^{B a}	0,02 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{A b}	0,06 ^{B a}	0,03 ^{C b}	0,39 ^{BC a}	0,29 ^{ABC ab}	0,03 ^{A b}
	92/93 8 jun-ago	0,02 ^{B a}	0,04 ^{B a}	0,02 ^{B a}	0,02 ^{A b}	0,08 ^{B a}	0,06 ^{B a}	1,16 ^{A a}	0,38 ^{AB b}	0,04 ^{A c}
3	93/94 9 set-nov	0,14 ^{A a}	0,02 ^{B b}	0,18 ^{A a}	0,04 ^{A b}	0,08 ^{B b}	0,09 ^{A a}	0,39 ^{BC a}	0,37 ^{AB a}	0,04 ^{A b}
	93/94 10 dez-fev	0,02 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{A b}	0,08 ^{B a}	0,06 ^{B a}	0,62 ^{B a}	0,41 ^{AB a}	0,04 ^{A b}
	93/94 11 mar-mai	0,01 ^{B a}	0,03 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{A b}	0,07 ^{B a}	0,07 ^{B a}	0,41 ^{BC a}	0,30 ^{ABC ab}	0,04 ^{A b}
	93/94 12 jun-ago	0,01 ^{B a}	0,07 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,04 ^{A b}	0,13 ^{A a}	0,11 ^{A a}	0,36 ^{BC a}	0,45 ^{AB a}	0,05 ^{A b}
4	94/95 13 set-nov	0,01 ^{B a}	0,02 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{A c}	0,10 ^{A a}	0,06 ^{B b}	0,29 ^{CD ab}	0,50 ^{AB a}	0,07 ^{A b}
	94/95 14 dez-fev	0,01 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{A a}	0,04 ^{B a}	0,05 ^{BC a}	0,18 ^{D a}	0,26 ^{C a}	0,03 ^{A a}
	94/95 15 mar-mai	0,01 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,02 ^{A b}	0,06 ^{B a}	0,06 ^{B a}	0,48 ^{BC a}	0,30 ^{ABC ab}	0,06 ^{A b}
	94/95 16 jun-ago	0,01 ^{B a}	0,05 ^{B a}	0,01 ^{B a}	0,03 ^{A b}	0,08 ^{B a}	0,03 ^{C b}	0,22 ^{CD ab}	0,39 ^{AB a}	0,05 ^{A b}
Solo 60cm				Solo 100cm			Nascentes			
1	91/92 1 set-nov	0,25 ^{AB b}	0,33 ^{F a}	0,02 ^{A c}	0,14 ^{AB b}	0,26 ^{EF a}	0,13 ^{A b}	0,01 ^{A b}	0,04 ^{C a}	0,04 ^{C a}
	91/92 2 dez-fev	0,26 ^{AB a}	0,22 ^{G a}	0,04 ^{A b}	0,14 ^{AB ab}	0,19 ^{F a}	0,06 ^{AB b}	0,02 ^{A b}	0,05 ^{BC a}	0,05 ^{AB a}
	91/92 3 mar-mai	0,19 ^{B b}	0,26 ^{FG a}	0,02 ^{A c}	0,10 ^{B b}	0,20 ^{F a}	0,05 ^{B c}	0,01 ^{A b}	0,03 ^{CD a}	0,04 ^{C a}
	91/92 4 jun-ago	0,25 ^{AB b}	0,37 ^{EF a}	0,03 ^{A c}	0,12 ^{AB b}	0,24 ^{F a}	0,04 ^{B c}	0,01 ^{A b}	0,03 ^{C a}	0,04 ^{C a}
2	92/93 5 set-nov	0,15 ^{B b}	0,44 ^{E a}	0,03 ^{A c}	0,12 ^{AB b}	0,29 ^{E a}	0,04 ^{B c}	0,02 ^{A c}	0,09 ^{A a}	0,05 ^{C b}
	92/93 6 dez-fev	0,15 ^{B b}	0,27 ^{FG a}	0,02 ^{A c}	0,10 ^{B b}	0,23 ^{F a}	0,03 ^{B c}	0,01 ^{A c}	0,06 ^{B a}	0,04 ^{C b}
	92/93 7 mar-mai	0,19 ^{B a}	0,25 ^{G a}	0,03 ^{A b}	0,13 ^{AB b}	0,22 ^{F a}	0,05 ^{B c}	0,01 ^{A c}	0,06 ^{B a}	0,04 ^{C b}
	92/93 8 jun-ago	0,23 ^{AB b}	0,49 ^{DE a}	0,03 ^{A c}	0,12 ^{AB b}	0,34 ^{D a}	0,05 ^{B c}	0,01 ^{A b}	0,04 ^{C a}	0,05 ^{AB a}
3	93/94 9 set-nov	0,22 ^{AB b}	0,50 ^{DE a}	0,04 ^{A c}	0,11 ^{B b}	0,31 ^{DE a}	0,04 ^{B c}	0,01 ^{A b}	0,04 ^{C a}	0,05 ^{AB a}
	93/94 10 dez-fev	0,24 ^{AB b}	0,52 ^{D a}	0,03 ^{A c}	0,13 ^{AB b}	0,38 ^{CD a}	0,03 ^{B c}	0,01 ^{A b}	0,03 ^{CD b}	0,07 ^{A a}
	93/94 11 mar-mai	0,23 ^{AB b}	0,59 ^{C a}	0,03 ^{A c}	0,11 ^{B b}	0,40 ^{C a}	0,04 ^{B c}	0,01 ^{A b}	0,03 ^{C a}	0,05 ^{C a}
	93/94 12 jun-ago	0,26 ^{A b}	0,61 ^{C a}	0,03 ^{A c}	0,11 ^{B b}	0,44 ^{BC a}	0,05 ^{B c}	0,02 ^{A b}	0,04 ^{C a}	0,05 ^{AB a}
