UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO DA SEDIMENTAÇÃO LAGUNAR HOLOCÊNICA NA REGIÃO DE
JAGUARUNA, ESTADO DE SANTA CATARINA: UMA ABORDAGEM
SEDIMENTOLÓGICA-MICROPALEONTOLÓGICA INTEGRADA**

Paula Garcia Carvalho do Amaral

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

São Paulo
2008

Resumo

O estudo de três testemunhos rasos (até 2,5m de profundidade) coletados na região de Jaguaruna, litoral centro-sul de Santa Catarina, permitiu reconstituir parte da história de evolução sedimentar holocênica na área. Para isso, foi feita a análise integrada de quatro tipos de variáveis: sedimentológicas, diatomológicas, palinológicas e geoquímicas (C_{total} , N_{total} , $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$). Os dados de micropaleontologia foram tratados por métodos de estatística multivariada (análise fatorial de correspondência, análise de componentes principais e classificação ascendente hierárquica), que evidenciaram agrupamentos significativos entre os microfósseis e, desse modo, auxiliaram nas interpretações.

A ca. 5000 anos AP, a área de estudo deveria ser ocupada por um conjunto de lagunas interconectadas, cuja existência pôde ser atestada pelos sedimentos de fundo lagunar, na base de um dos testemunhos, em zona atualmente colonizada por mata de restinga. A ligação da laguna com o mar, nesta época, é verificada pela presença de diatomáceas marinhas e pelo sinal isotópico e elementar da matéria orgânica preservada nos sedimentos, indicativo de origem algácea, com valores de $\delta^{13}C$ de fitoplâncton marinho. A perda da conexão da laguna com o oceano ocorreu em diferentes momentos nos três testemunhos, sendo o último registro de desconexão da laguna observado a ca. 2740-2370 anos cal AP.

Variações nas assembléias de diatomáceas no registro da fase lagunar (de 5500 até 2740-2370 anos cal AP) indicaram pelo menos dois períodos de mudanças maiores na salinidade da paleolaguna. Estes períodos puderam ser comparados a dados de paleoprecipitação, publicados em trabalhos anteriores, obtidos para o Estado de Santa Catarina. Observou-se boa correlação entre períodos com maior precipitação e períodos de diminuição na salinidade das águas da laguna, o que seria relacionado à sua diluição por maior aporte fluvial, sem excluir, no entanto, a possibilidade de menor influência marinha devido a dinâmica de abertura e fechamento das conexões da laguna com o oceano.

O registro da vegetação através da análise palinológica auxiliou na elaboração do modelo evolutivo da área e permitiu reconstituir parte da história da vegetação no contexto de preenchimento da bacia lagunar. O desenvolvimento da vegetação de restinga em áreas antes ocupadas por vegetação característica de borda lagunar reforçaria a idéia de progradação das fácies costeiras assoreando por completo a paleolaguna na área. A síntese dos dados palinológicos entre os três testemunhos permite interpretar que, pelo menos desde 4000 anos cal AP, a vegetação na área de estudo não sofreu grandes modificações, o que sugere clima semelhante ao presente.

A análise integrada dos diferentes indicadores paleoambientais sugere que a dinâmica sedimentar deve ser a maior responsável pelas mudanças observadas nos três testemunhos, com evolução dos ecossistemas ligada, principalmente, a variações no regime e substrato deposicionais, relacionadas à progradação costeira.

Abstract

Sediments from three cores collected in Jaguaruna (south Brazilian coast, Santa Catarina state) were analyzed, in order to reconstruct the Holocene sedimentary evolution of the area. The palaeoenvironmental reconstruction was based on microfossil proxies (diatoms, pollen and spores), analysis of sedimentary organic matter ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and C/N ratios), and sedimentological analysis.

From at least 5000 cal yr AP, the site was occupied by a system of interconnected lagoons, whose existence is verified in the core sediments by the record of paleolagoon sediments in area occupied by *restinga* forest nowadays. The existence of this lagoon and of its connection with the sea is indicated by the presence of marine diatoms and by the isotopic and elementary composition of the sedimentary organic matter, which is indicative of algal origin, with $\delta^{13}\text{C}$ values of marine phytoplankton. The end of the connection between sea and lagoon was registered in different moments in the three cores and the last record of disconnection is found in ca. 2740-2370 cal yr AP.

The variations of the diatom assemblages from the lagoonal phase (between 5000 and 2740-2370 cal yr AP) indicated at least two periods of major changes in the paleolagoon salinity. These periods could be compared with the published paleoprecipitation data for the Santa Catarina state, which showed a good correlation between higher precipitation and reduction in the lagoon water salinity. This correlation would be related to dilution of water salinity by the greater fluvial discharges. However, it can not be exclude the possibility of a lower sea influence related with the dynamics of opening and closing connections between lagoon and ocean.

The pollen analysis allowed the reconstruction of part of the vegetation history in the context of lagoon basin sedimentary filling. The development of the *restinga* forest in areas previously colonized by open vegetation around the lagoon suggested the progradation of coastal facies that completely filled paleolagoon in the area. The synthesis of the palinological data showed that no major changes of the mainland vegetation ecosystem took place at least since 4000 cal yr AP. The vegetation in the study area did not suffer great modifications; with no record of climatic changes.

The multi-proxies analysis suggests that the sedimentary dynamics must be responsible for the greater changes observed in the core sediments. The evolution of ecosystems could be related to variations of the depositional process and modification in the character of the substratum, related to the coastal progradation.

Agradecimentos

Chegado o final da Tese sabemos que a conclusão do trabalho é o resultado de uma lista enorme de pessoas que ajudaram, direta ou indiretamente, para que isso fosse possível. No entanto, para nomear todos seria necessário um segundo volume da Tese. Desta forma, apresento aqui uma breve lista de pessoas as quais gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini, agradeço pela orientação. Digo orientação no sentido mais amplo do termo, por ter me guiado durante estes quatro anos de doutorado, me motivado nos momentos críticos e por mostrar que a ciência é apaixonante. Gostaria de demonstrar toda a minha admiração e respeito a um dos professores mais importantes na minha formação. Obrigada!

Agradeço às Profas. Dras. Florence Sylvestre e Marie Pierre Ledru, por terem me orientado durante o estágio realizado no *Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement* (CEREGE) e na Universidade de Montpellier. C'était une honneur travailler avec vous. Je profite pour remercier aussi à Christine Paillès, Joel Guiot, Laetitia Licari et Pierre Deschamps. Merci beaucoup pour l'accueil pendant mon séjour en France!

Os trabalhos de campo contaram com a ajuda valiosa do Prof. Dr. Paulo Eduardo de Oliveira, do Dr. Ricardo J. F. Garcia, da geógrafa Milene Fornari, do Sr. Derval (Cambuquira) e do Sr. Ari. Agradeço também ao Sr. Jorge e Dona Arlete por permitirem a coleta dos testemunhos em seus terrenos.

Agradeço a toda equipe do Laboratório de Sedimentologia do IGc/USP, principalmente à técnica Elaine e aos estagiários Vitor, Rodolfo e Priscila.

Muito obrigada a todo pessoal do Laboratório de Palinologia e Paleobotânica "Prof. Dr. Murilo Rodolfo e Lima" da Universidade de Guarulhos, em especial à Profa. Dra. Maria Judite Garcia e à Rosana Fernandes, pelo inestimável auxílio na preparação das amostras para palinologia. Agradeço igualmente a equipe do Laboratório de ^{14}C no CENA/USP, onde foram realizadas as análises de geoquímica, principalmente ao Prof. Dr. Luiz Carlos R. Pessenda, às irmãs Susy Eli Gouveia e Soraya Gouveia Saia, e ao Álvaro Buso, todos que sempre me receberam de braços abertos nas minhas idas à Piracicaba.

Agradeço à Profa. Dra. Rosemeri Moro no auxílio da identificação de diatomáceas.

As discussões finais do trabalhos foram enriquecidas pelos comentários do Prof. Dr. André Sawakuchi (Fruta), do Dr. Francisco W. Cruz (Chico Bill), do Daniel (Pegmatito) da Milene e da Priscila (Xiwawa).

Expresso também a minha gratidão a todos os funcionários do Instituto de Geociências, em especial a Ana Paula Cabanal e Magali Rizzo.

Ao amigos, imprescindíveis em qualquer momento da vida, nem sei como agradecer... Obrigada à Lucelene, Sílvia, Roseane, Cíntia, Milene, Ximena, Priscila (Xiwawa), Rogério, Gaston, Gisele, Daniel (Pegmatito), Cristiano Chiessi, Chico Bill, Christine, Rejane, Janaina, Juli, Adriana, Ana Paula (Treme), André (Fruta), Paulita, Veridiana, Zeca, Eliane Siqueira, Soraya, Suzi, Georgia (Jó), Ana Galletti, Gustavo e Pierre. Agradeço, de coração, todo o apoio de vocês.

Ao meus pais e irmãos, agradeço por tudo.... é a eles que eu dedico esta Tese.

Suporte financeiro

O apoio financeiro para realização desta pesquisa foi obtido através do projeto temático FAPESP 04/11038-0, coordenado pelo Prof. Dr Paulo de Blasis (MAE-USP) e do Projeto de Auxílio à Pesquisa FAPESP 05/51034-6, coordenado pelo Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini. Agradeço igualmente à CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado e bolsa PDEE.

Índice

Introdução	1
Metas e objetivos	1
Capítulo I – Síntese bibliográfica	3
1.1. Clima atual	3
1.2. Paleoclima e paleovegetação	4
Capítulo II – Área de estudo	9
2.1. Sedimentação quaternária no litoral centro-sul de Santa Catarina	9
2.2. Nível relativo do mar	12
2.3. Clima	13
2.4. Vegetação	14
Capítulo III – Materiais e métodos	17
3.1. Atividades de campo	17
3.1.1. <i>Coleta dos testemunhos</i>	17
3.1.2. <i>Coleta de chuva polínica moderna</i>	19
3.1.3. <i>Levantamento botânico</i>	20
3.2. Atividades de laboratório	21
3.2.1. <i>Abertura dos testemunhos</i>	21
3.2.2. <i>Datação ^{14}C e taxa de sedimentação</i>	22
3.2.3. <i>Micropaleontologia</i>	23
3.2.3.1. <i>Palinologia</i>	23
- <i>Trabalhos de palinologia em áreas costeiras no Brasil</i>	23
- <i>Método empregado para a análise palinológica</i>	25
3.2.3.2. <i>Diatomáceas</i>	26
- <i>Uso de diatomáceas em reconstruções paleoambientais de áreas costeiras</i>	27
- <i>Método empregado para a análise de diatomáceas</i>	30
3.2.4. <i>Análise sedimentológica</i>	34
3.2.4.1. <i>Delimitação de fácies</i>	34
3.2.4.2. <i>Granulometria</i>	35
3.2.5. <i>Geoquímica</i>	37
- <i>Identificação da fonte da matéria orgânica através da razão C/N</i>	37
- <i>Isótopos estáveis de carbono e nitrogênio: $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$</i>	38
- <i>Método de análise: determinação do conteúdo de carbono orgânico total (C_{org}), nitrogênio total (N_{total}) e razões isotópica $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$</i>	39

3.3. Tratamento gráfico-estatístico dos resultados	40
3.3.1. Construção de diagramas palinológicos e de diatomáceas	40
3.3.2. Análise estatística multivariada	40
- Análise fatorial de correspondência (AFC) e análise de componentes principais (ACP)	40
- Classificação hierárquica ascendente (análise de cluste ou agrupamento)	42
Capítulo IV – Resultados Obtidos	43
4.1. Análise sedimentológica e datação	43
4.1.1. Descrição dos testemunhos	43
Lago Figueirinha – testemunho FIG	43
Vale do Riachinho – testemunho RIA	44
Vale do rio Sangão – testemunho SAN	45
4.1.2. Granulometria	47
Lago Figueirinha – testemunho FIG	47
Vale do Riachinho – testemunho RIA	49
Vale do rio Sangão – testemunho SAN	51
4.1.3. Datação e taxa de sedimentação	54
Lago Figueirinha – testemunho FIG	54
Vale do Riachinho – testemunho RIA	56
Vale do rio Sangão – testemunho SAN	59
4.2. Geoquímica	62
Lago Figueirinha – testemunho FIG	62
Vale do Riachinho – testemunho RIA	63
Vale do rio Sangão – testemunho SAN	65
4.3. Análise de diatomáceas	68
Lago Figueirinha – testemunho FIG	68
Vale do Riachinho – testemunho RIA	70
• <u>Análise fatorial de correspondência</u>	74
• <u>Tentativa de interpretação da AFC</u>	80
• <u>Classificação ascendente hierárquica</u>	82
Vale do rio Sangão – testemunho SAN	87
• <u>Análise fatorial de correspondência</u>	90
• <u>Tentativa de interpretação da AFC</u>	94
• <u>Classificação ascendente hierárquica</u>	97

4.4. Análise palinológica	103
4.4.1. Calibração do ambiente atual em termos de vegetação: levantamento botânico e chuva polínica moderna	103
<u>Levantamento botânico</u>	103
<u>Chuva polínica moderna</u>	109
4.4.2. Análise dos testemunhos	113
Lago Figueirinha – testemunho FIG	113
Vale do Riachinho – testemunho RIA	116
Vale do rio Sangão – testemunho SAN	118
4.4.3. Integração dos dados de palinologia: análise de componentes principais e classificação ascendente hierárquica	121
 Capítulo V. Interpretação e discussão	127
<i>Integração dos dados e elaboração de modelo paleoambiental</i>	
Lago Figueirinha – testemunho FIG	127
Vale do Riachinho – testemunho RIA	131
Vale do rio Sangão – testemunho SAN	139
 Conclusões gerais	148
 Referências bibliográficas	152

Índice de Figuras

Capítulo II – Área de estudo

- Figura 2.1. Mapa de sistemas deposicionais do litoral centro-sul catarinense (modificado de Giannini & Santos, 1994). 11
- Figura 2.2. Paleoníveis relativos do mar inferidos a partir de tubos de vermetídeos. Dados compilados da literatura por Angulo & Lessa (1997) e dados obtidos por Angulo et al. (1999). O erro da estimativa do paleonível varia de 0,4 a 0,5 m. **R** = coeficiente de correlação, **SD** = desvio padrão do ajuste, **N** = número de pontos e **P** = probabilidade de **R** ser zero (Sawakuchi, 2003). 13
- Figura 2.3. Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina (SOS Mata Atlântica, 2005). 15

Capítulo III – Materiais e Métodos

- Figura 3.1. Mapa com a localização dos pontos de coleta dos testemunhos. *1. testemunho FIG (Lago Figueirinha), *2. testemunho RIA (vale do Riachinho) e *3. testemunho SAN (vale do rio Sangão). 17
- Figura 3.2. Imagens de satélite da região de Jaguaruna (SC), com indicação das áreas de amostragem. A1. Lagoa Figueirinha: lago residual de um antigo sistema baía-laguna formado atrás da barreira transgressiva durante a máxima inundação holocênica. A2. Vale do Riachinho: vale inciso esculpido sobre o terraço pleistocênico na época de mar baixo do Último Máximo Glacial, afogado e transformado em laguna no máximo transgressivo do Holoceno e em seguida assoreado. 3. Vale do rio Sangão: vale de origem similar ao do Riachinho, esculpido entre o embasamento pré-cenozóico e o terraço marinho pleistocênico. Imagens Google Earth 2008. 18
- Figura 3.3. Coleta de testemunho no vale do Riachinho: (a) motor de popa, (b) mangote, (c) tubo de alumínio. 18
- Figura 3.4. Retirada de testemunho no vale do Riachinho. Detalhe da talha (a) e tripé (b). 19
- Figura 3.5. Separação de alíquotas para as diferentes análises propostas (palinologia, diatomáceas, datação e sedimentologia). 21
- Figura 3.6. Classificação de soluções naturais segundo o parâmetro salinidade e distribuição relacionada dos organismos. É apresentado o sistema de nomenclatura usado neste trabalho (Gasse *et al.* 1987) em comparação com outros habitualmente encontrados na literatura (Fonte: Gasse *et al.* 1987). 33

Capítulo IV – Resultados obtidos

Análise sedimentológica e datação

- Figura 4.1. Seção colunar esquemática elaborada a partir das descrições do testemunho coletado na turfeira próxima ao Lago Figueirinha – testemunho FIG: (a) laminação plano-paralela da base do testemunho, (b) sinais de bioturbação nos sedimentos e (c) turfa com matriz argilosa no intervalo superior do testemunho. 44
- Figura 4.2. Seção colunar esquemática elaborada a partir das descrições do testemunho coletado no vale do Riachinho – testemunho RIA: (a) conchas de *Anomalocardia brasiliiana*, (b) contato irregular entre as duas fácies descritas no testemunho. 45
- Figura 4.3. Seção colunar esquemática elaborada a partir das descrições do testemunho coletado no vale do rio Sangão – testemunho SAN: (a) fragmentos centimétricos de madeira, (b) detalhe de um fragmento de madeira com 5 cm de espessura. 46

Figura 4.4. Variação dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica ao longo do testemunho FIG (parâmetros calculados com teor de pelíticos incluso).	47
Figura 4.5. Distribuição de frequência das diferentes classes granulométricas no testemunho FIG.	48
Figura 4.6. Variação dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica ao longo do testemunho RIA (parâmetros calculados com teor de pelíticos incluso).	49
Figura 4.7. Distribuição de frequências das diferentes classes granulométricas no testemunho RIA.	50
Figura 4.8. Variação dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica ao longo do testemunho SAN (parâmetros calculados com teor de pelíticos incluso).	51
Figura 4.9. (a) Distribuição de frequência das diferentes classes granulométricas no testemunho SAN e (b) variação dos parâmetros granulométricos calculada para a fração areia.	53
Figura 4.10. Idades ^{14}C calibradas e taxas de sedimentação em função da profundidade no testemunho FIG. As datações destacadas em cinza no quadro foram excluídas dos cálculos de taxa de sedimentação, uma vez que considerou-se apenas as idades mínima e máxima por intervalo.	55
Figura 4.11. Idades ^{14}C calibradas e taxas de sedimentação em função da profundidade no testemunho RIA. As idades destacadas em cinza no quadro foram excluídas dos cálculos de taxa de sedimentação, uma vez que considerou-se apenas as idades mínima e máxima por intervalo e não foram utilizadas as idades obtidas em conchas para a elaboração do modelo de idades.	58
Figura 4.12. Idades ^{14}C calibradas e taxas de sedimentação em função da profundidade no testemunho SAN. As idades destacadas em cinza no quadro foram excluídas dos cálculos de taxa de sedimentação, uma vez que considerou-se apenas as idades mínima e máxima por intervalo.	61
Geoquímica	
Figura 4.13. Teores de C_{org} (%), $\delta^{13}\text{C}$ (‰), N_{total} (%), $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e C/N ao longo do testemunho FIG.	62
Figura 4.14. Gráficos de dispersão entre C_{org} e N_{total} (a) e $\delta^{13}\text{C}$ vs. C/N (b) para o testemunho FIG. A reta e a função no gráfico (a) representam resultados de análise de regressão linear. Os diferentes campos no gráfico (b) correspondem a possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos (modificado de Sifeddine <i>et al.</i> , 2004).	63
Figura 4.15. Teores de C_{org} (%), $\delta^{13}\text{C}$ (‰), N_{total} (%), $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e C/N ao longo do testemunho RIA.	64
Figura 4.16. Gráficos de dispersão entre C_{org} e N_{total} (a) e $\delta^{13}\text{C}$ vs. C/N (b) para o testemunho RIA. A reta e a função no gráfico (a) representam resultados de análise de regressão linear. Os diferentes campos no gráfico (b) correspondem a possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos (modificado de Sifeddine <i>et al.</i> , 2004).	65
Figura 4.17. Teores de C_{org} (%), $\delta^{13}\text{C}$ (‰), N_{total} (%), $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e C/N ao longo do testemunho SAN. As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido	66

Figura 4.18. Gráficos de dispersão entre C_{org} e N_{total} (a) e $\delta^{13}C$ vs. C/N (b) para o testemunho SAN. A reta e a função no gráfico (a) representam resultados de análise de regressão linear. Os diferentes campos no gráfico (b) correspondem a possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos (modificado de Sifeddine *et al.*, 2004). 67

Análise de diatomáceas

Lago Figueirinha – testemunho FIG

Figura 4.19. Resultados obtidos da análise de diatomáceas do testemunho FIG: (a) diagramas de porcentagem das espécies dominantes, variação na concentração de diatomáceas nos sedimentos (nºvalvas / grama de sedimento seco), número de espécies por amostra e (b) diagrama de agrupamento ecológico das espécies segundo o pH. 69

Vale do Riachinho – testemunho RIA

Figura 4.20. Diagramas de porcentagem das espécies de diatomáceas dominantes encontradas no testemunho RIA. 72

Figura 4.21. Variação, em função da profundidade, na concentração de diatomáceas nos sedimentos (nº valvas / grama de sedimento seco), número de espécies encontradas por amostra e diagramas ecológicos de agrupamento das espécies segundo a salinidade e habitat preferencial. 73

Figura 4.22. Plano fatorial 1-2 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho RIA. 76

Figura 4.23. Plano fatorial 2-3 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho RIA. 78

Figura 4.24. Plano fatorial 3-4 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho RIA. 79

Figura 4.25. Diagramas de porcentagem das espécies *Paralia sulcata*, *Cymatosira belgica*, *Cyclotella stelligera*, espécies oligosalinos e marinhas em comparação com a posição das amostras no eixo 1. 81

Figura 4.26. (a) Dendrograma formado pela classificação ascendente hierárquica (CAH) para as amostras do testemunho RIA e (b) quadro com as assembléias de diatomáceas características de cada classe. 83

Figura 4.27. Distribuição das classes hierárquicas em função da profundidade do testemunho RIA e diagramas com a variação das espécies dominantes de cada classe. 84

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

Figura 4.28. Diagramas de porcentagem das espécies de diatomáceas dominantes encontradas no testemunho SAN. 88

Figura 4.29. Variação, em função da profundidade, na concentração de diatomáceas nos sedimentos (nº valvas / grama de sedimento seco), número de espécies encontradas por amostra e diagramas ecológicos de agrupamento das espécies segundo a pH e habitat preferencial. 89

Figura 4.30. Plano fatorial 1-2 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho SAN. 91

Figura 4.31. Plano fatorial 2-3 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho SAN. 93

Figura 4.32. Comparação entre a posição das amostras no eixo 1 e os diagramas de porcentagem de: *Eunotia* aff. *recta*, *Eunotia pectinalis*, espécies acidófilas, espécies alcaliúfilas e concentração de diatomáceas nos sedimentos (nº valvas / g sedimento seco). 95

Figura 4.33. Comparação entre a posição das amostras no eixo 2 e os diagramas de porcentagem de espécies planctônicas/ticoplanctônica e espécies aerófilas. 96

Figura 4.34. (a) Dendrograma formado pela classificação ascendente hierárquica (CAH) para as amostras do testemunho SAN e (b) quadro com as assembléias de diatomáceas características de cada classe. 98