4	94/95 13 set-nov	0,28 ^{A b}	0,64 ^{BC a}	0,02 ^{A c}	0,16 ^{A b}	0,56 ^{A a}	0,05 ^{B c}	0,01 ^{A c}	0,04 ^{C b}	0,08 ^{A a}
	94/95 14 dez-fev	0,24 ^{AB b}	0,82 ^{A a}	0,02 ^{A c}	0,14 ^{AB b}	0,55 ^{A a}	0,03 ^{B c}	0,01 ^{A b}	0,03 ^{C a}	0,04 ^{C a}
	94/95 15 mar-mai	0,28 ^{A b}	0,78 ^{A a}	0,03 ^{A c}	0,13 ^{AB b}	0,45 ^{B a}	0,05 ^{B c}	0,02 ^{A b}	0,04 ^{C a}	0,05 ^{AB a}
	94/95 16 jun-ago	0,17 ^{B b}	0,70 ^{B a}	0,07 ^{A c}	0,10 ^{B b}	0,34 ^{D a}	0,04 ^{B c}	0,01 ^{A c}	0,03 ^{C b}	0,06 ^{B a}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 14. Concentração trimestral média* de cobre (Cu mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**				Sobcopas			Solo 10cm			
1	91/92 1 set-nov	0,01 ^B _a	0,01 ^{BC} _a	0,01 ^{AB} _a	0,01 ^A _a	0,01 ^{BC} _a	0,01 ^{AB} _a	0,01 ^A _a	0,02 ^B _a	0,01 ^B _a
	91/92 2 dez-fev	0,01 ^B _b	0,04 ^A _a	0,01 ^B _b	0,01 ^A _b	0,04 ^A _a	0,01 ^B _b	0,01 ^A _b	0,03 ^A _a	0,01 ^B _b
	91/92 3 mar-mai	0,01 ^B _a	0,02 ^{BC} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,02 ^{BC} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,02 ^B _a	0,01 ^B _a
	91/92 4 jun-ago	0,01 ^B _a	0,02 ^{BC} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,02 ^{BC} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,02 ^B _a	0,01 ^B _a
2	92/93 5 set-nov	0,02 ^A _a	0,03 ^B _a	0,02 ^A _a	0,02 ^A _a	0,03 ^{AB} _a	0,03 ^A _a	0,02 ^A _a	0,03 ^A _a	0,03 ^A _a
	92/93 6 dez-fev	0,01 ^B _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a
	92/93 7 mar-mai	0,01 ^B _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a
	92/93 8 jun-ago	0,01 ^B _a	0,02 ^{BC} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,02 ^{BC} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,02 ^B _a	0,01 ^B _a
3	93/94 9 set-nov	0,01 ^B _a	0,01 ^{BC} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _b	0,03 ^A _a	0,01 ^B _b	0,01 ^A _b	0,04 ^A _a	0,02 ^{AB} _{ab}
	93/94 10 dez-fev	0,01 ^B _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _b	0,02 ^B _a	0,01 ^B _b	0,01 ^A _b	0,03 ^A _a	0,01 ^B _b
	93/94 11 mar-mai	0,01 ^B _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a
	93/94 12 jun-ago	0,01 ^B _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a
4	94/95 13 set-nov	0,01 ^B _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a
	94/95 14 dez-fev	0,01 ^B _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^C _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a
	94/95 15 mar-mai	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^{BC} _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,02 ^{BC} _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,02 ^B _a	0,02 ^B _a
	94/95 16 jun-ago	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^{BC} _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,02 ^{BC} _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,02 ^B _a	0,02 ^B _a
Solo 60cm				Solo 100cm			Nascentes			
1	91/92 1 set-nov	0,01 ^A _a	0,02 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,02 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	91/92 2 dez-fev	0,01 ^A _b	0,03 ^A _a	0,01 ^A _b	0,01 ^B _b	0,03 ^A _a	0,01 ^B _b	0,01 ^A _b	0,04 ^A _a	0,01 ^A _b
	91/92 3 mar-mai	0,01 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,02 ^{AB} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	91/92 4 jun-ago	0,01 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,02 ^{AB} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
2	92/93 5 set-nov	0,02 ^A _a	0,03 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,03 ^A _a	0,03 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,03 ^A _a	0,01 ^B _a	0,02 ^A _a
	92/93 6 dez-fev	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	92/93 7 mar-mai	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	92/93 8 jun-ago	0,01 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,02 ^{AB} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
3	93/94 9 set-nov	0,01 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,03 ^A _a	0,01 ^B _b	0,03 ^A _a	0,02 ^A _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	93/94 10 dez-fev	0,01 ^A _a	0,03 ^{AB} _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _b	0,02 ^A _a	0,01 ^B _b	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	93/94 11 mar-mai	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	93/94 12 jun-ago	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
4	94/95 13 set-nov	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	94/95 14 dez-fev	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,01 ^B _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a	0,01 ^B _a	0,01 ^A _a
	94/95 15 mar-mai	0,02 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,02 ^B _a	0,02 ^A _a
	94/95 16 jun-ago	0,02 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^{AB} _a	0,02 ^A _a	0,02 ^B _a	0,02 ^A _a

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 15. Concentração trimestral média* de zinco (Zn mg l⁻¹) na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre		PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm			Solo 60cm		
1	91/92	1 set-nov	0,04 ^{CD} ^b	0,04 ^B ^b	0,06 ^B ^a	0,04 ^{BC} ^a	0,06 ^{CD} ^a	0,07 ^{BC} ^a	0,07 ^B ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,07 ^A ^a
	91/92	2 dez-fev	0,03 ^{CD} ^a	0,03 ^B ^a	0,03 ^{CD} ^a	0,03 ^C ^a	0,05 ^{CD} ^a	0,03 ^C ^a	0,05 ^{BC} ^{ab}	0,11 ^{BC} ^a	0,05 ^B ^b
	91/92	3 mar-mai	0,05 ^C ^a	0,05 ^B ^a	0,05 ^C ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,08 ^C ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,06 ^{AB} ^a
	91/92	4 jun-ago	0,05 ^C ^a	0,05 ^B ^a	0,05 ^C ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,08 ^C ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,06 ^{AB} ^a
2	92/93	5 set-nov	0,04 ^C ^a	0,04 ^B ^a	0,03 ^{CD} ^a	0,04 ^C ^a	0,06 ^{CD} ^a	0,05 ^{BC} ^a	0,04 ^C ^b	0,09 ^C ^a	0,04 ^B ^b
	92/93	6 dez-fev	0,09 ^B ^a	0,06 ^A ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,11 ^A ^a	0,08 ^C ^b	0,09 ^A ^a	0,10 ^{AB} ^{ab}	0,13 ^B ^a	0,07 ^A ^b