Figura 4.35. Distribuição das classes hierárquicas em função da profundidade do testemunho SAN, diagramas com a variação das espécies dominantes de cada classe e diagrama de concentração de diatomáceas nos sedimentos (nº valvas / grama de sedimento seco) . As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido. 101

Análise palinológica

Figura 4.36. Imagem de satélite da região de Jaguaruna. As áreas destacadas em amarelo representam os locais onde se realizou o levantamento das principais famílias e gêneros botânicos presentes: (I) entorno do lago Figueirinha, (II) vale do Riachinho, (III) várzea da laguna Garopaba do Sul, (IV) mata próxima ao lago Laranjal e (V) vale do rio Sangão (fonte: Google Earth 2008). 106

Figura 4.37. Resultados obtidos da análise palinológica em amostras de sedimentos superficiais, em cinco áreas de cobertura vegetal distinta, ao longo da planície costeira na região de Jaguaruna. (a) Diagramas de porcentagem dos *taxa* polínicos mais representativos e (b) diagramas de agrupamento ecológico. Dados expressos em porcentagem calculada em relação à soma total de pólen (plantas arbóreas, epífitas, lianas, herbáceas e *taxa* indeterminados). A frequência relativa de *taxa* aquáticos e esporos foi também calculada com base nesta soma. 111

Lago Figueirinha – testemunho FIG

Figura 4.38. Resultados obtidos da análise palinológica do testemunho FIG. Diagramas de porcentagem dos tipos polínicos mais representativos ao longo do perfil, diagrama de concentração de pólen nos sedimentos (grãos de pólen / cm³ de sedimento), diagramas de agrupamento ecológico (somatória das porcentagens de árvores, arbustos, epífitas e lianas; herbáceas; *taxa* indeterminados e total de aquáticas). Dados expressos em porcentagem calculada em relação à soma total de pólen (plantas arbóreas, epífitas, lianas, herbáceas e *taxa* indeterminados). A frequência relativa de *taxa* de plantas aquáticas e esporos foi também calculada com base nesta soma. Apresenta-se ainda o diagrama de distribuição dos teores de pelíticos e areia ao longo do perfil. 115

Vale do Riachinho – testemunho RIA

Figura 4.39. Diagramas de porcentagem dos *taxa* mais representativos no registro palinológico do testemunho RIA. Dados expressos em porcentagem calculada em relação a soma total de pólen (plantas arbóreas, epífitas, lianas, herbáceas e *taxa* indeterminados). A frequência relativa de *taxa* de plantas aquáticas e esporos foi também calculada com base nesta soma. 117

Figura 4.40. Resultados obtidos da análise palinológica do testemunho RIA: diagramas de agrupamento ecológico (somatória das porcentagens de árvores, arbustos, epífitas e lianas; herbáceas; *taxa* indeterminados; total de plantas aquáticas e total de esporos) e diagrama de concentração de pólen nos sedimentos (grãos de pólen / cm³ de sedimento). Apresenta-se ainda o diagrama de distribuição dos teores de pelíticos e areia ao longo do perfil. 118

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

Figura 4.41. Diagramas de porcentagem dos *taxa* mais representativos no registro palinológico do testemunho SAN. Dados expressos em porcentagem calculada em relação a soma total de pólen (plantas arbóreas, epífitas, lianas, herbáceas e *taxa* indeterminados). A frequência relativa de *taxa* de plantas aquáticas e esporos foi também calculada com base nesta soma. As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido. 120

Figura 4.42. Resultados obtidos da análise palinológica do testemunho SAN: diagramas de agrupamento ecológico (somatória das porcentagens de árvores, arbustos, epífitas e lianas; herbáceas; *taxa* indeterminados e total de esporos) e diagrama de concentração de pólen nos sedimentos (grãos de pólen / cm³ de sedimento). Apresenta-se ainda o diagrama de distribuição dos teores de pelíticos e areia ao longo do perfil. As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido. 121

Integração dos dados de palinologia

Figura 4.43. Gráfico *biplot* de escores e pesos para as duas primeiras componentes principais. As amostras (escores) são representadas por pontos e os *taxa* (pesos) por vetores. Análise realizada para o conjunto de dados obtido pela análise palinológica. 122

Figura 4.44. Coordenadas das amostras em relação ao principal componente 1 (CP1). 123

Figura 4.45. (a) Dendrograma formado pela classificação ascendente hierárquica para o conjunto de dados da análise palinológica (dados de chuva polínica moderna e dados dos três testemunhos) e (b) quadro com os *taxa* índices de cada classe e respectivas interpretações de cobertura vegetal. 125

Capítulo V. Interpretação e discussão

Integração dos dados e elaboração de modelo paleoambiental

Lago Figueirinha – testemunho FIG

Figura 5.1. Síntese dos resultados obtido para o testemunho FIG. (a) Variação, em função da profundidade, de variáveis sedimentológicas, diatomológicas, palinológicas e geoquímicas. Em (b) são apresentadas as possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos. As setas e círculo em vermelho ressaltam as variações discutidas no texto. 128

Figura 5.2. Variação do nível relativo do mar na costa brasileira durante os 120 000 anos AP segundo dados compilados de Martin *et al.* (1988b), Correa (1996) Angulo & Lessa (1997), Angulo *et al.* (1999). Extraído de Giannini *et al.* (2007). 129

Vale do Riachinho – testemunho RIA

Figura 5.3. Síntese dos resultados obtido para o testemunho RIA. (a) Variação, em função da profundidade, de variáveis sedimentológicas, diatomológicas, palinológicas e geoquímicas. Em (b) são apresentadas as possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos. As setas em vermelho ressaltam as variações discutidas no texto. 133

Figura 5.4. Evolução paleoambiental para o testemunho coletado no vale do Riachinho. (a) Modelo de reconstituição do cenário deposicional na zona costeira (modificado de Reineck & Singh, 1980) e (b) seção esquemática, transversal à paleolinha de costa lagunar, com indicação do empilhamento de fácies observada no testemunho RIA. 134

Figura 5.5. Curvas de variação do $\delta^{18}\text{O}$ registrada na estalagmite BTV4, na caverna Botuverá, em Santa Catarina (Wang *et al.*, 2006). A linha em vermelho representa a média móvel (5 pontos). As barras em cinza destacam os intervalos de tempo onde se observa diminuição de salinidade dentro da laguna (subzonas A2 e A4), no registro do vale do Riachinho. 136

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

Figura 5.6. Síntese dos resultados obtido para o testemunho SAN. (a) Variação, em função da profundidade, de variáveis sedimentológicas, diatomológicas, palinológicas e geoquímicas. Em (b) são apresentadas as possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos. As setas e círculos em vermelho ressaltam as variações discutidas no texto. 141

Figura 5.7. Modelo proposto para a evolução da sedimentação no vale do rio Sangão durante os últimos ca. 3000 anos cal AP (bloco diagrama com indicação dos depósitos desenvolvidos na planície de inundação fluvial, modificado de Allen, 1964). Com base no empilhamento de fácies observada no testemunho SAN, são indicadas no desenho as possíveis posições da coluna sedimentar obtida no vale do rio Sangão (1 e 2). 142

Figura 5.8. Curva de variação do $d^{18}O$ registrada na estalagmite BTV4, na caverna Botuverá, em Santa Catarina (Wang et al., 2006), onde a curva em vermelho representa a média móvel (5 pontos). A barra em cinza destaca o intervalo de tempo onde observa-se, no registro do vale do rio Sangão, redução na concentração de pólen nos sedimentos e mudança nos taxa índice da assembléia palinológica na subzona C4. 146

Índice de Tabelas

Capítulo IV – Resultados obtidos

Análise sedimentológica e datação

Tabela 4.1. Idades ^{14}C convencionais e calibradas obtidas para o testemunho FIG.	54
Tabela 4.2. Idades ^{14}C convencionais e calibradas obtidas para o testemunho RIA.	56
Tabela 4.3. Idades ^{14}C convencionais e calibradas obtidas para o testemunho SAN.	59

Análise de diatomáceas

Vale do Riachinho – testemunho RIA

Tabela 4.4. Valor próprio, porcentagem de inércia e inércia acumulada para os dez primeiros eixos fatoriais obtidos pela AFC para o testemunho RIA.	74
Tabela 4.5. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem os grupos I e II (eixo fatorial 1).	75
Tabela 4.6. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo III (eixo fatorial 2).	77
Tabela 4.7. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo IV e V (eixo fatorial 3).	77
Tabela 4.8. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo IVa e IVb (eixo fatorial 4).	80

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

Tabela 4.9. Valor próprio, porcentagem de inércia e inércia acumulada para os dez primeiros eixos fatoriais obtidos pela AFC para o testemunho SAN.	90
Tabela 4.10. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo I (eixo fatorial 1).	90
Tabela 4.11. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo II (eixo fatorial 1).	92
Tabela 4.12. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo III (eixo fatorial 2).	92
Tabela 4.13. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo III (eixo fatorial 2).	94

Análise palinológica

Tabela 4.14. Caracterização das áreas de coleta de sedimentos superficiais e colchão de briófitas para análise da chuva polínica moderna.	109
Tabela 4.15. Valor próprio, porcentagem de variância e variância acumulada para os dez primeiros componentes obtidos pela ACP para os dados da análise palinológica.	122

Introdução

Dentre os diversos estudos de reconstituição paleoambiental (vegetação e clima) baseados na análise do conteúdo palinológico preservado em sedimentos no Quaternário do Brasil, ainda são raros aqueles que apresentam a integração da palinologia a outros tipos de dados micropaleontológicos e sedimentológicos. Em contraposição, cada vez mais se observa a necessidade de estudos com multi-indicadores (biológicos, químicos e sedimentológicos) para interpretações mais consistentes do registro sedimentar.

Os apelos crescentes da sociedade em busca da compreensão dos mecanismos que controlam o clima fez com que os estudos paleoclimáticos ganhassem grande espaço na comunidade científica, em todo o mundo, uma vez que, para a elaboração e aprimoramento dos modelos climáticos globais, utilizam-se dados de variações climáticas passadas tanto em tempo histórico como em tempo geológico.

No entanto, grande parte das interpretações paleoclimáticas baseadas em biodindicadores não tem dado a devida importância à dinâmica sedimentar local, que pode determinar a distribuição, preservação e interpretação do registro micropaleontológico nas dimensões de espaço e tempo. Em estudos realizados em contextos costeiros, este problema é ainda mais sério, por se tratar de áreas de sedimentação extremamente dinâmicas em que interage um complexo mosaico de processos ou sistemas deposicionais posicionados lado a lado. Surgimento e desaparecimento de ecossistemas costeiros podem ocorrer devido a mudanças na dinâmica sedimentar local, associadas ou não a variações no clima e no nível relativo do mar. Desta forma, interpretações paleoclimáticas em sistemas costeiros devem ser feitas com muita cautela, e embasar-se, para isso, em um leque de indicadores capaz de assegurar a melhor compreensão do registro deposicional. É voltado à esta problemática que esta Tese de Doutorado se propõe.

Metas e objetivos

A meta mais geral desta Tese é traçar a evolução, no Holoceno, de ecossistemas costeiros na região de Jaguaruna (litoral centro-sul catarinense), a partir de estudos de dinâmica sedimentar e de micropaleontologia. Pretende-se avaliar também como a variação do nível relativo do mar (NRM) e do aporte sedimentar durante esse intervalo de tempo afetaram a distribuição destes ecossistemas na região.

Para atingir as metas do trabalho, propõe-se uma lista de três tarefas principais:

- analisar o conteúdo micropaleontológico (grãos de pólen, esporos e diatomáceas) e sedimentar de três testemunhos rasos (2,5 metros de profundidade);

- caracterizar a mudança vertical das variáveis sedimentológicas, geoquímicas e micropaleontológicas nestes testemunhos, de modo a traçar a evolução do sistema lagunar na área, durante o Holoceno, e discutir seus possíveis significados em termos de paleogeografia e paleoclima;
- verificar a influência da dinâmica sedimentar no estabelecimento dos ecossistemas costeiros (continentais e aquáticos) e de que modo esta dinâmica pode interferir na preservação e interpretação de dados micropaleontológicos.

Capítulo I – Síntese bibliográfica

1.1. Clima atual

O regime climático depende da interação entre fatores dinâmicos, representados pela migração de massas de ar, e estáticos, com destaque para o relevo (Nimer 1989, Tomazelli 1990). As massas de ar atuantes na faixa oriental brasileira provêm de centros de alta pressão, posicionados predominantemente sobre áreas oceânicas, aos quais se associa circulação divergente em célula anti-horária ou anticiclone (Giannini *et al.*, 2004, 2005). Ao atingirem o continente, podem ser influenciadas pelo relevo de dois modos. O primeiro tipo de influência, importante em escala regional, materializa-se no efeito de condensação na presença de encostas abruptas, com formação de chuvas orográficas. Este fenômeno é bem caracterizado ao longo das escarpas das serras do Mar e Geral, nas regiões Sudeste e Sul do país. A pequena distância entre a escarpa da serra do Mar e a linha de costa contribui para a concentração dos maiores índices pluviométricos do território brasileiro entre a costa sul-fluminense e a norte catarinense. A segunda influência do relevo, mais evidente em escala local, é a deflexão das massas de ar em movimento por feições topográficas marcantes.

A Região Sul-Sudeste é influenciada por duas massas de ar principais: a Tropical Atlântica e a Polar. A primeira forma-se nas áreas marítimas aquecidas do Atlântico Sul, de onde atinge a fachada litorânea leste-nordeste do Brasil, sobretudo no primeiro semestre do ano, produzindo instabilidades e ação de alísios de E (Giannini *et al.*, 2005). A segunda consiste de massas de ar frio procedentes do Anticiclone Polar, o qual se desloca para norte com trajetória predominantemente marítima no verão e continental no inverno (Orselli, 1986; Martin *et al.*, 1988, 1997). A separação transicional entre as áreas de influência das massas de ar Equatorial e Tropical, ao norte, e Polar e Tropical, ao sul, define uma faixa semi-permanente NW-SE de condensação e nebulosidade, que intercepta a costa na Região Sudeste (Satyamurti *et al.*, 1998). Esta faixa, relacionada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), define aproximadamente o máximo alcance das frentes frias, zonas de baixa pressão e instabilidade formadas no encontro das massas Polar e Tropical Atlântica. Devido à trajetória oceânica da massa polar, a faixa de nebulosidade é mais atuante no verão, quando passa a separar duas zonas de pluviosidades contrastadas: chuvosa a sul e seca a norte (Nogués-Paegle & Mo, 1997). A distribuição de chuvas ao longo do ano também é afetada pela posição da faixa de nebulosidade, resultando mais uniforme (menos sazonal) a sul que a norte (Nimer, 1989). Somada ao efeito das precipitações orográficas da serra do Mar, determina a zona de verão mais ameno da costa sul-sudeste do país, entre as

latitudes de Joinville, SC, e São Sebastião, SP. Esta zona coincide grosso modo com a área de maior expansão ao interior do domínio da Floresta Atlântica.

1.2. Paleoclima e paleovegetação

Interpretações sobre mudanças paleoclimáticas do Quaternário superior no território brasileiro provêm de reconstituição paleovegetacional baseada em quatro tipos principais de dados: 1. palinologia de sedimentos lacustres e lagunares, incluindo turfeiras (De Oliveira, 1992; Ferraz-Vicentini, 1993; Ledru, 1993; Roth & Lorscheitter, 1993; Behling, 1995, 1997a, 1997b; Lorscheitter & Mattozo, 1995; Neves & Lorscheitter, 1995; Colinvaux *et al.*, 1996; Ledru *et al.*, 1996, 1998, 2001; Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; De Oliveira *et al.*, 1999; Barberi *et al.*, 2000; Melo *et al.*, 2003); 2. isótopos de carbono contidos na matéria orgânica do solo ou sedimento (Desjardins *et al.*, 1996; Pessenda *et al.*, 1996a, 1996b, 1998a, 1998b, 1998c, 2001b; Freitas *et al.*, 2001; Scheel-Ybert *et al.*, 2003; Ybert *et al.*, 2003) ou em fragmentos de carvão (Sanford *et al.*, 1985; Desjardins *et al.*, 1996; Pessenda *et al.*, 1996a; Gouveia *et al.*, 1999); 3. antracologia (Schell-Ybert *et al.*, 2003); e 4. registros isotópicos, geoquímicos e de taxa de crescimento em espeleotemas (Cruz, 2003; Cruz *et al.*, 2005, 2006, 2007; Auler *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2004, 2006). A Floresta Atlântica, principalmente em sua faixa mais oriental, tem sido raramente contemplada nesses estudos (Neves & Lorscheitter, 1995; Behling & Negrelle, 2001; Ledru *et al.*, 2001; Pessenda *et al.*, 2001b; Ybert *et al.*, 2003; Cruz, 2003).

Da compilação dos dados disponíveis, e baseando-se também em trabalhos de síntese sobre paleovegetação e paleoclima no Quaternário tardio do Brasil, os capítulos mais consensuais sobre a história da vegetação no território brasileiro podem ser assim enumerados: 1. predomínio de temperaturas mais baixas que o atual durante o Último Máximo Glacial; 2. oscilações abruptas e acentuadas durante o Tardiglacial, aproximadamente entre 17000 e 11000 anos AP, intervalo caracterizado também por aumento (Ledru *et al.*, 2002) ou manutenção da umidade; 3. elevação da pluviosidade efetiva no Holoceno, evidenciada por expansão da floresta, com suspeitas de episódio mais seco no meio do período, principalmente dentro do intervalo entre 8000 e 3000 anos AP (Sifeddine *et al.*, 1994a, 1994b; Ledru *et al.*, 1996, 2001; Barreto, 1996; Gouveia *et al.*, 1997; Pessenda *et al.*, 1998a, 1998b, 1998c, 2001a,b; De Oliveira *et al.*, 1999; Freitas *et al.*, 2001). No campo das controvérsias, cabe destacar a existência de duas correntes opostas de interpretação para as condições de umidade durante o Último Máximo Glacial: mais úmidas, segundo alguns (Colinvaux *et al.*, 1966, 1999; De Oliveira, 1992; Colinvaux, 1993; Haberle, 1997; Colinvaux *et al.*, 1999, 2000; Barberi, 2001; Bush *et al.*, 2001; Auler *et al.*, 2004, Cruz

et al. 2007), versus mais secas, segundo outros (Ledru *et al.*, 1998; Salgado-Laboriau *et al.*, 1998; Behling, 1998, 2002; Behling & Negrelle, 2001).

Ainda que a falta de precisão geocronológica dos dados dificulte sua correlação ao largo de todo território brasileiro, os três capítulos consensuais maiores coincidem e podem ser explicados no âmbito de mudanças climáticas globais reconhecidas principalmente através da comparação entre dados de foraminíferos planctônicos dos sedimentos de fundo oceânico e testemunhos de gelo (McIntire & Molino, 1997; Arz *et al.*, 1998, 1999; Flenley, 1998; Cruz *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006). Por outro lado, cabe destacar que, à medida que se refina a análise da história paleovegetacional, a resposta a mudanças paleoclimáticas globais pode variar de região para região do país, na dependência da posição relativa de elementos climáticos como as zonas de convergência Intertropical (ZCI) e do Atlântico Sul (ZCAS). Exemplo disso é que a umidificação do clima a partir de aproximadamente 4000-3000 anos AP na costa norte do Brasil (Ledru *et al.*, 2001; Pessenda *et al.*, 2001b) pode não guardar correspondência estreita a sul da ZCI. Estudos palinológicos apontam para diminuição de umidade a partir de 5000 a 4000 anos AP no noroeste da Bahia (Barreto, 1996; De Oliveira *et al.* 1999).

A síntese de estudos palinológicos realizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentada por Behling (1998, 2002) indica que, de maneira geral, os registros polínicos permitem interpretar aumento da umidade efetiva a partir do Holoceno médio-tardio, sendo os últimos 1000 anos AP caracterizados por um clima muito úmido, sem períodos de seca significativos. Por outro lado, os resultados apresentados por Salgado-Laboriau *et al.* (1998) de registros palinológicos na região central do Brasil indicam que condições mais úmidas que o presente, sugeridas pela expansão da floresta tropical em vários locais do Brasil central, devem ocorrer entre ca. 7000 e 5000 anos AP. Entre 4600 anos AP e o presente, os registros palinológicos indicariam predomínio de vegetação de cerrado, caracterizada por um clima semi-úmido, com pronunciada estação seca, sem registro de mudanças climáticas significativas.

Os dados apresentados por Cruz *et al.* (2007), a partir da análise da razão de elementos traço (Sr/Ca e Mg/Ca) obtidas em espeleotemas de São Paulo e Santa Catarina, indicam que, no período pós-glacial (pós UMG) há uma redução na precipitação, com condições mais secas até a metade do Holoceno (entre 6000 e 5000 anos AP), quando os valores de Sr/Ca e Mg/Ca diminuem, o que apontaria para aumento na quantidade das chuvas. Outra queda de valores mais acentuada é observada em torno de 3000 anos AP, novamente indicando aumento na quantidade de chuva na região. A curva de variação de $\delta^{18}\text{O}$ para os mesmos espeleotemas (Cruz *et al.*, 2006) apresenta valores isotópicos mais empobrecidos a partir de 10000 anos AP, o que indicaria maior frequência e intensidade das chuvas de verão ligadas às Monções da América do Sul.

Resultados de medidas isotópicas de oxigênio em foraminíferos planctônicos, referentes a testemunhos na margem continental do Rio de Janeiro (Arz *et al.* 1999), evidenciam que os picos negativos de $\delta^{18}\text{O}$ durante 35000 anos de registro encontram-se entre 6000 anos AP (*Globorotalia ruber*) e 3000 anos AP (*Globorotalia saculliver*). Conforme Arz *et al.* (1998), reduções de $\delta^{18}\text{O}$ em testas de organismos planctônicos podem ser atribuídas a dois fatores: o primeiro, de caráter local a regional, é o aumento na temperatura e a queda da salinidade da água superficial, ligados a incremento no aporte de água doce do continente; o segundo, de caráter global, é a queda no volume de gelo. Os picos negativos de $\delta^{18}\text{O}$ podem assim ser correlacionados a picos de aporte fluvial e pluviosidade. Ambos os fatores podem estar ligados, de diferentes modos, a aumentos de umidade a partir de 6000 anos AP, o que parece concordar com os dados de Sr/Ca e Mg/Ca em espeleotemas de Cruz *et al.* (2007).