	92/93	7 mar-mai	0,05 ^{BC} ^{ab}	0,04 ^B ^b	0,07 ^B ^a	0,04 ^{BC} ^a	0,05 ^{CD} ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,07 ^B ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,06 ^{AB} ^a
	92/93	8 jun-ago	0,05 ^C ^a	0,05 ^B ^a	0,05 ^C ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,08 ^C ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,06 ^{BC} ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,06 ^{AB} ^a
3	93/94	9 set-nov	0,06 ^B ^a	0,06 ^A ^a	0,09 ^B ^a	0,07 ^{BC} ^b	0,10 ^B ^a	0,10 ^A ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,13 ^{BC} ^a	0,07 ^A ^a
	93/94	10 dez-fev	0,10 ^A ^a	0,08 ^A ^b	0,13 ^A ^a	0,11 ^A ^a	0,11 ^B ^a	0,11 ^A ^a	0,14 ^A ^b	0,18 ^A ^a	0,10 ^A ^b
	93/94	11 mar-mai	0,10 ^{AB} ^a	0,05 ^{AB} ^a	0,07 ^B ^a	0,13 ^A ^a	0,11 ^B ^a	0,08 ^B ^b	0,09 ^B ^b	0,17 ^{AB} ^a	0,12 ^A ^{ab}
	93/94	12 jun-ago	0,01 ^D ^a	0,04 ^B ^a	0,01 ^D ^a	0,08 ^B ^b	0,11 ^B ^a	0,06 ^{BC} ^b	0,04 ^C ^b	0,07 ^C ^a	0,03 ^B ^b
4	94/95	13 set-nov	0,06 ^{BC} ^a	0,08 ^A ^a	0,02 ^D ^b	0,07 ^B ^b	0,19 ^A ^a	0,08 ^B ^b	0,03 ^C ^b	0,09 ^C ^a	0,05 ^B ^b
	94/95	14 dez-fev	0,03 ^{CD} ^a	0,02 ^B ^a	0,01 ^D ^a	0,03 ^C ^a	0,03 ^D ^a	0,03 ^C ^a	0,03 ^C ^b	0,08 ^C ^a	0,03 ^B ^b
	94/95	15 mar-mai	0,03 ^{CD} ^a	0,03 ^B ^a	0,03 ^{CD} ^a	0,03 ^C ^a	0,03 ^D ^a	0,03 ^C ^a	0,03 ^C ^a	0,03 ^D ^a	0,03 ^B ^a
	94/95	16 jun-ago	0,02 ^{CD} ^a	0,04 ^B ^a	0,05 ^C ^a	0,03 ^C ^a	0,04 ^{CD} ^a	0,03 ^C ^a	0,04 ^C ^b	0,09 ^C ^a	0,05 ^B ^b
Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes					
1	91/92	1 set-nov	0,06 ^A ^a	0,11 ^{BC} ^a	0,08 ^A ^a	0,06 ^B ^b	0,10 ^B ^a	0,08 ^A ^{ab}	0,03 ^{BC} ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,03 ^A ^a
	91/92	2 dez-fev	0,04 ^{AB} ^a	0,09 ^{BC} ^a	0,05 ^{AB} ^a	0,03 ^B ^a	0,08 ^{BC} ^a	0,04 ^{AB} ^a	0,02 ^{BC} ^a	0,02 ^{BC} ^a	0,04 ^A ^a
	91/92	3 mar-mai	0,06 ^A ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,05 ^{AB} ^a	0,07 ^{AB} ^a	0,09 ^{BC} ^a	0,05 ^A ^a	0,04 ^{BC} ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,04 ^A ^a
	91/92	4 jun-ago	0,06 ^A ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,05 ^{AB} ^a	0,07 ^{AB} ^a	0,09 ^{BC} ^a	0,05 ^A ^a	0,04 ^{BC} ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,04 ^A ^a
2	92/93	5 set-nov	0,04 ^{AB} ^a	0,09 ^{BC} ^a	0,04 ^{AB} ^a	0,04 ^B ^a	0,08 ^{BC} ^a	0,04 ^{AB} ^a	0,04 ^{BC} ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,03 ^A ^a
	92/93	6 dez-fev	0,08 ^A ^{ab}	0,14 ^{AB} ^a	0,08 ^A ^b	0,08 ^{AB} ^b	0,14 ^A ^a	0,07 ^A ^b	0,09 ^A ^a	0,05 ^B ^b	0,08 ^A ^a
	92/93	7 mar-mai	0,05 ^{AB} ^a	0,09 ^{BC} ^a	0,04 ^{AB} ^a	0,05 ^B ^a	0,09 ^{BC} ^a	0,06 ^A ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,02 ^{BC} ^a	0,04 ^A ^a
	92/93	8 jun-ago	0,06 ^A ^a	0,10 ^{BC} ^a	0,05 ^{AB} ^a	0,07 ^{AB} ^a	0,09 ^{BC} ^a	0,05 ^A ^a	0,04 ^{BC} ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,04 ^A ^a
3	93/94	9 set-nov	0,07 ^A ^a	0,11 ^{BC} ^a	0,07 ^A ^a	0,07 ^{AB} ^a	0,12 ^{AB} ^a	0,07 ^A ^a	0,05 ^B ^a	0,04 ^B ^a	0,08 ^A ^a