Os resultados de $\delta^{18}\text{O}$ de carapaças aragoníticas de vermetídeos (*Petalconchus*) utilizados por Angulo *et al.* (1999) como indicadores de paleonível do mar na região entre Imbituba e Laguna, costa centro-sul de Santa Catarina, são dados particularmente interessantes uma vez que este gênero de gastrópodos se encontra atualmente “extinto” a sul de Cabo Frio (RJ), devido supostamente a sua inadaptação a águas frias (Laborel, 1979, 1986). Espera-se, portanto, encontrar a partir de algum momento do Holoceno o padrão de $\delta^{18}\text{O}$ crescente correspondente ao declínio de temperatura das águas necessário para explicar esta extinção. Os dados de fato confirmam esta expectativa, com duas particularidades: em primeiro lugar, os vermetídeos viveram na região pelo menos até 160 anos AP (idade não calibrada), indício de que o patamar de resfriamento das águas, suficiente para sua extinção, só foi atingido em tempo histórico; em segundo lugar, a tendência de $\delta^{18}\text{O}$ crescente com a redução de idade abarca todo o intervalo de tempo amostrado, de 5400 a 160 anos AP (Giannini, 2007; Fornari *et al.*, 2008). Porém, se interpretada em termos globais, esta tendência implicaria resfriamento das águas na zona costeira devido ao aumento do volume de gelo no período. Parece possível, portanto, que maior parte do aumento gradual de $\delta^{18}\text{O}$ deva-se ao fator local a regional, que poderia estar ligado a redução do aporte de água doce e relativamente quente, empobrecida em $\delta^{18}\text{O}$ e, por extensão, queda de pluviosidade e umidade na zona continental adjacente. Desse modo, os resultados de Angulo *et al.* (1999) constituiriam indício adicional de que a provável diminuição de umidade no Nordeste e Sudeste do Brasil, nos últimos 5000 anos, estendeu-se para sul pelo menos até a costa centro-sul de Santa Catarina. Esta interpretação mostraria, no entanto, padrão inverso ao indicado por outros registros paleoclimáticos estudados na região Sul (Cruz *et al.*, 2007; Behling *et al.*, 1998, 2002). Ao que tudo indica, os valores $\delta^{18}\text{O}$ nos vermetídeos não devem guardar correspondência direta e obrigatória com

a pluviosidade e sim ser controlado por mudanças nos padrões das correntes oceânicas que influenciam a região. A discussão adequada de hipóteses deste tipo requer, entretanto, o adensamento e a integração de informações de palinologia, sedimentologia e isótopos estáveis no Holoceno do Sul-Sudeste do Brasil. É neste contexto que se insere esta pesquisa de doutorado.

Capítulo II – Área de estudo

A escolha da região de Jaguaruna, na porção centro-sul do litoral de Santa Catarina, deveu-se a uma convergência de motivações: 1. é uma das áreas costeiras com arcabouço estratigráfico e sedimentologia de depósitos quaternários mais intensamente detalhados em trabalhos anteriores (Martin *et al.*, 1988; Giannini, 1993, 2002; Caruso, 1995; Sawakuchi, 2003; Martinho, 2004), o que permite dispor de excelente controle sobre a distribuição espacial, em superfície, de fácies sedimentares; 2. refere-se a esta área o mais completo conjunto de paleoníveis relativos do mar datados do Holoceno brasileiro, referentes a um mesmo indicador (vermetídeo: *Petaloconchus varians*) (Angulo *et al.*, 1999), o que assegura controle também sobre o padrão de variação do nível relativo do mar (NRM) nos últimos 6 mil anos; 3. contém depósitos superficiais e subsuperficiais de turfa e argila preta, com teores de carbono orgânico total de até 59% (Giannini, 1993) e espessuras até métricas, favoráveis a estudos palinológicos; 4. situa-se imediatamente a sul da última ocorrência de vegetação de mangue no Brasil (Santos & Araújo, 1987), constituindo importante zona de transição florística atual, cuja posição exata, no decorrer do Holoceno, pode ter variado em resposta a mudanças de clima, aporte de água doce e circulação costeira.

2.1. Sedimentação quaternária no litoral centro-sul de Santa Catarina

Os depósitos sedimentares quaternários do litoral centro-sul catarinense entre os municípios de Jaguaruna e Garopaba destacam-se pela sua diversidade faciológica e complexidade de processos deposicionais eólicos, lagunares e marinhos interdependentes (Giannini, 1993, 2002). A associação de fácies costeiras permite a identificação de quatro sistemas deposicionais (Figura 2.1), classificados conforme os critérios de Fischer & McGowen (1967): barra-barreira, planície costeira com cordões litorâneos (*strandplain*), lagunar e eólico (Giannini 1993, 2002; Giannini & Santos, 1994).

O sistema barra-barreira ocorre a sul do município de Laguna e é constituído por sedimentos arenosos holocênicos. Atrás deste sistema, isola-se um complexo de lagunas intercomunicáveis, com cerca de 65 km² (Giannini, 2002). O sistema deposicional planície costeira de cordões é representado por pelo menos duas gerações, uma pleistocênica e outra holocênica. Distingue-se do sistema barra-barreira pela ausência de corpo lagunar contíguo que a ele se relacione geneticamente.

O sistema lagunar holocênico abrange lagunas intercomunicáveis e uma série de lagos residuais de antigos fundos lagunares, os quais integraram complexos de lagunas interligadas durante níveis do mar mais altos que o atual (Giannini, 1993). O sistema lagunar foi formado por dois processos distintos: isolamento parcial do corpo de água por formação

de uma barreira arenosa (sistema barra-barreira) e afogamento de vales de dissecação preexistentes (incisos no sistema planície costeira pleistocênico). Estes dois processos devem ter ocorrido mais ou menos concomitantes, no âmbito da elevação do NRM holocênico cujo máximo foi atingido entre 5100 e 5400 anos AP (Martin *et al.*, 1988, Angulo *et al.*, 1999). Os dois tipos de associações de fácies lagunares relacionados respectivamente a estes processos foram denominados baía-laguna e vale-laguna (Giannini, 2002), este último inclui as fácies de delta interno do rio Tubarão. A comunicação do sistema lagunar com o mar aberto ocorre através de duas desembocaduras: Entrada da Barra e Camacho.

O sistema eólico superpõe-se aos sistemas barra-barreira e planície costeira em maior parte da área. Os campos de dunas apresentam pelo menos quatro gerações ou unidades estratigráficas informais, com idades que variam do Pleistoceno ao atual (Giannini, 1993; Sawakuchi, 2003).

A região guarda ainda importante patrimônio arqueológico, referente à concentração e dimensões dos sambaquis existentes na região, grande parte ainda intacta (Giannini, 1993, 2002), com distribuição geográfica aparentemente relacionada com a extensão das lagunas (Kneip, 2004).

Figura 2.1. Mapa de sistemas deposicionais do litoral centro-sul catarinense (modificado de Giannini & Santos, 1994).

2.2. Nível relativo do mar

A pesar da porção do litoral centro-sul de Santa Catarina apresentar um conjunto de dados de paleoníveis relativos do mar que garantam o controle das variações de NRM nos últimos 6 000 anos (Angulo *et al.*, 1999), é importante ressaltar que ainda existe polêmica e divergência nas interpretações de dados com relação às curvas de NRM (Suguio *et al.*, 2005), mesmo no caso do litoral de Santa Catarina.

No trabalho de Suguio *et al.* (1985) foram apresentadas oito curvas de variação do nível relativo do mar (NRM) para os últimos 7.000 anos em diversos trechos do litoral brasileiro. Para a elaboração destas curvas foram utilizados diversos tipos de indicadores do paleonível marinho (indicadores biológicos, geológicos e pré históricos). Todas as oito curvas apresentam comportamento similar: diferem-se apenas quanto a posição dos picos de nível do mar alto e baixo mas. No que diz respeito ao grau de definição, caracterizado pela quantidade e precisão dos dados disponíveis, estas curvas apresentam diferenças mais significativas (Angulo & Giannini, 1996). De forma geral, Suguio *et al.* (1985) indicam queda de NRM após o máximo transgressivo, cerca de 5.500 anos AP, com paleoníveis do mar entre 3 e 5 m acima do atual, intercaladas com dois eventos de oscilação negativa do nível do mar (o primeiro em 4.000 -3.800 anos AP e segundo em 3.000-2.700 anos AP), com níveis abaixo do atual. A curva com maior número de dados e conseqüentemente melhor definida é a de Salvador (BA). Segundo Angulo & Giannini (1996), parte da configuração das demais curvas foi inferida por analogia à esta, incluindo as curvas apresentadas para a costa sul do país.

Angulo & Giannini (1996), Angulo & Lessa (1997) e Angulo *et al.* (2006) discutem a validade e precisão de alguns dos indicadores de paleoníveis marinhos utilizados em reconstrução de NRM. Segundo os autores, alguns indicadores devem ser utilizados com cautela, pois embora possam fornecer evidências de variações no nível do mar, não permitem precisar estes níveis. A principal crítica diz respeito ao uso de informações procedentes de sambaquis na elaboração das curvas de NRM e ao baixo grau de precisão destes indicadores. Sambaquis costeiros encontram-se muitas vezes situados sobre depósitos paleolagunares, os quais estão sujeitos à compactação. Desta forma, a base atual do sambaqui pode estar em cotas abaixo das originais. Em contraposição ao baixo grau de precisão dado pelos sambaquis, carapaças carbonáticas de ostras e vermetídeos, quando *in situ*, podem conferir melhor definição às curvas de NRM. Vermetídeos são gastrópodes de carapaça carbonática (aragonita) que vivem incrustados em costões rochosos, com pequena variabilidade de posição no perfil vertical do costão rochoso (Angulo & Giannini, 1996), entre os limites de maré mínima e máxima. Devido a estas características, as carapaças destes gastrópodes preservadas nos costões rochosos permitem reconstruir o

NRM com precisão entre 0,1 e 1,0 m, dependendo de características físicas da costa como amplitude de maré e regime de ondas (Laborel, 1986). Além disso, por se tratar de carapaças aragoníticas, podem ser datadas por ^{14}C , fornecendo controle temporal aos paleoníveis marinhos.

Angulo & Giannini (1996), Angulo & Lessa (1997) e Angulo *et al.* (1999, 2006) apresentam dados de variação de NRM para a costa do Paraná e Santa Catarina, a partir da análise de datações ^{14}C em tubos de vermetídeos e o posicionamento destes nos costões rochosos. Todos os dados apontam para um declínio gradual do NRM, sem grandes oscilações, pelo menos nos últimos 5.000 anos, sem evidências dos dois eventos de NRM abaixo do atual apresentados por Suguio *et al.* (1985). Para sumariar os dados de Angulo & Lessa (1997) e Angulo *et al.* (1999), Sawakuchi (2003) elaborou uma figura com todos os dados de NRM baseados em tubos de vermetídeos, onde se pode observar este padrão de queda no NRM (Figura 2.2).

Figura 2.2. Paleoníveis relativos do mar inferidos a partir de tubos de vermetídeos. Dados compilados da literatura por Angulo & Lessa (1997) e dados obtidos por Angulo *et al.* (1999). O erro da estimativa do paleonível varia de 0,4 a 0,5 m. **R** = coeficiente de correlação, **SD** = desvio padrão do ajuste, **N** = número de pontos e **P** = probabilidade de **R** ser zero (Sawakuchi, 2003).

2.3. Clima

O movimento sazonal das massas de ar Tropical Atlântica e Polar influencia o regime de ventos, a taxa de precipitação e a temperatura (Orselli, 1986). Na área deste estudo, o Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (massa de ar quente) predomina nos meses de primavera-verão, atuando na costa com ventos de E a NE. Nos meses de outono-inverno, o Anticiclone Móvel Polar apresenta maior atividade, com predomínio de ventos de S a SW

(Giannini, 1993; Martinho, 2004). De maneira geral, os dias de chuva estão associados com ventos oriundos de quadrantes de sul (Giannini, 1993). O clima da região é descrito como subtropical úmido mesotérmico, sem estação seca (precipitação durante o ano todo, com média mensal superior a 50 mm), com temperatura média de 19°C. A área apresenta alta umidade relativa do ar, com média em torno de 85% (Giannini, 1993) e taxa de precipitação anual dentro da faixa de 1250 a 1400 mm (Martinho, 2004).

2.4. Vegetação

Originalmente, 85% do território catarinense era ocupado por florestas do Domínio Fitogeográfico da Mata Atlântica. Atualmente, Santa Catarina é o terceiro estado brasileiro com maior área de remanescentes de Floresta Atlântica, com 17,46% da área original preservada (Medeiros, 2002). Segundo o mapa fitogeográfico do estado (SOS Mata Atlântica, 2005), a cobertura florestal pode ser aí dividida em: Floresta Ombrófila Densa (ou Floresta Pluvial de Encosta Atlântica), Floresta Ombrófila Mista (ou Floresta de Araucária) e Floresta Estacional Semidecidual (Figura 2.3). Estas formações vegetais podem ser descritas da seguinte maneira:

- Floresta Ombrófila Densa – caracteriza-se pela presença dominante de árvores que ocorrem em ambiente úmido, praticamente sem estação seca, de clima quente e com pouca variação anual. “Ombrófila” vem do grego *ombrós* – chuva, pluvial, mais o sufixo *philo* – amigo, adaptado a; assim Floresta Ombrófila é sinônimo de Floresta Pluvial.
- Floresta Ombrófila Mista - caracterizada pela presença de espécies latifoliadas (com folhas largas), associadas a *Araucaria* e *Podocarpus*, este tipo de formação vegetal é popularmente chamada de Floresta ou Mata de Araucária.
- Floresta Estacional Semidecidual – este tipo de vegetação é condicionado pela dupla estacionalidade climática: uma no verão, com intenso período de chuva, outra no inverno com seca fisiológica provocada pelo frio intenso, com temperaturas médias inferiores a 15°C.

Originalmente, a Floresta Ombrófila Densa, juntamente com seus ecossistemas associados (manguezais e mata de restinga), ocupava 32,9% do território catarinense, a Floresta Ombrófila Mista, 42,5% (constituindo assim a cobertura vegetal predominante do estado), e a Floresta Estacional Semidecidual, 9,6% (Medeiros, 2002). Hoje em dia os remanescentes florestais encontram-se fragmentados devido a especulação imobiliária, agropecuária, expansão das áreas urbanas e exploração madeireira.

Figura 2.3. Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina (SOS Mata Atlântica, 2005).

Dentre todas as formações florestais presentes no estado, a Floresta Ombrófila Mista foi a mais degradada em decorrência da intensa exploração madeireira. Extensas áreas de floresta foram substituídas por pastagem ou ocupadas pelo plantio homogêneo com espécies exóticas (em geral *Pinus elliotis*). A Floresta Ombrófila Mista compõe uma vegetação de ocorrência quase restrita à Região Sul do país. Hoje seus remanescentes não perfazem 5% da sua cobertura original (SOS Mata Atlântica, 2005). Este tipo de vegetação situa-se, em geral, em altitudes superiores a 800 m, podendo ocorrer esporadicamente em locais mais baixos (Sevegnani, 2002). A fisionomia desta floresta é dada pela presença marcante de *Araucaria angustifolia* (pinheiro do Paraná), que em alguns locais corresponde a 40% dos indivíduos arbóreos da formação (Medeiros, 2002). Podem ser citados ainda outros gêneros importantes desta formação vegetal como *Podocarpus*, *Ilex*, *Alchornea*, *Ocotea*, *Dicksonia*, *Alsophila*, entre outros.

Em áreas ocupadas por Floresta Ombrófila Densa e ecossistemas associados (manguezais, restingas), observam-se ainda remanescentes florestais primários ou áreas em estágio avançado de recuperação, principalmente nas regiões onde a topografia é mais acidentada. A serra do Itajaí é considerada uma das áreas de Floresta Ombrófila Densa mais bem preservadas do Estado. A prática da agricultura neste local não é muito intensa e as principais formas de pressão sobre a floresta são a especulação imobiliária e a expansão urbana (Medeiros, 2002). A alta diversidade específica desta floresta pôde ser constatada

por Behling *et al.* (1997) que descreveram a chuva polínica moderna na mata de restinga da reserva de Volta Velha, localizada no extremo norte do estado, próxima a divisa com o Paraná. Os autores estudaram áreas de mata nativa e locais com floresta secundária. Nesta região, a floresta Atlântica nativa compreende 248 espécies agrupadas em 50 famílias. Nos registros polínicos, as famílias com maiores frequências foram: Euphorbiaceae, Anacardiaceae, Myrtaceae, Arecaceae e Melastomataceae.

No litoral norte catarinense, destacam-se áreas bem preservadas de Floresta Ombrófila Densa nas encostas de serra, com alta diversidade biológica, além de locais de manguezais e restingas bem conservados. O termo *restinga* é aqui usado para se referir à vegetação que se desenvolve nas planícies arenosas costeiras, incluindo vegetação de dunas, praias e margens de lagunas (Souza *et al.*, 1992). Segundo o levantamento florístico no Pontal da Daniele (litoral norte da Ilha de Santa Catarina) apresentado por Souza *et al.* (1992), a mata de restinga também se caracteriza por biodiversidade alta, com 145 espécies de plantas vasculares ocorrendo no local de estudo, podendo ser citados os gêneros: *Lithrea*, *Schinus* (Anacardiaceae); *Clusia* (Clusiaceae); *Ficus* (Moraceae); *Psidium*, *Eugenia* (Myrtaceae); *Cordia* (Boraginaceae), *Myrsine* (Myrsinaceae), *Erythroxylum* (Erythroxylaceae); *Tibouchina* (Melastomataceae); *Mimosa*, *Cassia* (Mimosaceae); *Passiflora* (Passifloraceae); *Cyperus* (Cyperaceae); *Spartina* (Poaceae), *Chenopodium* (Chenopodiaceae), entre outros.

Na porção centro sul e sul do litoral catarinense (incluindo a área do estudo aqui proposto), o desmatamento das florestas foi bem mais marcante, observando-se somente alguns fragmentos de vegetação original em uma região altamente antropizada, com extensas áreas destinadas a agricultura, principalmente ao plantio de arroz.

Como subsídio para as interpretações do registro polínico serão utilizados trabalhos de levantamento florístico na vegetação costeira de Santa Catarina, com destaque para os estudos de Reitz (1961), Klein (1969), Bresolin (1979), Schaeffer-Novelli (1987, 1991), Souza *et al.* (1992) e Cordazzo & Seelinger (1995). Pretende-se ainda fazer um levantamento florístico local para a determinação das principais famílias e gêneros presentes hoje na área do estudo. Para isso contaremos com a colaboração de um especialista em botânica nos próximos trabalhos de campo.

Capítulo III – Materiais e métodos

3.1. Atividades de campo

3.1.1. Coleta dos testemunhos

As três áreas específicas escolhidas para testemunhagem rasa em Jaguaruna (Figura 3.1) representam duas fácies sedimentares distintas dentro do sistema lagunar (Giannini, 1993): o lago Figueirinha corresponde à fácies de lago residual dentro da associação de fácies baía-laguna; os vales do Riachinho e do rio Sangão representam respectivamente porções mais externa e interna da fácies de baía lagunar dentro da associação de fácies vale-laguna (Figura 3.2). O lago Figueirinha tem ainda a particularidade de situar-se junto ao extremo sul do sistema barra-barreira (Giannini, 1993; 2002), onde provavelmente a barreira transgressiva holocênica se ancorou na pleistocênica.

Figura 3.1. Mapa com a localização dos pontos de coleta dos testemunhos. *1. testemunho FIG (Lago Figueirinha), *2. testemunho RIA (vale do Riachinho) e *3. testemunho SAN (vale do rio Sangão).

Figura 3.2. Imagens de satélite da região de Jaguaruna (SC), com indicação das áreas de amostragem. A1. Lagoa Figueirinha: lago residual de um antigo sistema baía-laguna formado atrás da barreira transgressiva durante a máxima inundação holocênica. A2. Vale do Riachinho: vale inciso esculpido sobre o terraço pleistocênico na época de mar baixo do Último Máximo Glacial, afogado e transformado em laguna no máximo transgressivo do Holoceno e em seguida assoreado. 3. Vale do rio Sangão: vale de origem similar ao do Riachinho, esculpido entre o embasamento pré-cenozóico e o terraço marinho pleistocênico. Imagens Google Earth 2008.

Os sedimentos orgânicos argilosos e coesivos encontrados nestas três áreas foram amostrados com vibro-testemunhador cedido pelo Laboratório de Radionuclídeos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP, campus Piracicaba), coordenado pelo Prof. Dr. Luiz C.R. Pessenda. Neste método de coleta, descrito em Martin *et al.* (1995), utilizaram-se tubos de alumínio, com 10 cm de diâmetro, que penetraram o depósito sedimentar através de vibração produzida por motor de popa (Figura 3.3). Com o auxílio de talha e tripé, o tubo preenchido foi em seguida retirado sem perda do padrão estratigráfico (Figura 3.4). Os tubos coletores foram então vedados com tampas de PVC e transportados para o laboratório, onde se mantiveram refrigerados até sua abertura para subamostragem. A profundidade atingida através desta técnica girou invariavelmente em torno de 2,5m.

Figura 3.3. Coleta de testemunho no vale do Riachinho: (a) motor de popa, (b) mangote, (c) tubo de alumínio.

Figura 3.4. Retirada de testemunho no vale do Riachinho. Detalhe da talha (a) e tripé (b).

Em cada uma das áreas amostradas, coletaram-se dois testemunhos, um ao lado do outro, não excedendo distância de 0,5 m entre eles. Optou-se pela coleta de dois furos para que um deles pudesse servir como réplica ou arquivo da coluna analisada. Para o desenvolvimento do trabalho, foi selecionado, de cada par de testemunhos por local amostrado, aquele que alcançava maior profundidade. Os testemunhos separados para arquivo permanecem fechados e encontram-se armazenados no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da USP.

3.1.2. Coleta de chuva polínica moderna

A base de interpretação de um registro palinológico que visa à reconstituição de mudanças paleoambientais (climáticas e/ou de dinâmica vegetacional) deve ser feita a partir da calibração atual da área a ser estudada. Isto significa que antes de começar qualquer estudo de reconstituição, deve-se conhecer quais são os fatores que influem na dinâmica atual do local de estudo, como por exemplo, os tipos de vegetação presentes e o clima da região (duração da estação seca, temperaturas médias invernais etc). As informações sobre a deposição atual de grãos de pólen e esporos em determinada região (chuva polínica moderna) também são essenciais para interpretar mudanças na flora pretérita e realizar reconstruções paleoecológicas (Anupama *et al.*, 2000). Permitem definir o quanto o sinal deixado pelos palinomorfos nos sedimentos corresponde à vegetação do entorno.

Estudos de chuva polínica moderna devem levar em conta a estratégia de polinização das principais espécies de plantas da área. A quantidade de pólen produzida é geralmente inversamente proporcional à probabilidade de sucesso de fertilização. As plantas

que têm insetos ou animais como agente de dispersão polínica produzem quantidades menores de grãos de pólen se comparadas às espécies em que estes são dispersos pelo vento. Devido a estes fatores, a acumulação de pólen nos sedimentos é geralmente dominada por tipos polínicos de espécies que possuem o vento com agente de dispersão (Bradley, 1999). Resultados de estudos de chuva polínica moderna devem ser aliados a informações de levantamento botânico para se obter maior rigor na calibração atual da vegetação, a qual servirá como base de interpretação para o registro fóssil.

Cada tipo de vegetação possui elementos chave (*taxa* índices) que podem caracterizar a cobertura vegetal em questão. A análise da chuva polínica moderna serve para identificar estes *taxa* índices e, a partir da definição de uma associação deles, avaliar os parâmetros climáticos (duração da estação seca, temperaturas médias no inverno etc) responsáveis para a manutenção deste tipo de cobertura vegetal. A finalidade é usar a relação *taxas* índices versus parâmetros climáticos como modelo análogo, ou padrão, para inferências paleoambientais.