	93/94	10 dez-fev	0,09 ^A ^a	0,16 ^{AB} ^a	0,08 ^A ^a	0,09 ^{AB} ^a	0,14 ^{AB} ^a	0,09 ^A ^a	0,08 ^{AB} ^a	0,08 ^{AB} ^a	0,08 ^A ^a
	93/94	11 mar-mai	0,10 ^A ^b	0,18 ^A ^a	0,07 ^A ^b	0,08 ^{AB} ^a	0,10 ^{AB} ^a	0,10 ^A ^a	0,09 ^A ^a	0,09 ^A ^a	0,07 ^A ^a
	93/94	12 jun-ago	0,04 ^{AB} ^a	0,04 ^{CD} ^a	0,01 ^B ^a	0,05 ^B ^{ab}	0,05 ^C ^a	0,02 ^B ^b	0,01 ^C ^a	0,01 ^C ^a	0,03 ^A ^a
4	94/95	13 set-nov	0,07 ^A ^a	0,08 ^C ^a	0,03 ^B ^b	0,11 ^A ^a	0,08 ^{BC} ^a	0,02 ^B ^b	0,01 ^C ^a	0,01 ^C ^a	0,02 ^A ^a
	94/95	14 dez-fev	0,03 ^B ^b	0,12 ^B ^a	0,02 ^B ^b	0,11 ^A ^a	0,11 ^{AB} ^a	0,03 ^{AB} ^b	0,01 ^{BC} ^a	0,01 ^{BC} ^a	0,02 ^A ^a
	94/95	15 mar-mai	0,08 ^A ^a	0,03 ^D ^b	0,03 ^B ^b	0,03 ^B ^a	0,03 ^C ^a	0,03 ^{AB} ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,03 ^A ^a
	94/95	16 jun-ago	0,04 ^{AB} ^a	0,08 ^{BC} ^a	0,04 ^{AB} ^a	0,10 ^A ^a	0,08 ^{BC} ^{ab}	0,03 ^{AB} ^b	0,02 ^{BC} ^a	0,03 ^{BC} ^a	0,03 ^A ^a

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 16. Concentração trimestral média* de H⁺ na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre		PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
			Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm		
1	91/92	1 set-nov	0,033 ^{C a}	0,008 ^{A a}	0,010 ^{A a}	0,004 ^{C a}	0,005 ^{C a}	0,005 ^{B a}	0,029 ^{A b}	0,229 ^{D a}	0,201 ^{D a}
	91/92	2 dez-fev	0,009 ^{C a}	0,003 ^{A a}	0,013 ^{A a}	0,001 ^{C a}	0,002 ^{C a}	0,002 ^{B a}	0,022 ^{A b}	0,208 ^{D a}	0,137 ^{D a}
	91/92	3 mar-mai	0,019 ^{C a}	0,007 ^{A a}	0,012 ^{A a}	0,002 ^{C a}	0,004 ^{C a}	0,004 ^{B a}	0,033 ^{A b}	0,289 ^{CD a}	0,174 ^{D a}
	91/92	4 jun-ago	0,014 ^{C a}	0,003 ^{A a}	0,004 ^{A a}	0,001 ^{C a}	0,007 ^{C a}	0,005 ^{B a}	0,031 ^{A b}	0,268 ^{CD a}	0,155 ^{D a}
2	92/93	5 set-nov	0,013 ^{C a}	0,007 ^{A a}	0,010 ^{A a}	0,001 ^{C a}	0,007 ^{C a}	0,005 ^{B a}	0,030 ^{A b}	0,269 ^{CD a}	0,188 ^{D a}
	92/93	6 dez-fev	0,024 ^{C a}	0,006 ^{A a}	0,007 ^{A a}	0,002 ^{C a}	0,008 ^{C a}	0,002 ^{B a}	0,024 ^{A b}	0,211 ^{D a}	0,165 ^{D a}
	92/93	7 mar-mai	0,030 ^{C a}	0,009 ^{A a}	0,013 ^{A a}	0,003 ^{C a}	0,008 ^{C a}	0,003 ^{B a}	0,037 ^{A b}	0,175 ^{D a}	0,196 ^{D a}
	92/93	8 jun-ago	0,177 ^{A a}	0,014 ^{A b}	0,006 ^{A b}	0,055 ^{A a}	0,009 ^{C b}	0,004 ^{B b}	0,062 ^{A b}	0,314 ^{CD a}	0,369 ^{C a}
3	93/94	9 set-nov	0,066 ^{BC a}	0,013 ^{A a}	0,012 ^{A a}	0,008 ^{C a}	0,021 ^{BC a}	0,010 ^{B a}	0,087 ^{A b}	0,465 ^{BC a}	0,571 ^{B a}
	93/94	10 dez-fev	0,107 ^{B a}	0,026 ^{A b}	0,014 ^{A b}	0,021 ^{BC b}	0,038 ^{A a}	0,021 ^{B b}	0,143 ^{A b}	0,634 ^{A a}	0,701 ^{A a}
	93/94	11 mar-mai	0,060 ^{BC a}	0,014 ^{A a}	0,020 ^{A a}	0,019 ^{BC a}	0,033 ^{AB a}	0,024 ^{B a}	0,063 ^{A c}	0,511 ^{B a}	0,295 ^{CD b}
	93/94	12 jun-ago	0,017 ^{C a}	0,004 ^{A a}	0,002 ^{A a}	0,004 ^{C a}	0,005 ^{C a}	0,007 ^{B a}	0,033 ^{A b}	0,228 ^{D a}	0,220 ^{D a}
4	94/95	13 set-nov	0,036 ^{C a}	0,005 ^{A a}	0,004 ^{A a}	0,005 ^{C a}	0,009 ^{C a}	0,006 ^{B a}	0,027 ^{A b}	0,192 ^{D a}	0,273 ^{CD a}