Para a coleta da chuva polínica moderna, foi utilizado o método descrito por Colinvaux *et al.* (1999), que consiste na coleta aleatória de pequenas quantidades de solo e/ou sedimentos em uma área de aproximadamente 100 km², dentro das diferentes formações vegetais presentes na região. A coleta de material ao acaso em área significativa é feita para prevenir super-representação de determinados *taxa*, de modo a evitar assim tendenciosidade de resultados. A coleta de amostras para análise da chuva polínica no presente caso foi dificultada pelo fato de se tratar de contexto costeiro em que os sedimentos superficiais são muitas vezes arenosos, o que desfavorece o armazenamento e a preservação dos grãos de pólen. Desta forma, optou-se pela coleta adicional, quando possível, de colchões de briófitas, considerados coletores naturais de chuva polínica moderna.

3.1.3. Levantamento botânico

Como subsídio para as interpretações do registro polínico, foi feito o levantamento botânico preliminar para a determinação das principais famílias e gêneros vegetais presentes hoje na área do estudo. Para isso, contou-se com a colaboração, no campo, do botânico Dr. Ricardo José Francischetti Garcia, do Herbário Municipal de São Paulo. Procurou-se amostrar e descrever os principais tipos de associações vegetais presentes na região, com destaque para a vegetação próxima dos locais de coleta dos testemunhos e áreas de vegetação nativa ou pouco antropizada. Neste trabalho, realizou-se a observação de freqüências de cada família (por estimativa visual, sem utilização de métodos quantitativos) e por hábito de vida (arbórea, herbácea, liana etc). O material coletado

encontra-se catalogado e armazenado no acervo do Herbário Municipal de São Paulo. Em paralelo, utilizaram-se também, como base de dados para as interpretações palinológicas, trabalhos de levantamento florístico já publicados sobre a vegetação costeira de Santa Catarina, com destaque para os estudos de Reitz (1961), Klein (1969), Bresolin (1979), Schaeffer-Novelli (1987, 1991), Souza *et al.* (1992), Cordazzo & Seelinger (1995) e Ferreira (2006).

3.2. Atividades de laboratório

3.2.1. Abertura dos testemunhos

A abertura dos testemunhos foi feita por corte longitudinal, executado em laboratório fechado a fim de evitar contaminação exterior. Uma vez serrados os testemunhos, as mudanças sedimentológicas foram descritas e registradas com câmara fotográfica digital. A subamostragem dos testemunhos foi feita em intervalos verticais de 5 cm ao longo de todo o testemunho, com separação de alíquotas para análise sedimentológica, palinológica, de diatomáceas e datações (Figura 3.5). A amostra destinada à sedimentologia foi subdividida em três: alíquota para a realização dos ensaios de granulometria (pipetagem e peneiramento), alíquota para ensaio de dosagem de matéria orgânica e alíquota para arquivo (caso algum ensaio necessitasse repetição).

Amostragem:

1. 2 cm³ a cada 5 cm para palinologia;
2. 2 cm³ a cada 5 cm para diatomáceas;
3. 2 cm³ a cada 5 cm para datação AMS;
4. intervalo de 5 cm para sedimentologia

Figura 3.5. Separação de alíquotas para as diferentes análises propostas (palinologia, diatomáceas, datação e sedimentologia).

3.2.2. Datação ^{14}C e taxa de sedimentação

As alíquotas para datação foram retiradas do testemunho e acondicionadas em papel alumínio. Para prevenir possíveis problemas de contaminação e rejuvenescimento pelo carbono presente na pele, esta operação foi feita sem contato direto com a amostra, com o auxílio de coletores metálicos e luvas de látex. O material, já no papel alumínio, foi vedado, embalado em envelopes plásticos e congelado até o momento de envio ao laboratório de datação.

Foram selecionadas 35 amostras para datação ^{14}C por AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*), método que utiliza equipamento de espectrometria de massa acoplado a acelerador de partículas e possibilita assim datar amostras com miligramas de carbono. As amostras foram enviadas ao Laboratório *Beta Analytic Inc* (Miami, Florida, Estados Unidos). O apoio financeiro para realização destas datações foi obtido através do projeto temático FAPESP 04/11038-0, coordenado pelo Prof. Dr Paulo de Blasis (MAE-USP) e do Projeto de Auxílio à Pesquisa FAPESP 05/51034-6, coordenado pelo Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini.

Os resultados apresentados em idades ^{14}C convencionais encontram-se em anos antes do presente (AP), sendo presente o ano de 1950. As amostras datadas em 5 cm de profundidade no testemunho FIG e no testemunho SAN não são apresentadas em anos AP como as demais: a unidade utilizada para estas amostras é “pMC” (porcentagem de carbono moderno). As amostras apresentam resultados em pMC quando o material analisado tem mais ^{14}C que o padrão de referência moderno, devido à fonte extra de ^{14}C introduzido na atmosfera como resultado dos testes nucleares. Desta maneira, estas amostras são consideradas “recentes”, isto é, pós-1950.

As taxas de sedimentação foram calculadas para cada trecho do testemunho compreendido entre dois níveis datados. Para este cálculo, fez-se a divisão entre a espessura do trecho e o intervalo de tempo correspondente, obtido pela diferença entre as idades calibradas de base e do topo do trecho em questão. As taxas de sedimentação encontram-se expressas em mm/ano. Para os níveis que apresentam dois intervalos de idades calibradas, o cálculo foi feito com a maior e a menor idade encontrada.

3.2.3. Micropaleontologia

3.2.3.1 – Palinologia

Inicialmente o termo **palinologia** foi utilizado para designar o estudo morfológico de grãos de pólen e esporos, suas aplicações e métodos de dispersão (Hyde e Williams 1944 *apud* Salgado Laboriau, 1973). Atualmente, o conceito de palinologia é mais amplo e engloba o estudo da toda a matéria orgânica microscópica que resiste à dissolução por HF e HCl dos componentes inorgânicos de uma rocha ou sedimento. Desta forma, os palinomorfos podem ser de origem animal, vegetal ou protista. Os palinomorfos compreendem: grãos de pólen e esporos, restos vegetais (cutículas, tecidos lenhosos, micropartículas de carvão etc), dinoflagelados, acritarcas, quitinozoários, escolecodontes, foraminíferos quitinosos, entre outros.

Os palinomorfos são geralmente encontrados em abundância nos sedimentos, uma vez que são compostos por material extremamente resistente (esporopolenina, quitina) e possuem pequenas dimensões. O grande número de palinomorfos encontrados em rochas sedimentares e em sedimentos inconsolidados possibilita o tratamento estatístico dos dados.

Dentre os palinomorfos mais utilizados para reconstruções paleoambientais em estudos do Quaternário, estão os grãos de pólen e esporos preservados nos sedimentos. Nestes casos, as reconstituições paleoambientais/paleoclimáticas através da palinologia baseiam-se no fato de que é possível reconhecer família, gênero e, algumas vezes, espécie vegetal, através das características morfológicas dos grãos de pólen, e desta maneira, reconstruir o tipo de cobertura vegetal no tempo de deposição destes palinomorfos (Bradley, 1999). Portanto, variações no registro palinológico preservado em lagos, turfeiras, estuários etc devem refletir mudanças ecológicas locais e/ou regionais da vegetação, que podem ser induzidas, entre outros fatores, por mudanças climáticas, dinâmica sedimentar e ação antrópica.

- Trabalhos de palinologia em áreas costeiras no Brasil

A análise palinológica, como ferramenta para interpretações de mudanças vegetacionais e climáticas ocorridas no Quaternário do Brasil, teve grande desenvolvimento a partir do final da década de 1980. Porém, a grande maioria dos trabalhos de palinologia em território nacional foi feita em áreas continentais (lagos ou turfeiras), sendo o número de trabalhos em região costeira é ainda bastante reduzido (De Oliveira *et al.*, 2005). Dentre os trabalhos realizados em região costeira, uma síntese dos registros coletados em

manguezais pode ser obtida em Amaral (2003).

Luz *et al.* (1999), em estudo palinológico de sedimentos lagunares e lacustres na costa norte do Estado do Rio de Janeiro (Lagoa de Cima), reconheceram mudanças na vegetação, entre 6.000 e 4.000 anos AP (idades não calibradas), atribuídas, principalmente, a variações nas condições de umidade na região. A substituição de mata úmida e pioneira por vegetação de campo aberto, em torno de 6000 anos AP, indicaria condições de clima mais seco. O retorno da umidade teria sido gradual até aproximadamente 4000 anos AP, quando novas condições de clima seco e quente são registradas.

Bissa (1998) e Ybert *et al.* (2003), em estudo palinológico de uma turfeira localizada na planície costeira de Cananéia-Iguape, litoral sul de São Paulo, interpretam que o clima na área não deve ter sofrido mudanças significativas nos últimos 5000 anos AP (idade calibrada). Porém, estes autores sugerem pelo menos três episódios levemente mais úmidos, entre 3470-2750, ca. 1940 e 1300-675 anos cal AP.

Vidotto (2008) analisou sedimentos coletados em área de manguezal no Parque Estadual da Ilha do Cardoso, litoral sul de São Paulo. De acordo com a autora, a análise palinológica mostrou evidências da colonização de floresta de clima frio e úmido entre 40000 e 19000 anos AP (idades não calibradas). Entre 19000 e 2200 anos AP, descreve-se um hiato deposicional, interpretado como decorrente de possíveis atividades neotectônicas na região. Após 2200 anos AP, não são observados palinomorfos, porém, a avaliação de outros indicadores (diatomáceas e geoquímica) permitiu à autora sugerir que as condições climáticas devem ter sido semelhantes às atuais.

Amaral *et al.* (2006), através da análise palinológica de testemunho coletado no manguezal de Itanhaém, também no litoral sul de São Paulo, concluem que as mudanças ocorridas na vegetação local, nos últimos 1300 anos AP (idades não calibradas), estariam relacionadas à dinâmica sedimentar do estuário. Nenhuma evidência ligada à mudança climática pôde ser identificada.

Behling & Negrelle (2001), a partir da análise palinológica de testemunho coletado na reserva de Volta Velha, extremo norte do litoral de Santa Catarina, puderam avaliar as mudanças na cobertura vegetal ocorridas na área em um registro de 35000 anos (idade não calibrada). Os autores identificaram que durante o Pleistoceno tardio e no Último Máximo Glacial, a área onde hoje se desenvolve a floresta tropical era ocupada por campos e floresta com *taxa* adaptados a clima frio. O período pós-glacial é marcado pelo início da expansão de árvores e arbustos de floresta tropical Atlântica. A composição da floresta Atlântica é relativamente constante no início do Holoceno até ca. 6700 anos AP. Após este período, mudanças florísticas no Holoceno médio e tardio teriam sido propiciadas por aumento progressivo da umidade.

Dentre os estudos palinológicos realizados na planície costeira do Rio Grande do

Sul, como por exemplo, os trabalhos de Cordeiro & Lorscheitter (1994), Neve & Lorscheitter (1995), Meyer *et al.* (2005) e Medeanic (2006), a maior parte das interpretações de mudanças climáticas e de nível relativo do mar ocorridas na região durante o Holoceno baseiam-se, principalmente, na variação de outros palinórfos que não pólen e esporos de plantas terrestres (p.ex. dinoflagelados, silicoflagelados, algas verdes), uma vez que a vegetação continental não apresentou mudanças significativas neste período.

- Método empregado para a análise palinológica

Para a análise palinológica, retiraram-se alíquotas de 2 cm³ ao longo de todo o testemunho, em intervalos verticais de 5 cm. As amostras destinadas à análise palinológica seguiram o método descrito por Faegri & Iversen (1989) para sedimentos do Quaternário. Este método envolve as seguintes etapas:

- dissolução de silicatos por HF (70%);
- remoção de colóides de sílica com HCl diluído (a quente);
- destruição de ácidos húmicos por solução 10% de KOH (ou NaOH);
- centrifugação e lavagem dos resíduos com água destilada;
- montagem em lâmina, com uma fração do resíduo final em glicerina, para observação em microscópio biológico.

O tratamento químico das amostras foi feito em duas etapas: na primeira etapa, foram selecionadas amostras em intervalos verticais de 20 cm, em dois dos testemunhos (FIG e RIA), para observar mudanças de grande escala no registro polínico; na segunda etapa, processou-se o restante das amostras, correspondente a intervalos verticais de 5 cm.

A primeira etapa de tratamento químico das amostras para extração dos palinórfos foi realizada no Laboratório de Hidroquímica III do Instituto de Geociências, gentilmente disponibilizado pelo Prof. Dr. Raphael Hypolito. O procedimento adotado, desde o tratamento químico até a montagem das lâminas, apresenta-se descrito com detalhes em Amaral (2003).

A avaliação da concentração de pólen, por unidade de volume ou peso, pode ser feita por métodos de introdução de marcadores exóticos ou por métodos volumétricos. No primeiro caso, introduzem-se, durante o tratamento químico, marcadores exóticos, como grãos de pólen de *Kochia scoparia*, conforme descrito em Barberi (2001), ou esporos de *Lycopodium clavatum*, como em Stockmarr (1971). Porém, para esta técnica ser empregada sem problemas, deve-se assegurar de que o elemento exótico não ocorre naturalmente na área que se está estudando. Nas amostras processadas nesta primeira etapa, não foi introduzido nenhum tipo de marcador exótico pois não se havia encontrado, até então,

nenhum revendedor de *Lycopodium clavatum* e a introdução de pólen de *Kochia scoparia* mostrou-se inadequada devida a presença de outras plantas da mesma família (Chenopodiaceae) na área de estudo, inviabilizando seu uso para este fim. Desta forma, para calcular os valores de concentração dos palinomorfos, optou-se pela utilização do método volumétrico proposto por Cour (1974), onde os cálculos são baseados no volume total de resíduo após o tratamento químico das amostras e o volume utilizado na montagem das lâminas. Detalhes deste método são descritos em Amaral (2003).

As demais amostras foram processadas, no Laboratório de Palinologia e Paleobotânica “Prof. Dr. Murilo Rodolfo de Lima” da Universidade de Guarulhos, pela Ms. Rosana Saraiva Fernandes. O procedimento utilizado neste laboratório segue àquele descrito por Colinvaux *et al.* (1999). Nestas amostras, por uma questão de protocolo laboratorial, foram introduzidas cápsulas de esporo exótico *Lycopodium clavatum*. A introdução de marcadores exóticos em somente parte das amostras não se mostrou um problema, uma vez que os resultados dos dois métodos de cálculo de concentração chegaram a valores muito próximos, cuja diferença não interfere na interpretação dos resultados.

A observação e descrição das lâminas foram realizadas em microscópio biológico com objetivas de aumento de 20, 40 e 100X. Para a melhor identificação dos grãos, todas as lâminas foram observadas inteiramente sob o aumento de 100X, no qual se contaram de 250 a 300 grãos de pólen por lâmina, considerado número ideal para o estudo estatístico dos resultados (Ybert *et al.* 1992). Para a identificação e determinação dos grãos de pólen e esporos, foi utilizada a coleção de referência da Profa. Dra. Marie Pierre Ledru, além de consultas a descrições morfológicas de grãos de pólen quaternários já publicadas (Salgado-Labouriau, 1973; Markgraf & d'Antoni, 1978; Roubick e Moreno, 1991; Colinvaux *et al.*, 1999; Takeda *et al.*, 2000; Rull, 2001).

3.2.3.2. Diatomáceas

As diatomáceas são algas microscópicas unicelulares, que vivem isoladas ou reunidas em cadeias. São abundantes em quase todos os ambientes aquáticos: em rios, estuários, mares e oceanos, bem como sobre diversos tipos de substrato (rochas, sedimentos, bioclastos), sendo observadas também no gelo e em águas termais (Patrick & Reimer, 1966; Moreira Filho, 1966; Stoermer & Smol, 2001; Lobo *et al.*, 2002). Diatomáceas são elementos básicos nos ecossistemas aquáticos, onde constituem um dos principais grupos na formação do fitoplâncton e do bentos. Responsáveis pela produção primária destes ecossistemas, representam fonte importante de nutrientes para peixes, moluscos e crustáceos (Moreira Filho, 1960; Moreira Filho, 1961; Snoeijs, 2001; Sullivan, 2001; Lobo *et*

al., 2002). Por serem microscópicas, freqüentemente ocorrem em quantidades excepcionais em pequenas áreas, mais de 30 milhões de espécimes por cm² de sedimento (Raven *et al.* 1996).

Não existe informação precisa do número de espécies de diatomáceas atuais, o qual é estimado entre 10⁴ (Raven *et al.*, 1996; Guillard & Kilham, 1977 *apud* Stoermer & Smol, 2001) e 10⁵ (Mann & Droop, 1996). Entre as diversas espécies de diatomáceas, muitas são ecologicamente sensíveis, ocupam nichos específicos nos ecossistemas aquáticos, com níveis de tolerância a fatores ambientais (temperatura, salinidade, pH, profundidade, concentração de nutrientes etc) que variam de acordo com a espécie.

Diferente de outros tipos de algas, o corpo celular das diatomáceas é constituído por uma carapaça resistente denominada de frústula, formada pela deposição de sílica. Cada frústula é composta por duas valvas (epivalva e hipovalva), ligeiramente desiguais, que se encaixam como uma placa de Petri. Ornamentações presentes nas frústulas silicosas das diatomáceas, tamanho e formato são características diagnósticas para identificação das diferentes espécies destas algas (Collins & Kalinsky, 1977; Stoermer & Smol, 2001).

Desta forma, levando em consideração aspectos autoecológicos de cada *taxon* (tolerância aos diferentes fatores ambientais), abundância do número de espécies, diversidade de ambientes em que podem estar presentes e potencial de preservação das frústulas silicosas no registro sedimentar, as algas diatomáceas são consideradas excelentes bioindicadores em estudos de reconstrução paleoambiental. Além destes fatores, as diatomáceas possuem ampla distribuição geográfica e, freqüentemente, espécies pertencentes ao mesmo gênero tendem a apresentar características autoecológicas equivalentes (Snoeijs, 2001).

Porém, apesar do potencial das diatomáceas como indicadores paleoambientais parecer claro, as interpretações paleoecológicas devem levar em conta a possibilidade da assembléia fóssil ter sido afetada por fatores sindeposicionais, como ondas e correntes, ou pós-deposicionais, como bioturbação e erosão.

- *Uso de diatomáceas em reconstruções paleoambientais de áreas costeiras*

O ideal em qualquer estudo de reconstrução do paleoambiente é utilizar mais de um tipo de indicador, seja ele biológico, geoquímico ou sedimentológico. No caso de regiões costeiras, estudos com este enfoque são favorecidos graças à abundância de indicadores paleoambientais: fácies sedimentares características; pólen, esporos e sementes de plantas terrestres e de ecossistemas exclusivos da zona costeira (como os manguezais, por exemplo); diatomáceas de diversos *habitats*; ostracodes; foraminíferos; cistos de

dinoflagelados; partículas de carvão; e parâmetros geoquímicos e bioquímicos característicos.

Interpretações paleoambientais com base em assembléias fósseis de diatomáceas consistem na análise do conteúdo e composição da comunidade fóssil, além das considerações sobre características autoecológicas dos *taxa* presentes (Denys & Wolf, 2001), sendo necessário para isso rigor na determinação taxonômica dos espécimes (Birks, 1994). Estudos de sistemática, taxonomia e distribuição ecológica em comunidades atuais de diatomáceas dão o suporte para as interpretações paleoambientais.

Diversas razões podem ser listadas para justificar o uso das diatomáceas como importantes bioindicadores paleoambientais:

- ocorrência em diversos ambientes aquáticos (marinhos ou continentais);
- ampla distribuição geográfica;
- taxonomia e ecologia relativamente bem estudadas;
- alto potencial de preservação no registro fóssil, graças a composição silicosa das frústulas;
- alta diversidade específica (mais de dez mil espécies vivas);
- determinação do gênero ou espécie através de características morfológicas (tamanho, forma e ornamentação) das frústulas;
- acurada sensibilidade destes organismos a numerosos fatores ambientais (condições hidrodinâmicas, tipo de substrato, salinidade, pH e temperatura), com espécies que ocupam nichos ecológicos específicos.

Dentre os fatores ambientais que determinam a distribuição das comunidades de diatomáceas, a salinidade talvez seja o mais importante (Battarbee, 1986; Denys & Wolf, 2001). Por esta razão é que a utilização destas algas como indicadores paleoambientais em depósitos costeiros é de especial interesse. Pelo fato da zona costeira apresentar caráter altamente dinâmico e por possuir um mosaico de processos sedimentares ocorrendo lado a lado, as informações fornecidas pelo estudo de diatomáceas podem auxiliar nas inferências sobre mudanças de dinâmica costeira, com possíveis implicações na interpretação de variações de nível relativo do mar (NRM).

Estudos de diatomáceas em estuários são escassos, principalmente se comparados àqueles destinados a diatomáceas de água doce ou francamente marinhas (Snoeijs, 2001; Sylvestre *et al.*, 2004). O termo estuário é polêmico. Geólogos, oceanógrafos, hidrólogos e biólogos apresentam-lhe definições distintas. A maioria dos geólogos define estuário como antigos vales de rios afogados, enquanto os oceanógrafos físicos como corpos de água onde a água do rio mistura e dilui a água do mar (Reinson, 1992). Neste estudo, foi utilizada a definição mais abrangente de estuário, a qual define estuário como corpos de água semifechados, com livre acesso para o oceano, onde a água do mar é diluída e misturada à

água doce das drenagens vindas do continente (Pritchard, 1967 *apud* Reinson, 1992). Desta forma, estão aqui incluídos as baías estuarinas, estuários-lagunas e lagunas.

A complexidade dos sistemas deposicionais estuarinos, imposta por sua contínua e intensa morfodinâmica e pelas interações físico-químicas entre água doce e salgada, fazem com que controles experimentais (com simulações laboratoriais) sejam extremamente difíceis (Sullivan, 2001). Desta maneira, a taxonomia e ecologia das espécies presentes nos estuários ainda permanece em desenvolvimento (Denys & Wolf, 2001). De qualquer forma, estudos paleoambientais na zona costeira que utilizam diatomáceas como bioindicador demonstram que estas algas podem fornecer uma gama de informações complementares para montar o cenário do passado. Mudanças nas assembléias fósseis podem ser respostas a eventos climáticos, geológicos ou de natureza antrópica. Interpretações com base nas mudanças nas comunidades fósseis de diatomáceas foram utilizadas para demonstrar eventos transgressivos e regressivos locais ou regionais (p.ex. Robinson, 1982; Ireland, 1987), associados à mudança no NRM ou a outros processos costeiros.