	94/95	14 dez-fev	0,198 ^{A a}	0,008 ^{A b}	0,027 ^{A b}	0,030 ^{B b}	0,045 ^{A a}	0,049 ^{A a}	0,061 ^{A b}	0,235 ^{D a}	0,357 ^{CD a}
	94/95	15 mar-mai	0,011 ^{C a}	0,006 ^{A a}	0,007 ^{A a}	0,003 ^{C a}	0,012 ^{BC a}	0,010 ^{B a}	0,043 ^{A b}	0,688 ^{A a}	0,705 ^{A a}
	94/95	16 jun-ago	0,010 ^{C a}	0,011 ^{A a}	0,006 ^{A a}	0,005 ^{C a}	0,010 ^{BC a}	0,012 ^{B a}	0,078 ^{A b}	0,433 ^{BC a}	0,396 ^{BC a}
			Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes		
1	91/92	1 set-nov	0,030 ^{A b}	0,156 ^{D a}	0,130 ^{D a}	0,019 ^{A b}	0,125 ^{C a}	0,090 ^{E ab}	0,000 ^{A b}	0,010 ^{C a}	0,018 ^{DE a}
	91/92	2 dez-fev	0,023 ^{A a}	0,102 ^{D a}	0,087 ^{D a}	0,011 ^{A b}	0,079 ^{C ab}	0,146 ^{D a}	0,000 ^{A b}	0,003 ^{C ab}	0,016 ^{DE a}
	91/92	3 mar-mai	0,030 ^{A b}	0,153 ^{D a}	0,147 ^{D a}	0,016 ^{A b}	0,142 ^{C a}	0,117 ^{D a}	0,000 ^{A b}	0,004 ^{C ab}	0,015 ^{DE a}
	91/92	4 jun-ago	0,023 ^{A a}	0,111 ^{D a}	0,099 ^{D a}	0,012 ^{A a}	0,103 ^{C a}	0,051 ^{E a}	0,000 ^{A b}	0,002 ^{C ab}	0,011 ^{DE a}
2	92/93	5 set-nov	0,032 ^{A b}	0,172 ^{CD a}	0,151 ^{D a}	0,015 ^{A b}	0,162 ^{C a}	0,083 ^{DE ab}	0,000 ^{A b}	0,012 ^{BC a}	0,018 ^{DE a}
	92/93	6 dez-fev	0,029 ^{A b}	0,141 ^{D a}	0,127 ^{D a}	0,013 ^{A b}	0,147 ^{C a}	0,083 ^{DE ab}	0,000 ^{A b}	0,006 ^{C ab}	0,016 ^{DE a}
	92/93	7 mar-mai	0,035 ^{A b}	0,153 ^{D a}	0,160 ^{D a}	0,017 ^{A b}	0,129 ^{C a}	0,103 ^{DE ab}	0,001 ^{A b}	0,007 ^{C ab}	0,016 ^{DE a}
	92/93	8 jun-ago	0,061 ^{A a}	0,182 ^{CD a}	0,193 ^{CD a}	0,012 ^{A b}	0,128 ^{C a}	0,113 ^{D a}	0,000 ^{A b}	0,002 ^{C a}	0,007 ^{E a}
3	93/94	9 set-nov	0,070 ^{A b}	0,414 ^{B a}	0,392 ^{B a}	0,041 ^{A b}	0,343 ^{AB a}	0,279 ^{C a}	0,001 ^{A b}	0,016 ^{BC a}	0,027 ^{D a}
	93/94	10 dez-fev	0,111 ^{A b}	0,627 ^{A a}	0,528 ^{A a}	0,076 ^{A c}	0,517 ^{A a}	0,405 ^{B b}	0,002 ^{A c}	0,028 ^{A b}	0,055 ^{B a}
	93/94	11 mar-mai	0,071 ^{A b}	0,427 ^{B a}	0,248 ^{CD b}	0,048 ^{A c}	0,336 ^{AB a}	0,167 ^{D b}	0,002 ^{A b}	0,017 ^{BC b}	0,037 ^{C a}
	93/94	12 jun-ago	0,029 ^{A b}	0,179 ^{CD a}	0,179 ^{CD a}	0,019 ^{A b}	0,147 ^{C a}	0,132 ^{D a}	0,001 ^{A b}	0,006 ^{C ab}	0,016 ^{DE a}
4	94/95	13 set-nov	0,021 ^{A b}	0,219 ^{CD a}	0,195 ^{CD a}	0,016 ^{A b}	0,159 ^{C a}	0,144 ^{D a}	0,001 ^{A c}	0,010 ^{C b}	0,019 ^{E a}
	94/95	14 dez-fev	0,063 ^{A b}	0,273 ^{C a}	0,287 ^{BC a}	0,053 ^{A b}	0,262 ^{BC a}	0,265 ^{CD a}	0,006 ^{A c}	0,020 ^{AB b}	0,052 ^{B a}
	94/95	15 mar-mai	0,046 ^{A b}	0,509 ^{B a}	0,471 ^{AB a}	0,037 ^{A b}	0,459 ^{A a}	0,351 ^{BC a}	0,002 ^{A c}	0,026 ^{AB b}	0,120 ^{A a}
	94/95	16 jun-ago	0,043 ^{A c}	0,354 ^{BC b}	0,606 ^{A a}	0,046 ^{A c}	0,306 ^{B b}	0,639 ^{A a}	0,002 ^{A c}	0,021 ^{AB b}	0,041 ^{C a}

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.

Anexo 17. Valor trimestral médio* de pH na água de chuva em clareira e sobcopas, na solução do solo a 10cm, 60cm e 100cm de profundidade e na água de nascentes, no período de 1991 a 1995, nas três florestas de Cubatão: Pilões (PIL = menos poluída), Moji (MOJ = fortemente poluída) e Paranapiacaba (PAR = moderadamente poluída).

Ano	Trimestre		PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR	PIL	MOJ	PAR
Clareira**			Sobcopas			Solo 10cm					
1	91/92	1 set-nov	4,7 ^A ^b	5,4 ^A ^a	5,1 ^B ^b	6,1 ^A ^a	5,4 ^B ^b	5,6 ^B ^b	4,8 ^{AB} ^a	3,7 ^A ^b	3,8 ^A ^b
	91/92	2 dez-fev	5,1 ^A ^b	5,6 ^A ^a	4,9 ^B ^b	6,1 ^A ^a	5,8 ^A ^a	5,8 ^A ^a	4,8 ^A ^a	3,7 ^A ^b	3,9 ^A ^b
	91/92	3 mar-mai	4,8 ^A ^b	5,6 ^A ^a	5,0 ^B ^b	5,8 ^A ^a	5,5 ^B ^b	5,4 ^B ^b	4,7 ^{AB} ^a	3,6 ^{AB} ^b	3,8 ^A ^b
	91/92	4 jun-ago	5,0 ^A ^b	5,5 ^A ^a	5,6 ^A ^a	5,9 ^A ^a	5,2 ^C ^c	5,4 ^B ^b	4,7 ^{AB} ^a	3,6 ^{AB} ^b	3,9 ^A ^b
2	92/93	5 set-nov	4,9 ^A ^b	5,3 ^A ^a	5,1 ^B ^b	5,9 ^A ^a	5,2 ^C ^c	5,3 ^B ^b	4,7 ^{AB} ^a	3,6 ^{AB} ^b	3,7 ^A ^b
	92/93	6 dez-fev	4,8 ^A ^b	5,2 ^A ^a	5,3 ^A ^a	5,9 ^A ^a	5,1 ^C ^b	5,7 ^{AB} ^a	4,9 ^A ^a	3,7 ^A ^b	3,8 ^A ^b
	92/93	7 mar-mai	4,5 ^{AB} ^a	5,0 ^B ^a	4,9 ^B ^a	5,5 ^B ^a	5,1 ^C ^b	5,5 ^B ^a	4,5 ^{BC} ^a	3,8 ^A ^b	3,7 ^A ^b
	92/93	8 jun-ago	4,8 ^A ^b	5,1 ^{AB} ^{ab}	5,4 ^A ^a	5,5 ^B ^a	5,1 ^C ^b	5,5 ^B ^a	4,6 ^{AB} ^a	3,5 ^{AB} ^b	3,5 ^A ^b
3	93/94	9 set-nov	4,3 ^{BC} ^b	5,1 ^B ^a	5,0 ^B ^a	5,3 ^B ^a	4,7 ^D ^c	5,1 ^C ^b	4,2 ^C ^a	3,4 ^B ^b	3,3 ^B ^b
	93/94	10 dez-fev	4,0 ^C ^b	4,6 ^B ^a	5,0 ^B ^a	4,8 ^C ^a	4,5 ^D ^a	4,7 ^D ^a	3,9 ^D ^a	3,2 ^B ^b	3,2 ^B ^b
	93/94	11 mar-mai	4,3 ^{BC} ^b	4,9 ^B ^a	4,9 ^B ^a	4,8 ^C ^a	4,7 ^D ^a	4,7 ^D ^a	4,3 ^C ^a	3,3 ^B ^b	3,5 ^A ^b
	93/94	12 jun-ago	4,8 ^A ^b	5,5 ^A ^a	5,7 ^A ^a	5,5 ^B ^a	5,3 ^B ^a	5,2 ^C ^b	4,5 ^B ^a	3,7 ^A ^b	3,7 ^A ^b
4	94/95	13 set-nov	4,5 ^B ^b	5,3 ^A ^a	5,4 ^A ^a	5,4 ^B ^a	5,1 ^C ^b	5,2 ^C ^b	4,6 ^{AB} ^a	3,8 ^A ^b	3,6 ^A ^b
	94/95	14 dez-fev	3,7 ^C ^b	5,1 ^B ^a	4,6 ^B ^a	4,6 ^C ^a	4,4 ^D ^a	4,3 ^D ^a	4,3 ^C ^a	3,6 ^A ^b	3,5 ^A ^b
	94/95	15 mar-mai	5,0 ^A ^b	5,2 ^A ^a	5,2 ^A ^a	5,5 ^B ^a	4,9 ^C ^b	5,0 ^C ^b	4,4 ^{BC} ^a	3,2 ^B ^b	3,2 ^B ^b
	94/95	16 jun-ago	5,0 ^A ^b	5,0 ^B ^b	5,2 ^A ^a	5,3 ^B ^a	5,0 ^C ^a	5,0 ^C ^a	4,1 ^{CD} ^a	3,4 ^{AB} ^b	3,5 ^A ^b
Solo 60cm			Solo 100cm			Nascentes					
1	91/92	1 set-nov	4,6 ^{AB} ^a	3,9 ^A ^b	4,0 ^{AB} ^b	4,9 ^B ^a	4,0 ^{AB} ^c	4,4 ^A ^b	6,8 ^A ^a	5,1 ^B ^b	5,0 ^{AB} ^b