Ybert *et al.* (2003), a partir da análise do conteúdo palinológico e de diatomáceas em sedimentos turfosos na região de Iguape (litoral sul do Estado de São Paulo), puderam interpretar mudanças de NRM na região nos últimos 4900 anos cal AP. Segundo os autores, a assembléia de diatomáceas encontrada na base da coluna estudada (intervalo datado entre 4900 e 3470 anos cal AP), indicou ambiente estuarino, com influência marinha atestada pelas espécies *Actinocyclus* sp., *Actinoptychus hookeri*, *A. Senarius*, *A. splendens*, *A. vulgaris*, *Biddulphia rhombus*, *Diploneis bombus*, *Nitzschia panduriformes*, *Polymixus coronalis*, *Raphoneis* sp., *Thalassiosira* sp. e *Triceratium patagonicum*. A presença de espécies marinhas nos sedimentos analisados indicou que o NRM se encontrava ao menos 1 a 2 m acima do atual e a área teria sido ocupada por uma extensa laguna. Após 3400 anos, com a queda progressiva do NRM, no local desta paleolaguna houve o estabelecimento de vegetação de pântano, atestado pelo conteúdo polínico dos sedimentos.

Hussein (2004) e Hussein *et al.* (2005), através da análise de diatomáceas em testemunho coletado na lagoa Olho D'Água (Recife, PE), também puderam interpretar alterações do NRM durante o Holoceno. Segundo estes autores, o NRM teria alcançado a área da lagoa pela primeira vez durante o médio Holoceno, entre 6600 e 5000 anos AP (idades não calibradas), o que seria atestado pela alta frequência de taxa de diatomáceas marinhas, com predomínio de *Merlosia sulcata* e *Grammatophora* sp. As variações de porcentagem e concentração ao longo da coluna sedimentar estudada indicam que a influência marinha na lagoa foi importante até 2500 anos AP, quando então se observa aumento de taxa dulciaquícolas. Segundo os autores, esta mudança na assembléia de diatomáceas seria uma evidência da queda progressiva do NRM e aumento do influxo de água doce dentro da lagoa.

O uso das diatomáceas como indicadores de mudanças ambientais ocorridas no Quaternário costeiro do Brasil é ainda limitado, podendo-se citar, entre os poucos exemplos adicionais, Sylvestre *et al.* (1999), Machado *et al.* (2005), Ribeiro *et al.* (2005), Laslandes *et al.* (2006) e Vidotto (2008). Contudo, observa-se interesse crescente na utilização destas algas como bioindicadoras paleoambientais, o que pode ser notado pelo número de trabalhos com este enfoque apresentados nos últimos congressos da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (Abequa).

- Método empregado para a análise de diatomáceas

O método para análise de diatomáceas em microscópio óptico consiste na eliminação, por tratamento químico, da matéria orgânica e carbonatos presentes nas amostras de sedimentos, com intuito de concentrar as frústulas silicosas. A preparação de lâminas para exame destas algas seguiu o método descrito por Patrick & Reimer (1966) e Battarbee (1986). Utilizou-se nesta Tese, para a análise de diatomáceas, o mesmo padrão de amostragem feito para palinologia, isto é, alíquotas de 2 cm³ ao longo de todo o testemunho, em intervalos verticais de 5 cm. Foram anotados os pesos úmido e seco (após colocação em estufa) de todas as amostras. A etapa do trabalho dedicada a preparação de lâminas para o estudo de diatomáceas foi realizada no *Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement* (CEREGE), em Aix-en-Provence/França, sob a orientação da Profa. Dra. Florence Sylvestre, como parte do estágio no exterior financiado pela CAPES (bolsa PDEE processo nº. 0710/06-7).

O preparo das amostras contou com as seguintes etapas:

1. Eliminação de carbonatos: adicionou-se às amostras uma solução de HCl 10%, com aquecimento em chapa quente (aproximadamente 100°C), durante 1 a 2 horas. As amostras passaram em seguida por lavagem com água destilada e, pelo processo de decantação e sifonagem, com descarte do líquido sobrenadante.

2. Decomposição da matéria orgânica: utilizou-se solução de 30% de H₂O₂ (água oxigenada), com aquecimento em chapa quente. Após o término da reação, iniciou-se o processo de lavagem das amostras com água destilada. Este procedimento foi feito a cada duas horas, até que o valor do pH fosse restaurado à neutralidade. Em algumas amostras, mesmo após o tratamento com H₂O₂, a matéria orgânica não foi totalmente destruída; nesses casos, optou-se pela utilização adicional de ácido nítrico 30%, em chapa quente, por aproximadamente 4 horas. Após este procedimento, as amostras foram novamente lavadas com água destilada de quatro a cinco vezes.

3. Lâminas teste: terminado o tratamento químico, foram adicionados ao resíduo final 250 ml de água destilada e confeccionada uma lâmina teste, com 0,4ml do resíduo, para avaliar a concentração de diatomáceas na amostra. Uma vez observada a qualidade de preservação e quantidade de diatomáceas nas lâminas teste, os volumes usados para a montagem das lâminas definitivas foram adaptados: para amostras muito ricas, utilizou-se 0,2ml e para amostras com concentrações medianas, 0,4ml do resíduo final.

4. Montagem das lâminas: homogeneizou-se o resíduo final em agitador magnético e após a agitação, coletou-se com uma micropipeta o volume escolhido para cada uma das amostras, colocado em seguida sobre lamínulas (três lamínulas por amostra). As lamínulas foram inseridas em dessecador, a temperatura ambiente, onde se mantiveram até a total evaporação da água. Em seguida, foram fixadas em lâminas contendo Náfrax (índice de refração 1,74).

5. Identificação e determinação das diatomáceas: foram consultadas as descrições morfológicas já publicadas, com atenção para trabalhos clássicos (Krammer & Lange-Berlatot, 1986, 1988, 1991; Patrick & Reimer, 1966; Hustedt, 1927-1966; Peragallo & Peragallo, 1897-1908), para os trabalhos realizados na costa sul do país (Moreira Filho & Kutner, 1962; Moreira Filho *et al.*, 1967, 1985; Rodrigues, 1984, 1992; Mosimann, 1984, 1985, 1988; Laudares Silva, 1987; Fernandes *et al.*, 1990; Rodrigues & Moreira Filho 1990; Fernandes, 1996; Lobo *et al.*, 2002) e para aqueles dedicados à diatomáceas marinhas (Witkowiski *et al.*, 2000; Desikachary, 1986, 1987, 1988). Em cada amostra, foi contado o mínimo de 400 frústulas. Nas amostras em que este número não pode ser alcançado com as três lâminas analisadas, contou-se o número de frústulas suficiente (em média 200) para que o aparecimento de espécies novas nestes níveis não fosse mais observado. Os requerimentos ecológicos das espécies foram obtidos através da pesquisa em diversas obras de compilação de dados, como Carpelan (1978) Moreira Filho & Moreira, (1984), Denys (1991) e Moro & Fürstenberger (1997), entre outros.

Os parâmetros ecológicos analisados neste trabalho foram: modo de vida, salinidade e pH. A terminologia adotada na caracterização de cada um destes parâmetros encontra-se descrita a seguir.

Modo de vida (habitat). Com relação ao habitat preferencial das espécies de diatomáceas, os termos usados neste trabalho seguem às definições apresentadas por Pailles (1989), Moro & Fürstenberger (1997) e Sylvestre (1997):

- *Espécies **perifíticas**:* vivem fixas a um substrato ou objeto submerso, sinônimo de bentônicas. Podem ser fixas a plantas aquáticas (epifítica), seixos ou rochas

(epilíticas), grãos de areia (epipsâmica), sedimentos finos orgânicos ou inorgânicos (epipélicas).

- *Espécies aerófilas*: possuem habilidade de desenvolver-se em substratos emersos, sendo indicadoras de fases de exposição subaérea.
- *Espécies planctônicas*: vivem em suspensão na água.
- *Espécies ticoplanctônicas*: podem viver tanto associadas ao perifíton como em suspensão na coluna de água.

Salinidade. Para este parâmetro, foi adotada a classificação proposta por Gasse *et al.* (1987). Estes autores consideram cinco classes principais de organismos, com base na preferência e tolerância das espécies quanto ao total de sal dissolvido na água (Figura 3.5):

- *Espécies de água doce*: este grupo inclui espécies estenotópicas que vivem em salinidade $< 0,5\text{‰}$ e espécies com clara preferência a água doce mas que podem sobreviver em ambientes com pequenas quantidades de sal dissolvido.
- *Espécies oligosalinas*: possuem ótimo desenvolvimento em ambientes com salinidade entre 0,5 e 5‰. A maioria das espécies que vivem em águas oligosalinas também tolera condições de água doce a levemente mesosalinas (~15‰).
- *Espécies euritópicas meso-polisalinas*: toleram variação na salinidade total entre 5 e 30‰. Na literatura, as espécies deste grupo são classificadas como “salobras” (*brackish*) ou mesoalóbias. Muitos dos *taxa* desta classe podem também sobreviver em águas oligosalinas a eusalinas (marinha), sendo que alguns deles podem desenvolver-se até mesmo em condições hiper-salinas.
- *Espécies eusalinas*: vivem em ambiente com salinidade entre 30 e 40‰, classificadas comumente na literatura como espécies marinhas. Este grupo pode ser dividido em duas classes, espécies *eusalinas euritópicas* e espécies *eusalinas estenotópicas*. As eusalinas euritópicas são aquelas que, apesar de ter seu ótimo desenvolvimento em condições eusalinas, também podem se desenvolver em condições meso-polisalinas ou metasalinas. Já as eusalinas estenotópicas não toleram grandes variações na concentração de sal na água.
- *Espécies extremamente euritópicas*: capazes de viver em ambientes com salinidade $> 40\text{‰}$ (condições meta- e hiper-salinas). As espécies deste grupo, quando consideradas individualmente, não são indicadoras de salinidade, uma vez que podem se adaptar a condições desde água doce ou oligosalina até hiper-salina.

Figura 3.6. Classificação de soluções naturais segundo o parâmetro salinidade e distribuição relacionada dos organismos. É apresentado o sistema de nomenclatura usado neste trabalho (Gasse *et al.* 1987) em comparação com outros habitualmente encontrados na literatura (Fonte: Gasse *et al.* 1987).

pH. A classificação utilizada neste trabalho seguiu a proposta por Lowe (1974 *apud* Moro & Fürstenberger, 1997), onde são admitidas seis classes de organismos:

- *Espécies acidobiônicas* – ocorrem em pH abaixo de 7, com desenvolvimento ótimo em pH menor ou igual a 5,5.
- *Espécies acidófilas* – vivem em pH ao redor de 7, com desenvolvimento ótimo em pH superior a 7.
- *Espécies circumneutras* – têm desenvolvimento ótimo em pH igual a 7.
- *Espécies alcaliófilas* – vivem em águas com pH ao redor de 7, com desenvolvimento ótimo em pH maior que 7.
- *Espécies alcalibiônicas* – ocorrem apenas em pH maior que 7.
- *Espécies indiferentes quanto ao pH* – ocorrem em larga faixa de pH.

3.2.4. Análise sedimentológica

O possível significado paleoambiental do conteúdo micropaleontológico, em termos de fatores controladores regionais como paleoclima e NRM, só pode ser devidamente discutido após avaliada a influência de fatores locais sobre a distribuição de microfósseis. Dentre estes fatores, destacam-se duas variáveis essencialmente sedimentares, o aporte, quanto a volume, origem e constituição, e os processos deposicionais, ambos com implicações paleogeográficas, paleo-hidrodinâmicas e paleoflorísticas. Se a determinação da taxa de aporte depende da relação entre idade e espessura de cada intervalo vertical amostrado, e pressupõe assim a realização de datações, a caracterização qualitativa deste aporte passa necessariamente pelo estudo da distribuição granulométrica, seguido, em caso de detalhamento, pelo exame da composição mineralógica. Os processos deposicionais, por sua vez, materializam-se e podem ser inferidos nas fácies sedimentares, unidades sedimentares concretas e descritivas, porém desconfinadas estratigraficamente (Walker, 1976; Anderton, 1985; Giannini, 1993), delimitadas com base em mudanças de uma ou mais dentre cinco propriedades macroscópicas: geometria externa, estruturas, paleocorrentes, granulação e fósseis. As associações laterais e sucessões verticais de fácies, vistas enquanto materializações de processos deposicionais, são imprescindíveis para a compreensão do contexto e da evolução paleogeográfica local. Há que se considerar ainda que a abundância e distribuição vertical de microfósseis é passível de modificações pós-deposicionais geradas por dissolução pedogenética-eodiagenética, identificáveis através da quantificação e exame da textura superficial de minerais pesados da fração areia. Outro fator de alteração pós-deposicional é a bioturbação, que pode ser reconhecida e avaliada através do grau de obliteração de estruturas sedimentares sindeposicionais. Com base nestas considerações, propôs-se a caracterização sedimentológica das colunas verticais amostradas segundo duas etapas principais: tentativa preliminar de separação de fácies e análise granulométrica. Estas etapas encontram-se resumidas a seguir.

3.2.4.1. Delimitação de fácies

Em vista do tipo de amostragem empregado, a delimitação de fácies em laboratório com base nas características descritivas dos testemunhos de sondagem rasa atentou para três aspectos principais: estruturas sedimentares, distribuição de macrofósseis e variações maiores de granulação. A análise de fácies foi executada imediatamente após a abertura dos testemunhos, de modo a minimizar os riscos de oxidação de matéria orgânica, grãos de pólen e esporos. Para a documentação gráfica dos testemunhos, obtiveram-se imagens

fotográficas, em escalas tanto geral (intervalos de 1m) como de detalhe (intervalos de 10 a 30 cm).

3.2.4.2. Granulometria

Admitido o predomínio de depósitos lutáceos de suspensão, pobres em estruturas sedimentares aparentes, dentre os sedimentos testemunhados, a caracterização sedimentológica de fácies deposicionais e outros tipos de intervalos verticais torna-se fortemente dependente da análise de distribuição de frequências de classes granulométricas. Em vista da necessidade de obtenção de alíquotas para análise mineralógica, a granulometria foi executada por técnicas mecânicas convencionais de pipetagem e peneiramento. Os ensaios de análise granulométrica foram realizados no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da USP. As amostras desagregadas, em massas iniciais de cerca de 60 g (equivalente seco), foram submetidas a pipetagem em cinco intervalos de 1,0 ϕ (escala *phi* de Krumbein) entre silte grosso e argila, seguida de lavagem dos finos pelíticos por elutrição e peneiramento ao vibrador mecânico em intervalos de 0,5 ϕ .

Para a realização destes ensaios, optou-se pela não secagem prévia das amostras, o que resulta em controle indireto do peso inicial. Giannini (1987, 1992) alerta para o problema na secagem prévia de amostras predominantemente argilosas-siltosas. Amostras deste tipo, quando submetidas à secagem em estufa, podem aglutinar partículas argilosas coloidais, falseando os resultados finais da análise granulométrica. Desta forma, as massas iniciais foram obtidas através do cálculo do teor de umidade de cada amostra. Para isso, pequenas alíquotas de amostras foram pesadas, colocadas em estufa a 60⁰ C por 24 horas e pesadas novamente a fim de inferir qual a massa de água perdida durante a secagem e assim obter o teor de umidade da amostra. Obtidos os valores de teor de umidade, fez-se o cálculo para saber qual a massa suficiente para perfazer aproximadamente 60 g de amostra seca.

Algumas amostras apresentaram valores de teor de umidade superiores a 80%. Com isto, para obter-se massa inicial seca de 60g, seria necessário mais do dobro deste peso de amostra úmida. Por este motivo, algumas das análises realizaram-se com massa inicial equivalente a 30g de amostra seca, ou por vezes 10g, dependendo da quantidade de amostra disponível. Como os ensaios foram realizados sem secagem prévia, isto é, por controle indireto do peso inicial, o erro analítico admitido foi de até 10% (fator de correção dado pelo peso inicial/peso final entre 0,9 e 1,1).

Os procedimentos efetuados na análise granulométrica encontram-se sumariados a seguir:

- separação de alíquota de aproximadamente 10 g de amostra úmida para a realização do cálculo do teor de umidade;
- determinação do teor de umidade de cada amostra e separação de massa suficiente para perfazer 60, 30 ou 10 g de amostra seca, na dependência de disponibilidade de massa;
- adição de dispersante (pirofosfato de sódio tri-hidratado) e água destilada às amostras, seguida de desagregação em almofariz;
- pipetagem em proveta de 1 litro em cinco intervalos de 1,0 Ø (escala *phi* de Krumbein) entre silte grosso e argila;
- lavagem dos finos pelíticos por elutriação;
- secagem em estufa do material retido na elutriação;
- peneiramento em agitador macânico em intervalos de 0,5 Ø;
- pesagem das frações separadas pela pipetagem e peneiramento;
- cálculo das porcentagens das frações granulométricas.

Os resultados brutos de distribuição de frequências granulométricas foram convertidos em valores de parâmetros estatísticos (diâmetro médio, desvio-padrão, assimetria e curtose) pelo método analítico dos momentos de Pearson, através do programa *Momento 4.123*, de Paulo C. Giannini.

3.2.5. Geoquímica

A matéria orgânica preservada nos sedimentos pode fornecer dados importantes em estudos de reconstituição do paleoambiente e/ou paleoclima no Quaternário. A análise de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio, aliada à determinação das razões C/N, permite inferir a fonte da matéria orgânica nos sedimentos, com distinção entre a originada por algas e por plantas terrestres tipo C₃ e C₄ (Tyson, 1995; Meyers, 1997; Meyers & Lallier-Vergès, 1999; Sifeddine *et al.*, 2001; Meyers, 2003; Sifeddine *et al.*, 2004; Wilson *et al.*, 2005).

A aplicação de traçadores geoquímicos na matéria orgânica sedimentar é particularmente útil em estudos paleoambientais realizados em regiões costeiras. A matéria orgânica presente em sedimentos costeiros compreende material particulado, dissolvido e coloidal introduzido no sistema por diferentes fontes, tanto continentais como marinhas (Hedges *et al.*, 1997; Fukumoto, 2003; Ogrinc *et al.*, 2005). Desta forma, a matéria orgânica preservada nos sedimentos irá apresentar uma mistura de plâncton (principalmente fitoplâncton) marinho e de água doce, detritos de plantas terrestres e fontes antropogênicas (Wilson *et al.*, 2005; Drenzek *et al.*, 2007). Porém, ao longo da extensão de um estuário, a contribuição destas fontes de matéria orgânica poderá variar: zonas de supramaré tendem a conter proporcionalmente mais carbono orgânico de plantas vasculares, enquanto que zonas de submaré apresentam maior contribuição de fitoplâncton marinho (Wilson *et al.* 2005). Assim, as mudanças identificadas na origem da matéria orgânica no registro sedimentar estuarino devem refletir variações de aporte continental, influência de águas marinhas dentro do estuário (ligadas a dinâmica de abertura e fechamento, flutuações no NRM e/ou mudanças de correntes oceânicas) ou outras condições ambientais que possam ter impactado os ecossistemas costeiros em diferentes períodos do passado.

-Identificação da fonte da matéria orgânica através da razão C/N

A determinação das razões C/N permite distinguir a matéria orgânica de origem algácea daquela produzida por plantas terrestres. Algas possuem valores de C/N entre 4 e 10, enquanto nas plantas vasculares estas razões C/N são maiores ou iguais a 20. Esta diferença é o reflexo de dois fatores: (1) a ausência de celulose nas algas em contraposição a sua abundância nas plantas vasculares e (2) a riqueza em proteínas na matéria orgânica de origem algácea (Meyers, 1997).

Entretanto, a diagênese pode modificar a composição elementar da matéria orgânica e conseqüentemente os valores de razão C/N (Meyers & Lallier-Vergès, 1999). A degradação parcial da matéria orgânica de origem algácea durante o soterramento pode diminuir seletivamente os componentes protéicos e assim aumentar a razão C/N. O inverso,

diminuições nos valores de C/N, pôde ser observado em sedimentos oceânicos onde a amônia derivada da decomposição da matéria orgânica é adsorvida em minerais de argila (Müler, 1977 *apud* Meyers, 1997). Contudo, mesmo considerando-se possíveis mudanças na composição elementar da matéria orgânica sedimentar, estas normalmente não são grandes o suficiente para impedir a diferenciação entre a origem a partir de plantas vasculares e de algas (Meyers & Lallier-Vergès, 1999).

-Isótopos estáveis de carbono e nitrogênio: $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

O uso das razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ na determinação da fonte da matéria orgânica preservada nos sedimentos é baseado na diferença entre as assinaturas isotópicas de plantas terrestres (plantas tipo C3, C4) e algas.

De maneira geral, a composição isotópica do carbono na matéria orgânica vegetal reflete a forma como a planta assimila o carbono durante a fotossíntese. Plantas terrestres que utilizam o ciclo C3 apresentam valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ de -27‰ e as que utilizam o ciclo C4 aproximadamente -14‰ (Meyers, 1997). O fitoplâncton de água doce, que utiliza o CO_2 dissolvido na água, normalmente em equilíbrio isotópico com o CO_2 atmosférico, apresenta valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -25‰ e -30‰, assinatura isotópica que não permite sua distinção em relação a plantas terrestres C3. O fitoplâncton marinho, que utiliza como fonte de carbono inorgânico o bicarbonato dissolvido, apresenta valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -19 e -22‰ (Emerson & Hedges, 1988).

Já a utilização do $\delta^{15}\text{N}$ na identificação da origem da matéria orgânica tem como base a distinção entre a composição isotópica das fontes de nitrogênio inorgânico, diferentes no ambiente aquático e fora dele. O $\delta^{15}\text{N}$ de nitratos dissolvidos na água é entre 7‰ e 10‰, enquanto o $\delta^{15}\text{N}$ do N_2 atmosférico é cerca de 0‰. Peterson & Howarth (1987) demonstraram que esta diferença de valores é preservada no conteúdo isotópico da matéria orgânica produzida pelo plâncton ($\delta^{15}\text{N}$ ~8,6‰) e por plantas terrestres ($\delta^{15}\text{N}$ ~0,4‰), o que torna possível a distinção entre matéria orgânica derivada de plantas terrestres e de algas. Porém, diversos processos biogeoquímicos (p.e. amonificação, nitrificação, denificação, entre outros) e variações ambientais podem alterar a razão entre os isótopos de nitrogênio e complicar as interpretações sobre origem da matéria orgânica com base neste indicador (Talbot, 2001; Fukumoto, 2003).

Para uma interpretação mais acurada sobre a origem da matéria orgânica preservada nos sedimentos, é essencial a análise conjunta dos traçadores geoquímicos (razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), uma vez que a análise de cada parâmetro individualmente é insuficiente para o estabelecimento seguro da fonte da matéria orgânica (Fukumoto, 2003).

- *Método de análise: determinação do conteúdo de carbono orgânico total (C_{org}), nitrogênio total (N_{total}) e razões isotópica $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$*

A análise elementar e isotópica de carbono e nitrogênio foi realizada no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP. As amostras passaram por tratamento ácido (flotação com HCl 0,01M) para remoção de fibras vegetais, lavagem com água destilada até a neutralização do pH e secagem em estufa a 50°C. Foram enviados de 10 a 140mg de amostra para a determinação do carbono orgânico total (C_{org}), nitrogênio total (N_{total}) e isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}C$) e nitrogênio ($\delta^{15}N$) em analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa ANCA SL 2020 da Europa Scientific. Os resultados de C e N são apresentados em porcentagem de peso seco e os dados de razão isotópica determinada em relação ao padrão internacional PDB para ^{13}C e em relação ao ar para ^{15}N , com precisão analítica de +/- 0,2 ‰.

3.3. Tratamento gráfico-estatístico dos resultados

3.3.1. Construção de diagramas palinológicos e de diatomáceas

A partir dos dados micropaleontológicos, foram elaborados dois tipos de diagramas: (1) diagramas de porcentagem individual de cada *taxon* e (2) diagramas de agrupamento ecológico. Nos diagramas do tipo (1) foram plotados os tipos mais representativos de cada assembléia analisada em relação à profundidade do testemunho. No caso dos palinomorfos, a porcentagem de cada *taxon* foi feita em relação à soma total de pólen (pólen de plantas arbóreas, herbáceas e indeterminados), sendo excluídos os esporos e *taxa* aquáticos. Esporos são excluídos da soma total nos diagramas palinológicos pois têm grande produção e significado local. Esporos de pteridófitas podem ser bastante numerosos no registro e são normalmente mais resistentes à deterioração quando o material fica exposto na superfície deposicional. Assim, há um enriquecimento residual destes grãos no registro devido à perda de tipos polínicos mais frágeis. A frequência relativa dos esporos foi obtida com referência à soma total de pólen.

Nos diagramas do tipo (2), os *taxa* foram agrupados segundo parâmetros ecológicos, isto é, salinidade, pH e hábito de vida (planctônico, perifítico), no caso das diatomáceas, e plantas arbóreas, herbáceas, aquáticas e esporos, no caso dos palinomorfos.

3.3.2. Análise estatística multivariada

A análise estatística multivariada, em suas inúmeras técnicas, é especialmente indicada para o estudo de problemas que envolvem simultaneamente variáveis aleatórias de origens diversas, potencialmente dependentes entre si (Manly, 1995). É o caso desta Tese de Doutorado, que lida com variáveis quantitativas múltiplas, agrupadas quanto a natureza em físico-químicas ou sedimentológicas (granulométricas e mineralógicas), biológicas ou micropaleontológicas (relativas a distribuição de tipos de pólen, esporos e diatomáceas), químicas (referentes a teores de carbono orgânico e isótopos) e cronológicas relativas ou absolutas (dadas por profundidade e idades AMS, respectivamente). As técnicas de estatística multivariada utilizadas na análise dos resultados obtidos encontram-se resumidas a seguir.

- *Análise fatorial de correspondência (AFC) e análise de componentes principais (ACP)*

A análise fatorial de correspondência (AFC) e a análise de componentes principais (ACP) foram empregadas para ordenação dos resultados obtidos a partir do estudo dos

microfósseis. Para isto, utilizou-se dos programas *Biomeco* (criado por M. Roux, inédito) e *Past* (Hammer *et al.*, 2001).

A AFC e APC facilitam a classificação de conjuntos de dados numerosos (como os de contagem de diatomáceas ou palinórfos) e possibilitam visualizar as observações (neste caso, amostras de sedimentos e espécies) em um espaço vetorial de elevadas dimensões, o que permite ordená-las segundo os aspectos de interesse (características geológicas e/ou ecológicas).

A representação gráfica obtida, em ambos os métodos, é feita pela projeção das observações em planos formados pela intersecção de eixos que representam os auto-vetores da matriz de dados. A distância entre os pontos (representação gráfica das observações) significa relações de similaridade: quanto mais próximos os pontos, mais similares.

Cada eixo (designados por eixo fatorial, no caso da AFC e, componentes principais, no caso da ACP) responde por uma parcela da variância total do conjunto de dados, expressa em porcentagem (ou % de inércia). Este percentual expressa a capacidade de cada eixo representar a nuvem de pontos: quanto maior o percentual, melhor a representação da distribuição dos pontos no espaço e, conseqüentemente, das relações existentes entre as variáveis (Carvalho & Struchiner, 1992).

Como método auxiliar na interpretação dos resultados obtidos da AFC, utilizou-se o recomendado por Fénelon (1981 *apud* Pailles, 1989 e Sylvestre, 1997), que consiste na análise das contribuições absolutas e relativas de amostras e espécies para cada eixo fatorial. As contribuições absolutas permitem saber quais são as variáveis responsáveis pela construção de cada eixo, enquanto que as contribuições relativas indicam qual o eixo em que dada variável é melhor representada (Lebart *et al.* 1982, Sylvestre, 1997). Segundo este método, as amostras e espécies que definem um eixo fatorial são aquelas que apresentam contribuições absolutas (**CA**) superiores ao dobro da média de contribuições de linhas e colunas da tabela de dados. Então, tomando-se como exemplo uma análise a partir de um grupo de **x** amostras e **y** espécies, onde as amostras são as colunas e as espécies as linhas da matriz, as seguintes variáveis serão consideradas como responsáveis pela formação de determinado eixo:

- amostras com contribuições absolutas $> 2 * \sum \text{CA}/x$
- espécies com contribuições absolutas $> 2 * \sum \text{CA}/y$

Para avaliar a qualidade de representação de uma variável (amostra ou espécie) em um eixo, analisa-se a contribuição relativa (**CR**), calculando-se a porcentagem de **CR** da variável no eixo considerado (equação 1):

$$\% \text{ CR}_{\text{amostra ou espécie eixo } \partial} = (\text{CR eixo } \partial / \sum \text{CR de todos os eixos}) * 100 \quad (\text{equação 1})$$

Se uma variável **z** tem **CR** de 7% no eixo 1, 10% no eixo 2 e 50% no eixo 3, pode-se dizer que esta variável é melhor representada pelo eixo 3. Sabendo que cada eixo pode corresponder, por exemplo, a um fator ecológico ou geológico, a análise da **CR** permite interpretar qual o fator preponderante para o posicionamento desta amostra dentro de determinado grupo.

- *Classificação hierárquica ascendente (análise de cluste ou agrupamento)*

O princípio da classificação hierárquica consiste em agrupar, dois a dois, por etapas sucessivas e segundo o grau de semelhança, os indivíduos de um conjunto de dados. Ao final de cada etapa de agrupamento de dois indivíduos próximos, as distâncias entre o grupo formado e o restante dos indivíduos a classificar são recalculadas. Este processo é repetido até a obtenção de uma única classe que agrupa todos os indivíduos. O resultado gráfico desta análise é apresentado na forma de um dendrograma, onde cada par de elementos é unido por um nó e cada nó indica o grau de semelhança entre os objetos correspondentes. Para esta análise, serviu-se do programa *PAST* (Hammer *et al.* 2000); a similaridade entre observações foi medida pela distância euclidiana e o método de agrupamento utilizado foi o de ligação por média (*Average Linkage*).

A partir do dendrograma formado e do conhecimento prévio sobre a estrutura dos dados, deve-se decidir uma distância de corte para definir diferentes grupos. Esta escolha é subjetiva e feita de acordo com o objetivo da análise do número de grupos desejado (Doni, 2004).

No caso das diatomáceas, as espécies responsáveis pela formação das classes definidas na partição do dendrograma (espécies dominantes, subdominantes e associadas) foram obtidas através do programa *VARCAR* (criado por M. Roux, inédito). Este programa calcula, para cada espécie, seu valor médio intra-classe, seu valor médio inter-classes e a correlação da variância inter-classes comparada com a variância total (Sylvestre, 1997).

Capítulo IV. Resultados obtidos

4.1. Análise sedimentológica e datação

4.1.1. Descrição dos testemunhos e delimitação de fácies

Os testemunhos foram descritos, imediatamente após sua abertura, através da observação de mudanças de cor, variações maiores na granulação, estruturas sedimentares (sindeposicionais e penecontemporâneas), presença de fragmentos vegetais e de bioclastos carbonáticos, ou conchas em posição de vida, e sinais de bioturbação, incluindo vestígios de raízes *in situ*.

Os resultados serão apresentados a seguir, para cada um dos testemunhos separadamente.

Lago Figueirinha – testemunho FIG

A descrição macroscópica do testemunho coletado na turfeira próxima ao lago Figueirinha (testemunho FIG, Figura 4.1) permitiu dividi-lo em três fácies, da base para o topo: areia fina laminada, areia argilosa maciça e argila arenosa rica em detritos vegetais.

A fácies inferior do testemunho FIG, de 240 a 165 cm de profundidade, é composta por areia fina, de coloração amarela, com estratificação plano-paralela (Figura 4.1a), determinada pela alternância de lâminas milimétricas escuras e lâminas centimétricas claras. A espessura das lâminas varia de modo irregular, de 1 a 5 mm, com presença local de sinais de bioturbação (Figura 4.1b). A laminação torna-se incipiente rumo ao topo deste intervalo. A cor da areia passa gradualmente de amarelo claro na base a amarelo acinzentado e, na passagem para a fácies imediatamente acima, torna-se preta. Esta passagem apresenta caráter transicional, com aumento gradual no teor de material pelítico.

Na fácies intermediária, entre 160 a 20 cm de profundidade, não mais se observam laminações ou outras estruturas sedimentares. Esta fácies é composta por areia fina argilosa, maciça, de cor preta, esta atribuída à presença de matéria orgânica coloidal. Este intervalo apresenta granodecrescência ascendente, com diminuição gradual da quantidade de areia. A porcentagem estimada de pelíticos é de até 20%. Acima de 65 cm, observa-se a presença eventual de raízes. Detritos vegetais tornam-se freqüentes nos 10 cm superiores deste intervalo.

O intervalo superior do testemunho (20 a 0 cm) é composto por turfa com matriz argilo-arenosa (Figura 4.1c). A quantidade estimada de areia presente é de aproximadamente 30%.

Figura 4.1. Seção colunar esquemática elaborada a partir das descrições do testemunho coletado na turfeira próxima ao Lago Figueirinha – testemunho FIG: (a) laminação plano-paralela da base do testemunho, (b) sinais de bioturbação nos sedimentos e (c) turfa com matriz argilosa no intervalo superior do testemunho.

Vale do Riachinho – testemunho RIA

A seção colunar descrita para o testemunho coletado no vale do Riachinho (testemunho RIA, Figura 4.2), apresenta, da base para o topo, duas fácies bastante distintas: argila arenosa cinza e argila preta rica em detritos vegetais.

A fácies basal (de 230 a 80 cm de profundidade) consiste de argila arenosa cinza, maciça, com porcentagem de areia estimada em até 20 %. Nesta fácies, abaixo dos 200 cm de profundidade, foram observadas conchas de *Anomalocardia brasiliiana* (Figura 4.2a), espécie dominante dentre as constituintes dos depósitos paleolagunares e sambaquis encontrados na região.

A fácies argila preta, delimitada entre 75 a 0 cm, distingue-se da fácies subjacente por ausência de conchas, menor porcentagem de areia, coloração preta e presença de

detritos vegetais. Fragmentos de madeira centimétricos estão presentes neste intervalo. À medida que a profundidade diminui, a quantidade de detritos vegetais aumenta. Nos 20 cm superiores do testemunho RIA, observa-se turfa de matriz argilosa.

O contato entre as duas fácies (entre 80 e 70 cm, figura 4.2b) é brusco e de geometria irregular, o que indica mudança acentuada de regime deposicional.

Figura 4.2. Seção colunar esquemática elaborada a partir das descrições do testemunho coletado no vale do Riachinho – testemunho RIA: (a) conchas de *Anomalocardia brasiliiana*, (b) contato irregular entre as duas fácies descritas no testemunho.

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

Duas fácies foram descritas no testemunho coletado no vale do rio Sangão (testemunho SAN, Figura 4.3): areia argilosa e argila arenosa rica em detritos vegetais.

O intervalo inferior do testemunho, de 240 a 218 cm de profundidade, é composto por areia fina maciça, de coloração marrom, com porcentagem estimada de argila de 30%. Este intervalo caracteriza a fácies areia argilosa.

A fácies argila arenosa rica em detritos vegetais é dominante na coluna, estando presente desde 218 cm de profundidade até 0 cm. Neste intervalo, são freqüentes fragmentos de madeira (Figura 4.3a e 4.3b). Entre as profundidades de 125 e 50 cm, observa-se incremento na porcentagem de areia (até 20% de concentração estimada, em volume). A coloração do sedimento passa de marrom para preto em direção ao topo do testemunho. A quantidade de detritos vegetais aumenta gradualmente na porção superior do intervalo e de 30 a 0 cm de profundidade, o testemunho SAN passa a ser composto por turfa com matriz argilosa.

Figura 4.3. Seção colunar esquemática elaborada a partir das descrições do testemunho coletado no vale do rio Sangão – testemunho SAN: (a) fragmentos centimétricos de madeira, (b) detalhe de um fragmento de madeira com 5 cm de espessura.

4.1.2. Granulometria

Lago Figueirinha – testemunho FIG

Os resultados de análise granulométrica (Figura 4.4) permitem confirmar a subdivisão de fácies baseada na descrição do testemunho. A fácies areia fina laminada (de 240 a 165 cm) distingue-se pela baixa concentração de pelíticos (< 5% em massa), pelo diâmetro médio mais grosso (< 2,5 Ø), pelo maior grau de seleção (desvio padrão < 1,2) e pelo caráter assimétrico positivo (> 4,0) e leptocúrtico (> 20,0) da distribuição de frequências de granulometria. A fácies areia argilosa maciça (de 160 a 20 cm) apresenta tendências opostas à fácies basal em termos de granulometria, com aumento na concentração de pelíticos (> 22%), diâmetro médio mais fino (> 3,0 Ø), perda no grau de seleção (desvio padrão > 2,0) e menores assimetria e curtose.

A fácies argila arenosa (de 20 a 0 cm) distingue-se das demais por maior teor de pelíticos (de 20 a 50% em massa), afinamento relativo do diâmetro médio (> 4,0 Ø) e queda nos valores de assimetria e curtose.

Figura 4.4. Variação dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica ao longo do testemunho FIG (parâmetros calculados com teor de pelíticos incluso).

Ao longo da coluna vertical, nota-se a sucessão de três tendências gerais de variação dos parâmetros granulométricos, de baixo para cima: (1) afinamento ascendente, relacionado ao aumento no teor de pelíticos, com perda de seleção e decréscimo de assimetria, até a profundidade 125 cm; (2) melhora de seleção com aumento de assimetria e curtose, relacionada ao decréscimo suave no teor de pelíticos, entre as profundidades 125 e 20 cm; (3) retomada do afinamento ascendente associado a aumento de pelíticos, com queda de assimetria e curtose, entre 20 cm e o topo do testemunho. A mudança de tendência entre (2) e (3) marca a passagem ascendente da fácies areia argilosa maciça para a fácies de argila arenosa com fragmentos vegetais.

Os gráficos de variação das diferentes classes de areia (Figura 4.5) evidenciam predomínio das classes areia fina e areia média ao longo de toda a coluna sedimentar. As principais tendências observadas são o aumento progressivo da concentração de areia muito fina, em detrimento do teor de areia média, em direção ao topo do testemunho, e a maior ocorrência de picos de areia grossa e areia muito grossa no intervalo entre 60 e 0 cm.

Figura 4.5. Distribuição de freqüência das diferentes classes granulométricas no testemunho FIG.

A distribuição de resultados granulométricos ao longo da coluna sedimentar do testemunho RIA (Figura 4.6) reforça a subdivisão em duas fácies principais: a de argila cinza arenosa (de 230 a 80 cm) e a de argila rica em detritos vegetais (de 75 a 0 cm). O contato entre as duas fácies (entre 80 e 70 cm de profundidade) é observado por mudanças em todos os parâmetros estatísticos de distribuição granulométrica. A fácies inferior distingue-se da superior por: pior seleção (desvio padrão > 1,5), assimetria negativa e tendência para curva plati a mesocúrtica. O diâmetro médio na fácies inferior não reflete de forma clara o seu teor total de areia: apesar da proporção maior de areia neste intervalo, o diâmetro médio é mais fino (> 5,5 Ø).

Figura 4.6. Variação dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica ao longo do testemunho RIA (parâmetros calculados com teor de pelíticos incluso).

A fácies argila rica em detritos vegetais apresenta tendências granulométricas opostas, com melhora de seleção (desvio padrão < 2,0, excluídos os valores de desvio padrão que fogem da tendência geral devido a aumentos pontuais no teor de areia), assimetria positiva, diâmetro médio mais grosso (> 6,5 Ø), maior porcentagem em massa de pelíticos e picos eventuais na concentração de areia.

A tendência de variação do diâmetro médio nas duas fácies pode ser melhor compreendida quando observados os gráficos das classes granulométricas separadamente (Figura 4.7). Esta tendência reflete variações dentro da fração pelítica. Apesar do total de pelíticos ser proporcionalmente menor na fácies basal, o teor de argila aí é mais alto, indicando que a fração pelítica deste intervalo é mais fina que na fácies sobrejacente. Pode-se notar ainda que a fração areia também é caracterizada por enriquecimento nas classes mais finas (areia fina e muito fina) na fácies inferior. Na fácies superior do testemunho, os pontos em que são observados aumentos no teor de areia apresentam classes areia grossa e areia muito grossa bem representadas. Mais uma vez, o contato entre as duas fácies determinadas no exame macroscópico é bem caracterizado nos resultados granulométricos, aqui através da aparição destes picos recorrentes de areia grossa a areia muito grossa na fácies superior.

Figura 4.7. Distribuição de freqüências das diferentes classes granulométricas no testemunho RIA.

No testemunho SAN, os resultados de análise granulométrica ressaltam a diferenciação entre a fácies areia fina dos 25 cm inferiores e a fácies argilosa no restante da coluna (Figura 4.8). A fácies basal (240 a 215 cm de profundidade) é caracterizada pelo alto teor de areia (> 80%), com destaque para areia fina e areia muito fina (Figura 4.9), pelo diâmetro médio mais grosso (> 4,0 Ø) e pelo caráter assimétrico positivo (> 0,5) e mais leptocúrtico (2,5 a 9) da distribuição de freqüências granulométricas.

Figura 4.8. Variação dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica ao longo do testemunho SAN (parâmetros calculados com teor de pelíticos incluso).

Na fácies superior, três padrões de variação vertical diferentes podem ser reconhecidos. O intervalo inferior desta fácies argilosa, de 215 a 150 cm, caracteriza-se por nítido padrão ascendente de afinamento, piora do grau de seleção e queda de assimetria, relacionado à diminuição para cima da proporção de areia. No intervalo intermediário da fácies, de 140 a 80 cm, nota-se maior homogeneidade no diâmetro médio ao longo da coluna (entre 6,5 e 7,5Ø), com melhora ascendente de seleção, manutenção da assimetria a valores negativos e curtose ligeiramente mais elevada (meso a leptocúrtica) que no trecho subjacente. Este intervalo intermediário corresponde à porção mais arenosa identificada na

descrição do testemunho e atestada pelo aumento na classe areia muito fina (Figura 4.9a). A distinção desta porção mais arenosa fica mais evidente quando se analisam seus valores característicos de assimetria (dominantemente negativa) e curtose (leptocúrtica), calculados somente para a fração areia (Figura 4.9b).

O intervalo correspondente aos 80 cm superiores do testemunho apresenta diâmetro médio ligeiramente mais grosso, relacionado a elevação das frações de areia (Figura 4.9a), piora no desvio padrão, aumento de assimetria e curva platicúrtica. O aumento da fração areia no intervalo entre 55 e 45 cm (Figura 4.8 e 4.9) não foi observado na descrição macroscópica do testemunho. Esta variação está ligada à maior presença de bioclastos vegetais em todas as classes de areia e, especialmente, na areia grossa e na areia muito grossa (Figura 4.9a).

Figura 4.9. (a) Distribuição de freqüência das diferentes classes granulométricas no testemunho SAN e (b) variação dos parâmetros granulométricos calculada para a fração areia.

4.1.3. Datação e taxa de sedimentação

Lago Figueirinha – testemunho FIG

Os resultados de datação obtidos para o testemunho coletado na turfeira próximo ao Lago Figueirinha (Tabela 4.1) indicam que os sedimentos correspondentes foram depositados desde pelo menos 25760 anos cal AP. Esta idade foi obtida na base da fácies areia argilosa maciça, na profundidade de 160 cm. A fácies areia fina laminada, na porção basal do testemunho (240 a 165 cm), não foi datada por ^{14}C devido aos baixos teores de carbono do sedimento (0,02% de carbono orgânico; ver anexo 4).

Tabela 4.1. Idades ^{14}C convencionais e calibradas obtidas para o testemunho FIG.

Número de laboratório	Profundidade (cm)	Material	$\delta^{13}\text{C}$	Idade ^{14}C convencional (anos AP ou pMC*)	Idades calibradas (anos cal AP)
Beta 205084	5	turfa	-22,3	$109,2 \pm 0,5^*$	Moderno
Beta 205085	40	turfa	-25,3	1070 ± 40	1060 - 930
Beta 224106	50	matéria orgânica	-21,8	2340 ± 40	2440 - 2410 2370 - 2320
Beta 224107	60	matéria orgânica	-18,7	3480 ± 40	3850 - 3640
Beta 205086	70	matéria orgânica	-18,7	4380 ± 40	5050 - 4850
Beta 224108	80	matéria orgânica	-18,1	4410 ± 40	5270 - 5180 5060 - 4860
Beta 224109	100	matéria orgânica	-18,3	7570 ± 40	8420 - 8340
Beta 224110	120	matéria orgânica	-17,9	12210 ± 60	14230 - 13890
Beta 205087	130	matéria orgânica	-19,1	15880 ± 60	19400 - 18530
Beta 224111	140	matéria orgânica	-18,9	19020 ± 120	22880 - 22270
Beta 224112	160	matéria orgânica	-21,2	21150 ± 20	25760 - 24990

A partir dos dados de datação, foram calculadas as taxas de sedimentação para cada trecho do testemunho entre dois níveis datados (Figura 4.10). À exceção dos intervalos entre 80 e 70 cm e entre 40 e 5 cm, as taxas de sedimentação encontradas são menores que 0,1 mm/ano. A maior taxa de sedimentação foi de 10 mm/ano (entre 80 e 70 cm de profundidade) e a menor, de 0,018 mm/ano (entre 130 e 120 cm). A utilização dos valores obtidos para o trecho entre 80 e 70 cm deve ser feita com cautela, uma vez que a diferença de 9,7 mm/ano entre a taxa de sedimentação mínima e a máxima corresponde a 97% da taxa máxima encontrada. De qualquer forma, mesmo considerando-se somente a taxa mínima, quando este trecho da coluna sedimentar é comparado com os níveis abaixo e

acima, observa-se aumento expressivo na taxa de sedimentação, a qual é comparável somente aos valores obtidos no topo do testemunho.