	91/92	2 dez-fev	4,7 ^A ^a	4,0 ^A ^b	4,1 ^A ^b	5,0 ^{AB} ^a	4,1 ^A ^b	4,1 ^B ^b	6,8 ^A ^a	5,6 ^A ^b	5,0 ^{AB} ^c
	91/92	3 mar-mai	4,5 ^{AB} ^a	3,8 ^{AB} ^b	3,9 ^{AB} ^b	4,8 ^{BC} ^a	3,9 ^{AB} ^b	4,0 ^B ^b	6,6 ^A ^a	5,5 ^A ^b	5,0 ^{AB} ^c
	91/92	4 jun-ago	4,7 ^{AB} ^a	4,0 ^A ^b	4,0 ^{AB} ^b	5,0 ^{AB} ^a	4,0 ^{AB} ^c	4,3 ^A ^b	6,6 ^{AB} ^a	5,7 ^A ^b	5,0 ^{AB} ^c
2	92/93	5 set-nov	4,5 ^{AB} ^a	3,8 ^{AB} ^b	3,8 ^B ^b	4,9 ^{AB} ^a	3,8 ^{AB} ^b	4,1 ^{AB} ^b	6,7 ^A ^a	4,9 ^{BC} ^b	4,9 ^{AB} ^b
	92/93	6 dez-fev	4,6 ^{AB} ^a	3,9 ^A ^b	3,9 ^{AB} ^b	5,0 ^{AB} ^a	3,8 ^{AB} ^b	4,1 ^{AB} ^b	6,6 ^A ^a	5,3 ^{AB} ^b	5,0 ^{AB} ^b
	92/93	7 mar-mai	4,6 ^{AB} ^a	3,8 ^{AB} ^b	3,8 ^B ^b	4,9 ^{AB} ^a	3,9 ^{AB} ^b	4,0 ^{BC} ^b	6,3 ^B ^a	5,2 ^{AB} ^b	4,9 ^{AB} ^b
	92/93	8 jun-ago	4,4 ^B ^a	3,8 ^{AB} ^b	3,7 ^{BC} ^b	5,1 ^A ^a	3,9 ^{AB} ^b	4,0 ^{BC} ^b	6,6 ^{AB} ^a	5,7 ^A ^b	5,3 ^A ^b
3	93/94	9 set-nov	4,3 ^B ^a	3,4 ^{BC} ^b	3,5 ^C ^b	4,6 ^C ^a	3,5 ^C ^b	3,6 ^{CD} ^b	6,3 ^B ^a	4,9 ^{BC} ^b	4,8 ^{AB} ^b
	93/94	10 dez-fev	4,0 ^B ^a	3,2 ^C ^b	3,3 ^D ^b	4,2 ^D ^a	3,3 ^C ^b	3,4 ^{DE} ^b	5,8 ^{CD} ^a	4,6 ^C ^b	4,4 ^C ^b
	93/94	11 mar-mai	4,2 ^B ^a	3,4 ^{BC} ^b	3,6 ^{BC} ^b	4,4 ^{CD} ^a	3,5 ^C ^c	3,8 ^C ^b	5,9 ^C ^a	4,9 ^{BC} ^b	4,7 ^{BC} ^b
	93/94	12 jun-ago	4,6 ^{AB} ^a	3,8 ^{AB} ^b	3,8 ^{BC} ^b	4,8 ^B ^a	3,8 ^{AB} ^b	3,9 ^{BC} ^b	6,1 ^{BC} ^a	5,3 ^{AB} ^b	5,0 ^{AB} ^b
4	94/95	13 set-nov	4,7 ^A ^a	3,7 ^{AB} ^b	3,7 ^{BC} ^b	4,9 ^B ^a	3,8 ^B ^b	3,9 ^{BC} ^b	6,3 ^B ^a	5,1 ^B ^b	4,8 ^B ^c
	94/95	14 dez-fev	4,3 ^B ^a	3,6 ^B ^b	3,5 ^C ^b	4,3 ^D ^a	3,6 ^{BC} ^b	3,6 ^{CD} ^b	5,3 ^D ^a	4,7 ^C ^b	4,3 ^C ^b
	94/95	15 mar-mai	4,4 ^B ^a	3,3 ^{BC} ^b	3,3 ^D ^b	4,5 ^{CD} ^a	3,3 ^C ^b	3,5 ^D ^b	5,7 ^{CD} ^a	4,6 ^C ^b	4,0 ^D ^c
	94/95	16 jun-ago	4,5 ^{AB} ^a	3,5 ^B ^b	3,2 ^D ^c	4,4 ^{CD} ^a	3,5 ^C ^b	3,2 ^E ^c	5,8 ^C ^a	4,7 ^C ^b	4,4 ^C ^b

*média ajustada pelo método dos quadrados mínimos. ** valores seguidos pela mesma letra, maiúscula (azul) na coluna ou minúscula (vermelho) na linha, não diferem a 0,05 de probabilidade pelo teste t - Student.