Prof (cm)	Idade (anos cal AP)		Intervalo vertical (cm)	Duração mínima (anos)	Duração máxima (anos)	Taxa de sedimentação (mm/ano)	
	máxima	mínima				mínima	máxima
5	Moderno						
40	1060	930	0 - 40	930	1060	0,377	0,430
50	2440	2410	40 - 50	1260	1510	0,066	0,079
	2370	2320					
60	3850	3640	50 - 60	1200	1530	0,065	0,083
70	5050	4850	60 - 70	1000	1410	0,071	0,100
80	5270	5180	70 - 80	10	420	0,238	10,000
	5060	4860					
100	8420	8340	80 - 100	3070	3560	0,056	0,065
120	14230	13890	100 - 120	5470	5890	0,034	0,037
130	19400	18530	120 - 130	4300	5510	0,018	0,023
140	22880	22270	130 - 140	2870	4350	0,023	0,035
160	25760	24990	140 - 160	2110	3490	0,057	0,095

Figura 4.10. Idades ^{14}C calibradas e taxas de sedimentação em função da profundidade no testemunho FIG. As datações destacadas em cinza no quadro foram excluídas dos cálculos de taxa de sedimentação, uma vez que considerou-se apenas as idades mínima e máxima por intervalo.

A análise integrada dos resultados de datação e granulometria permite interpretar que as tendências de variação nas curvas dos diferentes parâmetros granulométricos da parte inferior do testemunho (da base do testemunho até aproximadamente 125 cm) coincidem com os sedimentos datados como do Pleistoceno (ver item 4.1.2., *Lago Figueirinha - testemunho FIG*, Figura 4.4). O hiato deposicional ou redução brusca na taxa de sedimentação, com mudança de regime deposicional, que teria ocorrido entre o Pleistoceno e o Holoceno, deve situar-se aproximadamente entre as profundidades de 120 e 100 cm. Sob esse aspecto, o limite entre as fácies basal e a intermediária poderia ser aí reposicionado, passando a fácies inferior a ser caracterizada pelo progressivo aumento de pelíticos para o topo.

Vale do Riachinho – testemunho RIA

Para estabelecer a cronologia do testemunho RIA foram selecionadas 11 amostras para datação. De acordo com os resultados obtidos, os sedimentos da coluna coletada depositaram-se desde pelo menos 5310 anos cal AP, idade obtida em 215 cm de profundidade (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Idades ^{14}C convencionais e calibradas obtidas para o testemunho RIA.

Número de laboratório	Profundidade (cm)	Material	$\delta^{13}\text{C}$	Idade ^{14}C convencional (anos AP ou pMC*)	Idades calibradas (anos cal AP)
Beta 205093	5	turfa	-27,5	1160 $\pm$ 40	1170 - 970
Beta 224099	30	turfa	-26,4	1740 $\pm$ 40	1730 - 1550
Beta 205094	40	turfa	-26,3	1930 $\pm$ 40	1960 - 1810
Beta 205095	65	turfa	-26	2580 $\pm$ 40	2760 - 2710
					2560 - 2540
Beta 205096	80	matéria orgânica	-26	2490 $\pm$ 40	2740 - 2370
Beta 224100	110	matéria orgânica	-18,9	3370 $\pm$ 40	3700 - 3540
					3540 - 3480
Beta 205097	140	matéria orgânica	-16,3	3430 $\pm$ 40	3820 - 3580
Beta 243984	185	matéria orgânica	-17,9	3700 $\pm$ 50	4220 - 4210
					4160 - 3900
Beta 224098	195	concha	-1,7	3440 $\pm$ 40	3400 - 3230
Beta 243985	215	matéria orgânica	-19,5	4500 $\pm$ 40	5310 - 5030
					5010 - 4980
Beta 205098	225	concha	-0,4	3770 $\pm$ 40	3820 - 3600

Na elaboração do modelo de idades para o testemunho RIA (Figura 4.11), fácies basal, foram utilizadas somente as datações adquiridas a partir da matéria orgânica preservada nos sedimentos, excluindo-se assim as idades mais recentes obtidas nas amostras de conchas de *Anomalocardia brasiliensis* (195 e 225 cm). Uma possível explicação

para as idades mais jovens encontradas nestas conchas é que se trata de moluscos de infauna, os quais poderiam portanto se enterrar e ser preservados em camadas mais antigas que as do fundo lagunar de sua época de vida. Outra explicação seria a reprecipitação de carbonato nas conchas, após o soterramento, com incorporação de carbono recente e conseqüente rejuvenescimento das idades. Porém, esta hipótese não é a mais provável, uma vez que este tipo de contaminação, em depósitos holocênicos, é comumente restrito à superfície da concha, sendo assim facilmente eliminado pela lavagem ácida utilizada no pré-tratamento das amostras para datação.

As idades obtidas em amostras imediatamente acima e abaixo do contato entre as duas fácies descritas para o testemunho RIA, considerada a precisão de cada datação, apresentam sobreposição. Isto pode indicar que os processos formadores destas fácies ocorreram lado a lado, com rápida sucessão.

As maiores taxas de sedimentação calculadas observam-se na fácies argila arenosa, no trecho entre 185 e 110 cm, coincidente com o intervalo de maior aporte de areia fina e areia muito fina (Figura 4.7) da fácies basal do testemunho. As taxas de sedimentação para o trecho do testemunho correspondente ao contato entre as fácies não foram calculadas, uma vez que se considerou que estas foram formadas concomitantemente e que a natureza irregular do contato (Figura 4.2b) poderia sugerir interdigitação de dois processos sedimentares distintos, ocorrendo lado a lado em mesmas superfícies de tempo.

Prof (cm)	Idade (anos cal AP)		Intervalo vertical (cm)	Duração mínima (anos)	Duração máxima (anos)	Taxa de sedimentação (mm/ano)	
	máxima	mínima				mínima	máxima
5	1170	970	0 - 5	970	1170	0,043	0,052
30	1730	1550	5 – 30	380	760	0,329	0,658
40	1960	1810	30 - 40	80	410	0,244	1,250
65	2760	2710	40 – 65	580	950	0,263	0,431
	2560	2540	65 - 80 **				
80	2740	2370					
110	3700	3540	80 – 110	740	1330	0,226	0,405
	3540	3480					
140	3820	3580	110 – 140	100	340	0,882	3,000
185	4220	4210	140 – 185	80	640	0,703	5,625
	4160	3900					
195	3400	3230	concha				
215	5010	4980	185 – 215	760	1110	0,270	0,395
225	3820	3600	concha				

** contato entre as fácies sedimentares, sugere-se a interdigitação de dois processos sedimentares distintos, ocorrendo lado a lado em mesmas superfícies de tempo.

Figura 4.11. Idades ^{14}C calibradas e taxas de sedimentação em função da profundidade no testemunho RIA. As idades destacadas em cinza no quadro foram excluídas dos cálculos de taxa de sedimentação, uma vez que considerou-se apenas as idades mínima e máxima por intervalo e não foram utilizadas as idades obtidas em conchas para a elaboração do modelo de idades.

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

De acordo com as idades obtidas no testemunho SAN, os sedimentos da coluna amostrada foram depositados desde pelo menos 2900 anos cal AP (Tabela 4.3), data encontrada em 225 cm de profundidade.

Tabela 4.3. Datações ^{14}C convencional e idades calibradas obtidas para o testemunho SAN.

Número de laboratório	Profundidade (cm)	Material	$\delta^{13}\text{C}$	Idade ^{14}C convencional (anos AP ou pMC*)	Idades calibradas (anos cal AP)
Beta 205099	5	turfa	-23,9	102,3 $\pm$ 0,5*	Moderno
Beta 224101	50	matéria orgânica	-28,9	1140 $\pm$ 40	1170 - 960
Beta 205100	60	turfa	-28,8	1090 $\pm$ 40	1070 - 930
Beta 224102	80	matéria orgânica	-28,4	1830 $\pm$ 40	1870 - 1690 1650 - 1640
Beta 243981	95	matéria orgânica	26,4	3410 $\pm$ 40	3820 - 3800 3730 - 3570
Beta 205101	100	matéria orgânica	-27,3	3120 $\pm$ 50	3450 - 3230
Beta 224103	120	matéria orgânica	-28,3	2370 $\pm$ 40	2480 - 2340
Beta 205102	140	madeira	-27,2	1220 $\pm$ 40	1260 - 1060
Beta 243982	155	matéria orgânica	27,1	3040 $\pm$ 40	3360 - 3150
Beta 224104	160	madeira	-29,8	2220 $\pm$ 40	2340 - 2130
Beta 224105	205	madeira	-28,6	2430 $\pm$ 40	2710 - 2630 2620 - 2350
Beta 243983	225	turfa	27,5	2730 $\pm$ 40	2920 - 2900 2890 - 2760
Beta 205103	235	matéria orgânica	-30,1	2600 $\pm$ 40	2770 - 2720

Este testemunho foi, dentre os três analisados, o que apresentou resultados de datação com maior número de inversões de idade. Em vista disso, a cronologia e o modelo de idades para o testemunho SAN (Figura 4.12) foram elaborados com base somente em seis das 13 amostras datadas.

Entre 60 e 50 cm de profundidade, observa-se pequena inversão nas idades, talvez provocada pela diferença entre materiais datados: matéria orgânica versus turfa. Neste caso, admitindo-se os erros envolvidos, pode-se considerar que a maior parte do intervalo de idades se sobrepõe.

No intervalo entre 155 e 95 cm de profundidade, as idades obtidas da matéria orgânica preservada nos sedimentos é mais antiga que as determinadas em madeira ou turfa próximas à base do testemunho. Conforme os resultados de granulometria, o trecho em questão corresponde à porção mais arenosa da fácies superior do testemunho, o que já pudera ser observado na descrição macroscópica (item 4.1.1, *Vale do rio Sangão – testemunho SAN*), com aumento na concentração da classe areia muito fina (Figura 4.9a).

Este trecho também é bem definido nas curvas de variação de assimetria e curtose calculadas para a fração areia (Figura 4.9b). Esta porção mais arenosa, dentro de fácies composta essencialmente por sedimentos pelíticos (>80% em massa), poderia sugerir a deposição episódica de sedimentos retrabalhados, com fragmentos vegetais e matéria orgânica mais antiga, o que justificaria a inversão de idades neste trecho.

Na base da coluna sedimentar, novamente se observa inversão de idades entre amostras datadas em materiais distintos. Neste caso, é possível que a idade obtida em 235 cm possa ser de matéria orgânica mais nova, percolada para camadas mais profundas.

Prof (cm)	Idade (anos cal AP)		Intervalo vertical (cm)	Duração mínima (anos)	Duração máxima (anos)	Taxa de sedimentação (mm/ano)	
	máxima	mínima				mínima	Máxima
5	Moderno						
50	1170	960	0 - 50	960	1170	0,427	0,521
60	1070	930					
80	1870	1690	50 - 80	470	910	0,330	0,638
	1650	1640					
95	3730	3570	** ?				
	3820	3800					
100	3450	3230					
120	2480	2340					
140	1260	1060					
155	3360	3150					
160	2340	2130					
205	2710	2630	160 - 205	220	580	0,776	2,045
	2620	2350					
225	2920	2900	205 - 225	50	570	0,351	4,000
	2890	2760					
235	2770	2720					

** intervalo não utilizado para a elaboração do modelo de idades, trecho do testemunho onde observa-se inversão de idades, onde supõe-se a deposição episódica de sedimentos retrabalhados.

Figura 4.12. Idades ^{14}C calibradas e taxas de sedimentação em função da profundidade no testemunho SAN. As idades destacadas em cinza no quadro foram excluídas dos cálculos de taxa de sedimentação, uma vez que considerou-se apenas as idades mínima e máxima por intervalo.

4.2. Geoquímica

Os resultados obtidos da análise de C_{org} (%), N_{total} (%), $\delta^{13}C$ (‰), $\delta^{15}N$ (‰) e C/N estão listados nos Anexos 4, 5 e 6. Nesta seção, os resultados são apresentados de forma gráfica, com variação dos teores segundo a profundidade, para cada um dos testemunhos.

Lago Figueirinha – testemunho FIG

A variação elementar e isotópica de C e N ao longo do testemunho FIG é apresentada na Figura 4.13. Os teores de C_{org} variam de 0,02 a 9%, com as maiores concentrações encontradas na porção superior do testemunho (fácies argila arenosa com fragmentos vegetais). O comportamento do N_{total} é similar ao do C_{org} , com aumento de teores rumo ao topo do perfil (variação de 0,001 a 0,9%).

Os valores da razão C/N apresentam flutuação ao longo de todo perfil, de 10 a 45, com a maioria dos valores entre 11 e 20, o que indica mistura de fitoplâncton e plantas terrestres como fonte da matéria orgânica preservada nos sedimentos.

Figura 4.13. Teores de C_{org} (%), $\delta^{13}C$ (‰), N_{total} (%), $\delta^{15}N$ (‰) e C/N ao longo do testemunho FIG.

Os valores de $\delta^{13}C$ ao longo do testemunho estão entre -23,2 e -17,8 ‰. O intervalo inferior do testemunho (240 a 160 cm), os teores variam de -21,2 a -20,1 ‰. Observa-se enriquecimento em isótopo pesado no intervalo intermediário do testemunho, entre 160 e 60

cm, com valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ de $-18,4\text{‰}$ (valores mais enriquecidos em 120 e 80 cm, $-17,8$ e $-17,9\text{‰}$ respectivamente). Os 60 cm superiores do testemunho apresentam os valores mais empobrecidos de todo o perfil, com variação de -22 a $-23,1\text{‰}$. Os resultados obtidos para $\delta^{15}\text{N}$ apresentam tendência geral de enriquecimento isotópico rumo ao topo do perfil, com variação de $-5,7$ a $5,2\text{‰}$, com exceção do valor obtido em 190 cm ($-11,16\text{‰}$). Os dados obtidos para $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ também permitem inferir a origem mista da matéria orgânica preservada nos sedimentos, com contribuições tanto de plantas terrestres (C3 e C4) como de algas.

O elevado coeficiente de correlação entre C_{org} e N_{total} ($r = 0,98$; Figura 4.14a) indica a natureza orgânica do nitrogênio analisado, o que possibilita seu uso para interpretações sobre a origem da matéria orgânica nos sedimentos (Hedges *et al.*, 1986). Desta forma, a observação do gráfico $\delta^{13}\text{C}$ vs. C/N (Figura 4.14b) confirma mistura de plantas terrestres e fitoplâncton na fonte da matéria orgânica preservada nos sedimentos do testemunho FIG.

Figura 4.14. Gráficos de dispersão entre C_{org} e N_{total} (a) e $\delta^{13}\text{C}$ vs. C/N (b) para o testemunho FIG. A reta e a função no gráfico (a) representam resultados de análise de regressão linear. Os diferentes campos no gráfico (b) correspondem a possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos (modificado de Sifeddine *et al.*, 2004).

Vale do Riachinho – testemunho RIA

A variação dos dados obtidos da análise de C_{org} , N_{total} , $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para o testemunho RIA é apresentada na Figura 4.15.

Assim como os resultados de granulometria, que permitem separar o testemunho RIA em duas fácies com características bastante distintas, os dados de geoquímica também apresentam contrastes marcantes entre a parte basal (de 240 a 80 cm) e o intervalo superior do testemunho (75 a 0 cm).

Figura 4.15. Teores de C_{org} (%), δ¹³C (‰), N_{total} (%), δ¹⁵N (‰) e C/N ao longo do testemunho RIA.

A fácies argila arenosa maciça (240 a 80 cm) é caracterizada por: (1) baixos valores de C_{org} (0,9 a 5,7%) e N_{total} (0,1 a 0,3%), com aumento progressivo dos valores rumo ao topo do intervalo; (2) δ¹³C entre -17,1 e -23,7‰, com diminuição acelerada entre 100 e 80 cm (de -17,5 a 23,7‰); (3) valores de δ¹⁵N variável de 5,3 a 16,7‰ (com valor médio > 9 ‰); e (4) razão C/N < 20 (à exceção da profundidade 90 cm: razão C/N 22,8).

O intervalo superior do testemunho, de 75 a 0 cm, coincidente com a fácies argila rica em detritos vegetais, apresenta características opostas quanto a análise elementar e isotópica de C e N. Este intervalo apresenta altos valores de C_{org} (> 37,8%) e N_{total} (> 1,5%), valores mais baixos de δ¹³C e δ¹⁵N (< -23,4 e < 0,8‰, respectivamente) e razão C/N entre 15,3 e 32,7.

O coeficiente de correlação r entre C_{org} e N_{total} para o testemunho RIA é de 0,96 (Figura 4.16a), o que confirma a natureza orgânica do nitrogênio analisado. A observação do gráfico δ¹³C vs. C/N (Figura 4.16b) permite identificar a clara separação de três grupos de pontos, referentes a porções específicas do testemunho, com indicativos de fontes distintas para a matéria orgânica preservada nos sedimentos.

Figura 4.16. Gráficos de dispersão entre C_{org} e N_{total} (a) e $\delta^{13}C$ vs. C/N (b) para o testemunho RIA. A reta e a função no gráfico (a) representam resultados de análise de regressão linear. Os diferentes campos no gráfico (b) correspondem a possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos (modificado de Sifeddine *et al.*, 2004).

O primeiro grupo de pontos corresponde aos sedimentos da base do testemunho até a profundidade de 130 cm, caracterizado pelo predomínio de matéria orgânica de origem fitoplancônica. Os valores encontrados, de $\delta^{13}C$ (-17,1 a 20,0‰), são indicativos de fitoplâncton marinho (Tyson, 1995; Meyers, 1997). O segundo grupo apresenta valores característicos de mistura de fontes da matéria orgânica, com contribuições tanto de fitoplâncton como de plantas terrestres. Este grupo de pontos corresponde a amostras entre 120 e 80 cm de profundidade. O terceiro grupo, referente às amostras entre 70 e 0 cm, indica predomínio de plantas C3.

Portanto, da análise do gráfico $\delta^{13}C$ vs. C/N é possível identificar a passagem gradual de fonte da matéria orgânica com forte influência marinha (fácies argila arenosa) para fonte continental (fácies argila rica em detritos vegetais).

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

Os resultados obtidos para a análise geoquímica dos sedimentos do testemunho SAN são apresentadas na Figura 4.17. Os teores de C_{org} variam de 4,2 a 27,3 %, ao longo de todo o perfil. A partir da curva lançada para os teores de C_{org} em relação a profundidade, observa-se aumento ascendente progressivo de teor entre 220 a 180 cm (com aumento mais expressivo entre 190 e 180 cm, de 13,4 a 20,7%), seguido de tendência de diminuição dos teores até a profundidade de 90 cm (de 20,7 em 180cm a 7,7% em 90 cm) e de novo aumento progressivo do C_{org} até 60 cm. Acima de 60 cm, a variação do C_{org} apresenta dois

picos de maior concentração (em 60 e 20 cm, ambos com 27%) e queda dos valores nos sedimentos do topo do testemunho.

Figura 4.17. Teores de C_{org} (%), $\delta^{13}C$ (‰), N_{total} (%), $\delta^{15}N$ (‰) e C/N ao longo do testemunho SAN. As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido

A variação do N_{total} segue as mesmas tendências observadas para o C_{org} , com teores entre 0,09 a 2,4 % ao longo da coluna.

Os valores de $\delta^{13}C$ variam de -29,3 a -22,5 ‰, com a maioria dos valores ≥ -27 ‰, o que indica forte presença de plantas C3 e/ou fitoplâncton de água doce, uma vez que as assinaturas isotópicas do $\delta^{13}C$ da matéria orgânica de plantas terrestres C3 e de algas de água doce são similares, com valores médios de -27‰ (Meyers, 1997). De 20 a 0, cm observa-se aumento nos valores do $\delta^{13}C$ (-28,6 a -22,5‰).

O $\delta^{15}N$ varia de -3,4 a 3,8 ‰ ao longo do testemunho. Entre 180 e 90 cm, há enriquecimento isotópico acentuado, com valores entre -2,9 e 3,8 ‰ (180 e 90 cm respectivamente). Os valores passam bruscamente de 3,8 a -2,1 ‰ (de 90 a 80 cm) e mantêm-se com valores negativos até o topo do perfil.

A razão C/N varia de 47,4 a 7,07, porém, quase a totalidade do testemunho apresenta valores entre 11 e 20, o que indica mistura de fontes de matéria orgânica (algas e plantas terrestres).

A alta correlação entre o C_{org} e N_{total} ($r = 0,91$; Figura 4.18a) comprova a natureza orgânica do nitrogênio analisado. O gráfico $\delta^{13}C$ vs. C/N (Figura 4.18b) permite a interpretação de que a matéria orgânica preservada nos sedimentos apresenta mistura de plantas terrestres C3 e fitoplâncton, sendo que os valores de $\delta^{13}C$ indicam fitoplâncton de água doce.

Figura 4.18. Gráficos de dispersão entre C_{org} e N_{total} (a) e $\delta^{13}C$ vs. C/N (b) para o testemunho SAN. A reta e a função no gráfico (a) representam resultados de análise de regressão linear. Os diferentes campos no gráfico (b) correspondem a possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos (modificado de Sifeddine *et al.*, 2004).

4.3. Análise de diatomáceas

O tratamento dos resultados obtidos para o estudo das diatomáceas foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, calcularam-se as frequências relativas das espécies em relação à soma total de indivíduos por amostra. Foram elaborados, para cada testemunho, diagramas de porcentagens da espécies dominantes versus profundidade, com o objetivo de verificar a evolução destes taxa ao longo dos perfis verticais. Além disso, as floras reconhecidas em cada testemunho foram agrupadas segundo parâmetros ecológicos como salinidade, pH e modo de vida (a lista com os requerimentos ecológicos das espécies é apresentada no Anexo 7).

A segunda etapa de análise dos dados consistiu na utilização de métodos de estatística multivariada (análise fatorial de correspondência e análise de agrupamento ou *cluster*) para a separação de grupos de amostras semelhantes entre si e identificação das espécies responsáveis pela formação destes grupos. As análises estatísticas foram realizadas com o objetivo de aprofundar e refinar as interpretações relativas a este bioindicador.

As tabelas contendo a frequência relativa das espécies, ao longo dos três testemunhos, encontram-se anexas (Anexo 8, 9 e 10).

Lago Figueirinha – testemunho FIG

O testemunho FIG mostrou-se pouco fértil para o estudo de diatomáceas. De todas as amostras processadas para esta finalidade, somente cinco (contidas no intervalo entre 20 a 0 cm de profundidade) mostraram conteúdo de diatomáceas suficiente para a realização de uma contagem mínima de espécimes por amostra. Desta forma, será apresentada somente a caracterização geral da flora observada neste trecho da coluna. A etapa que concerne ao uso de métodos de estatística multivariada não foi feita devido ao baixo universo amostral obtido para este testemunho.

A flora de diatomáceas do testemunho FIG conta com um total de 68 espécies, divididas em 18 gêneros. Os gêneros com maior diversidade específica são *Eunotia* (13 espécies), *Pinnularia* (13 espécies) e *Navicula* (10 espécies). Dentre as espécies dominantes (Figura 4.19a), destacam-se as do gênero *Brachysira*: *Brachysira serians* e *Brachysira brebissonii*.

Através do levantamento bibliográfico sobre a preferência ecológica das espécies, pôde-se constatar que as assembléias descritas para as cinco amostras são essencialmente compostas por taxa oligosalinos e perifíticos (> 90%). Quanto ao pH, as espécies acidófilas são dominantes e variam de 68 a 78 % da flora no trecho analisado (Figura 4.19b).

Figura 4.19. Resultados obtidos da análise de diatomáceas do testemunho FIG: (a) diagramas de porcentagem das espécies dominantes, variação na concentração de diatomáceas nos sedimentos (n°valvas / grama de sedimento seco), numero de espécies por amostra e (b) diagrama de agrupamento ecológico das espécies segundo o pH.

A análise de diatomáceas do testemunho FIG permite tecer alguns comentários. As amostras com diatomáceas restringem-se a fácies argila arenosa com fragmentos vegetais, do topo do testemunho. Nos 20 cm analisados, não são observadas mudanças significativas quanto à flora. Os *taxa* encontrados caracterizam lâmina de água rasa, oligosalina e ácida. Estas são as mesmas condições observadas atualmente na turfeira onde o testemunho foi coletado: o substrato apresenta-se encharcado e, nos locais onde se observa lâmina de água livre, a profundidade não ultrapassa 10 a 15 cm, com valores de pH, medidos no campo, entre 5,89 e 6,07.

Vale do Riachinho – testemunho RIA

Como descrito no capítulo referente aos métodos, a amostragem para o estudo de diatomáceas foi realizada em intervalos verticais de 5 cm ao longo de todo o perfil. Porém, entre 0 e 75 cm de profundidade, não foram observadas valvas inteiras de diatomáceas, somente raros fragmentos em poucas amostras, o que impossibilitou a determinação e contagem das espécies. Desta forma, os dados aqui apresentados referem-se ao intervalo do testemunho entre 80 e 225 cm, perfazendo um total de 30 amostras analisadas, todas pertencentes à fácies argila arenosa cinza.

Na flora de diatomáceas preservada no testemunho RIA, foram identificados 123 *taxa*, distribuídos em 46 gêneros. Diagramas de porcentagem das espécies dominantes ao longo da coluna sedimentar são apresentados na Figura 4.20. Dentre as espécies mais freqüentes do testemunho, *Paralia sulcata* aparece como dominante em quase todo perfil, com exceção das amostras R225, R220 e R115, nas quais o domínio é de *Cymatosira belgica*. As espécies dominantes são, na maior parte, marinhas (euritópicas e estenotópicas). *Taxa* oligossalobros, como *Caloneis bacillum*, *Nitzschia tryblionella* e *Cyclotella steligera*, aparecem com maior importância apenas acima de 100 cm.

A partir da identificação das espécies, procurou-se verificar os requerimentos ecológicos de cada *taxon* para elaboração de diagramas de agrupamento segundo a salinidade e habitat preferencial (Figura 4.21), a fim de observar possíveis mudanças ambientais no intervalo estudado. Além dos diagramas de porcentagem e de agrupamento, foram elaborados gráficos com o número de espécies por amostra e de teor de diatomáceas nos sedimentos (nº valvas / grama de sedimento seco), de modo a avaliar-se a diversidade da flora nos diferentes níveis e observar variações na produtividade do ambiente (Figura 4.21).

A diversidade de espécies ao longo do perfil varia de 21 a 61 espécies por amostra, com 60% dos valores entre 40 e 50. A maior diversidade foi registrada nas amostras basais, dentro dos 15 cm inferiores, e a menor diversidade em 80 cm de profundidade (21 *taxa*).

A concentração de diatomáceas no sedimento varia de $4,37 \times 10^6$ a $3,98 \times 10^7$. O teor de diatomáceas nos sedimentos pode indicar variações na produtividade biológica, porém deve-se observar se estas variações não estão ligadas a mudanças lito ou faciológicas. Os valores observados entre 200-160 cm e 140-110 cm podem ser subestimados, levando a uma falsa interpretação de aumento de produtividade entre 160 e 140 cm. Os intervalos onde o teor de diatomáceas é mais baixo coincidem com porções do testemunho onde se observa aumento nas porcentagens de areia fina e areia muito fina, enquanto que o pico de concentração de diatomáceas está justamente onde a porcentagem em massa de pelíticos é maior que 95% (ver distribuição granulométrica nas Figuras 4.9 e 4.10). Com base nisso, considera-se que as variações nos teores de diatomáceas no intervalo de 200 a 110 cm não devam ser atribuídas a mudanças de produtividade. Porém, a queda nos valores de concentração entre 100 e 80 cm, associada a menor diversidade da flora, pode revelar alterações nas condições ambientais e conseqüente diminuição na produtividade do sistema; uma vez que esta porção do testemunho não registra mudanças litológicas expressivas e mantém o teor de pelíticos na ordem de 90%.

Com respeito a salinidade, a flora de diatomáceas estudada exhibe pelo menos quatro variações importantes, da base para o topo da coluna sedimentar (Figura 4.21): predomínio de espécies marinhas estenotópicas (45 a 50%), no intervalo entre 225 a 220 cm; aumento de *taxa* marinhos eurióticos, entre 215 e 170 cm, chegando a 67% da assembléia de diatomáceas; novo aumento na freqüência de espécies marinhas estenotópicas, de 170 a 105 cm; e retorno do predomínio de *taxa* marinhos eurióticos, de 100 a 80 cm, com crescimento nas porcentagens de *taxa* oligosalinos, os quais passam a representar 26% da flora nesse intervalo; esta variação indica importante redução na salinidade.

A maioria das espécies apresenta forma de vida tico-planctônica, podendo viver tanto associada ao perifíton quanto em suspensão na água. O predomínio de espécies tico-planctônicas aliada à presença de espécies perifíticas, que ocorrem com concentração média de 30% ao longo da coluna, indicam que a paleolaguna, pelo menos no intervalo amostrado, não deve ter sido muito profunda.

Figura 4.20. Diagramas de porcentagem das principais espécies de diatomáceas encontradas no testemunho RIA.

Figura 4.21. Variação, em função da profundidade, na concentração de diatomáceas nos sedimentos (nº valvas / grama de sedimento seco), número de espécies encontradas por amostra e diagramas ecológicos de agrupamento das espécies segundo salinidade e habitat preferencial (testemunho RIA).

- Análise fatorial de correspondência

A análise fatorial de correspondência (AFC) foi feita considerando um conjunto de 123 espécies de diatomáceas, definidas por sua abundância (número de indivíduos contados), em um total de 30 amostras. Os dez primeiros fatores representam 77,71% da variância. Na AFC, cada fator, ou eixo fatorial, representa uma parte da informação global expressa em porcentagem de inércia; neste caso, os quatro primeiros eixos concentram 52,77% de inércia total, isto é, metade das informações (Tabela 4.4). Para melhor visualização dos grupos formados pela AFC, são apresentados nesta seção somente os gráficos com as amostras nos planos fatoriais. As tabelas contendo as coordenadas fatoriais, contribuições absolutas e relativas para cada amostra e espécie, bem como os gráficos onde aparecem a posição de cada espécie segundo os quatro primeiros eixos, encontram-se anexos.

Tabela 4.4. Valor próprio, porcentagem de inércia e inércia acumulada para os dez primeiros eixos fatoriais obtidos pela AFC, para o testemunho RIA.

Eixo	Valor próprio	% Inércia	% Inércia acumulada
1	0,238	22,63	22,63
2	0,141	13,44	36,07
3	0,1	9,49	45,56
4	0,076	7,21	52,77
5	0,071	6,76	59,53
6	0,054	5,12	64,65
7	0,038	3,66	68,31
8	0,036	3,43	71,74
9	0,033	3,21	74,95
10	0,029	2,76	77,71

Como já discutido na parte referente à descrição metodológica (item 3.2.3.2), a análise e interpretação dos resultados da AFC foi feita seguindo o método sugerido por Fénelon (1981 *apud* Paillès 1989; Sylvestre, 1997), que visa colocar em evidência os grupos de amostras e espécies que definem os eixos fatoriais através da observação das contribuições absolutas (CA) e relativas (CR). Neste caso, as amostras que definem os eixos são aquelas com contribuições absolutas superiores a 66,6 ($>2 \times 1000/30$) e as espécies que possuam contribuição absoluta maior que 16,26 ($>2 \times 1000/123$).

O plano fatorial 1-2 concentra 36,07% da inércia total. O eixo 1 contém dois grupos opostos (Figura 4.22): o grupo I, do lado positivo do eixo, e o grupo II, do lado negativo. O grupo I é definido pelas amostras R80, R85 e R90 (o código da amostra indica o perfil analisado, R = RIA, e o nº, a profundidade da amostra no testemunho). A análise das CA e CR indica que este grupo é responsável pela definição do eixo 1 e é bem representado por ele (Tabela 4.5). Associada a este grupo, está a espécie *Cyclotella stelligera*, com importantes contribuições absolutas e contribuição relativa de 80%. As outras espécies que

1 VALEURS DES EXTREMES -.5052 1.8826 -.7367 .9127
 REPRESENTATION DE 30 POINTS SUR 1 PAGE(S) AXE HORIZONTAL: 1 AXE VERTICAL: 2 PAGE 1
 ANALYSE FACTORIELLE RIA BRESIL

Figura 4.22. Plano fatorial 1-2 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho RIA.

Tabela 4.6. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo **III** (eixo fatorial 2).

Eixo 2		
Amostra/espécie	Contribuição absoluta	Contribuição relativa (%)
R180	209	44
R200	96	34
<i>Achnanthes</i> sp.	17	69
<i>Cocconeis</i> sp.	62	85
<i>Plagiogramma pulchellum</i>	19	89

Grupo **III** – lado positivo do eixo 2

O plano fatorial 2-3 coloca em evidência os grupos **IV** e **V** (Figura 4.23). O grupo **IV**, formado pelas amostras R100, R120, R140 e R160, justifica-se pela frequência da espécie *Nitzschia granulata*. Este grupo de amostras é responsável pela definição do eixo 3 (Tabela 4.7).

Tabela 4.7. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo **IV** e **V** (eixo fatorial 3).

Eixo 3		
Amostra/espécie	Contribuição absoluta	Contribuição relativa (%)
R100	129	27
R120	121	31
R140	121	31
R160	124	29
<i>Nitzschia granulata</i>	219	73
R165	23	13
R175	15	9
R185	18	12
R190	33	19
R195	47	27
R205	60	33
R210	44	20
R215	47	16
<i>Dimeregramma maculatum</i>	33	83
<i>Grammatophora oceanica</i>	59	52
<i>Plagiogramma staurophorum</i>	27	76

Grupo **IV** – lado positivo do eixo 3

Grupo **V** – lado negativo eixo 3

No grupo **V**, embora não ocorram amostras com altas contribuições absolutas, destaca-se um conjunto de amostras semelhantes entre si no lado negativo do eixo 3. Este conjunto está associado às espécies *Dimeregramma maculatum*, *Grammatophora oceanica* e *Plagiogramma staurophorum*, importantes na formação deste eixo (CA>16).

O plano 3-4 mostra a separação do grupo **IV** em dois subgrupos, **IVa** e **IVb**, posicionados em lados opostos do eixo 4 (Figura 4.24). O grupo **IVa**, apesar de ter contribuições absolutas importantes no eixo fatorial 4, é melhor representado pelo eixo 3 (Tabelas 4.7 e 4.8). Este subgrupo conserva as características do grupo **IV**, sendo associado à espécie *Nitzschia granulata*. O grupo **IVb** mostra o reagrupamento da amostra R100 com a amostra R95. Este novo grupo é explicado pelas frequências dos taxa *Biddulphia pulchella* e *Caloneis bacillum*.

Figura 4.23. Plano fatorial 2-3 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho RIA.

Figura 4.24. Plano fatorial 3-4 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho RIA.

Tabela 4.8. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo **IVa** e **IVb** (eixo fatorial 4).

Eixo 4		
Amostra/espécie	Contribuição absoluta	Contribuição relativa (%)
R120	118	23
R140	44	09
R160	124	22
<i>Nitzschia granulata</i>	42	11
R95	182	45
R100	89	14
<i>Biddulphia pulchella</i>	203	69
<i>Caloneis bacillum</i>	21	42

Grupo **IVa** – lado positivo eixo 4

Grupo **IVb** – lado negativo eixo 4

- Tentativa de interpretação da AFC

Estudos paleoambientais baseados na análise de diatomáceas e/ou palinórfos em sucessões sedimentares normalmente lidam com elevado número de dados, devido à diversidade dentro dos grupos analisados. No caso do testemunho RIA, o conteúdo de diatomáceas ao longo da coluna sedimentar totalizou 123 espécies em um conjunto de 30 amostras. Numa matriz de dados com estas dimensões (123*30), a relação existente entre amostras e espécies nem sempre é facilmente identificada, sendo necessária a utilização de métodos estatísticos que permitam colocar em evidência os agrupamentos de amostras semelhantes entre si e as espécies a eles relacionadas.

A projeção dos resultados da AFC em planos formados pela intersecção de diferentes eixos fatoriais permite visualizar, de maneira mais clara, as relações entre as variáveis em questão. Mas afinal, o que representa um eixo fatorial? Cada eixo irá representar uma parte da informação global da matriz de dados. No caso desta pesquisa, os eixos fatoriais podem ressaltar condições ecológicas ou geológicas, por exemplo, responsáveis pela distribuição das assembléias de diatomáceas ao longo da coluna sedimentar estudada. Porém, se é relativamente simples achar um significado para o primeiro e segundo eixos, que contêm a maior parte das informações, a interpretação dos demais eixos não é tão evidente devido a complexidade de parâmetros ambientais que entram em jogo na composição de um agrupamento de amostras.

Nos resultados obtidos pela AFC para o testemunho RIA, o eixo 1 representa o máximo da variância global da matriz de dados (22,63%). Este eixo coloca em oposição dois grupos de amostras, caracterizados pela presença das espécies *Cyclotella stelligera* (lado positivo do eixo) e *Cymatosira belgica* (lado negativo do eixo).

A espécie *Cyclotella stelligera* é um *taxon* de água doce, que pode viver em águas levemente salobras (Germain, 1981), enquanto que *Cymatosira belgica* é um *taxon* marinho (Witkowski *et al.*, 2000), que vive em salinidades entre 30 e 40‰. As amostras em posição intermediária em relação a este eixo têm como principal característica as altas frequências

de *Paralia sulcata*, *taxon* marinho que tolera variações nas concentrações salinas do meio (Moreira Filho *et al.*, 1985). A posição dos diferentes agrupamentos de amostras no primeiro eixo fatorial demonstra portanto que o teor de sal na água é fator preponderante para a separação destes grupos e que a salinidade deve ser o parâmetro que representa o eixo 1.

Para testar esta hipótese, compararam-se os diagramas das espécies *Cyclotella stelligera*, *Cymatosira belgica*, *Paralia sulcata*, espécies oligosalinas e espécies marinhas estenotópicas com o gráfico das coordenadas fatoriais das amostras vs. profundidade no testemunho (Figura 4.25). As amostras com maiores freqüências de *Cyclotella stelligera*, e, conseqüentemente, com aumento na porcentagem de espécies oligosalinas são representadas do lado positivo do eixo. De maneira similar, aumentos na freqüência de *Cymatosira belgica* e de espécies marinhas representam-se no seu lado negativo.

Figura 4.25. Diagramas de porcentagem das espécies *Paralia sulcata*, *Cymatosira belgica*, *Cyclotella stelligera*, espécies oligosalinas e marinhas, em comparação com a posição das amostras no eixo 1.

É interessante notar que grupos de amostras onde se observa aumento na porcentagem de *Paralia sulcata* e diminuição de *Cymatosira belgica* posicionam-se no lado positivo do eixo 1, o que deve indicar queda na salinidade dentro da paleolaguna. Com isso,

pôde-se confirmar a relação entre o posicionamento das amostras segundo o eixo 1 e variações na concentração de sais nas águas lagunares.

Encontrar um significado para os demais eixos fatoriais é mais difícil, pois estes representam frações reduzidas da variância total da matriz de dados e devem indicar variações ambientais menores. O eixo 2, por exemplo, é bastante influenciado pelas mesmas espécies observadas no eixo 1, o que torna ainda mais complexa a sua interpretação.

- Classificação ascendente hierárquica

A classificação ascendente hierárquica (CAH) foi feita como complemento da AFC. Para esta análise, utilizaram-se, como base de dados, as coordenadas das amostras nos quatro primeiros eixos fatoriais (que totalizam mais de 50% da variância). A partir do dendrograma formado (Figura 4.26a), a partição foi feita de forma que a menor similaridade entre dois grupos fosse -400. As espécies dominantes e subdominantes características de cada classe (Figura 4.26b) foram obtidas pelo programa VARCAR (Roux, inédito).

As sete classes extraídas da CAH evidenciam os mesmos agrupamentos da AFC, porém com a redistribuição da amostra R200, agrupada no dendrograma com as amostras do grupo **V** da AFC (classe 4), e a individualização das amostras R180 (classe 2) e R80 (classe 7). A distribuição destas classes em função da profundidade no testemunho pode ser observada na Figura 4.27.

O *taxon Paralia sulcata* aparece como espécie dominante em todas as classes definidas na análise de *cluster* (Figura 4.26b). Esta espécie já foi descrita em diversos estudos sobre diatomáceas na Região Sul do Brasil (Moreira Filho & Kutner, 1967; Mosimann, 1988; Moreira Filho & Moreira, 1984) e sua presença é comum em trabalhos realizados em águas costeiras pouco profundas, incluindo áreas de estuários (Peragalo & Peragalo 1897-1908; Poulin *et al.* 1984; Jiang *et al.*, 1997; Witkowski, 2000). *Paralia sulcata* é uma espécie de ampla distribuição geográfica, marinha euriótica e de hábito de vida ticooplanctônico (Moreira Filho & Moreira, 1984; Denys, 1991; Jiang, 1997), requerimentos ecológicos que lhe permitem maior capacidade de adaptação às condições de salinidade e profundidade de coluna de água. Portanto, individualmente, este *taxon* não permite avaliar possíveis mudanças ambientais dentro da paleolaguna, sendo essencial a análise das demais espécies dominantes e subdominantes. Em vista disso, são apresentadas em seguida breves descrições, segundo os requerimentos ecológicos, dos *taxa* que caracterizam cada uma das classes observadas no dendrograma.

b)

Classe	Amostras	Espécies dominantes	Espécies subdominantes
1	R95, R100	<i>Paralia sulcata</i> <i>Biddulphia pulchella</i>	<i>Cymatosira belgica</i>
2	R180	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Biddulphia pulchella</i> <i>Thalassiosira oestrupii</i> <i>Dimeregramma minor</i>
3	R105, R110, R115, R125, R130, R135, R145, R150, R155, R220, R225	<i>Paralia sulcata</i> <i>Cymatosira belgica</i>	<i>Nitzschia compressa</i>
4	R165, R170, R175, R185, R190, R195, R200, R205, R210, R215	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Cymatosira belgica</i> <i>Cyclotella striata</i> <i>Dimeregramma minor</i> <i>Thalassiosira oestrupii</i>
5	R120, R140, R160	<i>Paralia sulcata</i> <i>Nitzschia granulata</i>	<i>Cymatosira belgica</i>
6	R85, R90	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Cyclotella stelligera</i> <i>Biddulphia pulchella</i> <i>Nitzschia navicularis</i>
7	R80	<i>Paralia sulcata</i> <i>Cyclotella stelligera</i>	<i>Diploneis ovalis</i> <i>Cyclotella striata</i>

Figura 4.26. (a) Dendrograma formado pela classificação ascendente hierárquica (CAH) para as amostras do testemunho RIA e (b) quadro com as assembléias de diatomáceas características de cada classe.

Figura 4.27. Distribuição das classes hierárquicas em função da profundidade do testemunho RIA e diagramas com a variação das espécies dominantes de cada classe.

Descrição das espécies dominantes e subdominantes: possível significado ecológico de cada assembléia

- **Classe 1.** Assembléia caracterizada pelas espécies *Paralia sulcata* e *Biddulphia pulchella*.

***Biddulphia pulchella*:** espécie marinha (Foged, 1978; Denys, 1991; Witkowski *et al.*, 2000), também encontrada em ambientes mesosalinos (Mosimann, 1984; Moreira Filho *et al.*, 1985), de modo de vida ticoplanctônico (Moreira Filho *et al.*, 1985). Foged (1978) indica que esta espécie é encontrada principalmente em oceanos de águas quentes.

A associação *Paralia – Biddulphia* deve indicar um meio meso a eusalino (>5‰ a 40‰). Por serem duas espécies ticoplanctônicas, pouco se pode dizer sobre a profundidade da coluna de água.

- **Classe 2.** Esta classe é caracterizada essencialmente pelo *taxon Paralia sulcata*. Como espécies subdominantes, observam-se *Biddulphia pulchella*, *Thalassiosira oestrupii* e *Dimeregramma minor*.

***Thalassiosira oestrupii*:** espécie marinha (eusalina estenotópica), planctônica (Denys, 1991).

***Dimeregramma minor*:** espécie marinha (eusalina estenotópica), comum em todos os oceanos do Ártico aos trópicos (Witkowisk, 2000), perifítica (Moreira Filho & Moreira, 1984; Denys, 1991).

Assembléia característica de ambiente eusalino, possivelmente sem grandes variações na salinidade, a julgar pelo fato de duas das três espécies subdominantes apresentarem pouca capacidade de adaptação a mudanças nas concentrações de sal no meio.

- **Classe 3.** As espécies dominantes desta assembléia são *Paralia sulcata* e *Cymatosira belgica*. Como espécie subdominante, observa-se o *taxon Nitzschia compressa*.

***Cymatosira belgica*:** espécie marinha (eusalina estenotópica), comum no litoral atlântico (Witkowski *et al.*, 2000). Tem hábito de vida ticoplanctônico (Juggins, 1992; Jiang, 1997; Vos & Wolf 1993).

***Nitzschia compressa*:** espécie eusalina a mesosalina, comum em zonas costeiras, de hábito de vida bentônico (Witkowski *et al.*, 2000; Denys, 1991; Moreira Filho & Moreira, 1984).

A assembléia descrita para a classe 3 deve indicar meio eusalino, com pouca variação de salinidade (provavelmente restrita ao intervalo entre 30 e 40‰), em vista da presença de Cymatosira belgica como espécie dominante.

- **Classe 4.** Assembléia caracterizada principalmente por *Paralia sulcata*. Como espécies subdominantes, aparecem *Cymatosira belgica*, *Cyclotella striata*, *Dimeregramma minor* e *Thalassiosira oestrupii*.

***Cyclotella striata*:** espécie eusalina à mesosalina, é freqüente em estuários (Hendey, 1973; Foged, 1986), e tem hábito de vida ticoplanctônico (Denys, 1991).

A classe 4 deve indicar ambiente eusalino, talvez com maior tolerância a variação na salinidade do que a classe descrita anteriormente.

- **Classe 5.** Assembléia caracterizada por *Paralia sulcata* e *Nitzschia granulata*.

Nitzschia granulata: espécie eusalina à mesosalina, comum em planícies de maré (Witkowski et al. 2000), bentônica (Denys, 1991).

Meio meso a eusalino, com espécies que podem se adaptar a variações de salinidade.

- **Classe 6 e 7.** A flora de diatomáceas descrita para a classe 6 é caracterizada pelo taxon *Paralia sulcata*. Como espécies subdominantes, aparecem *Cyclotella stelligera*, *Biddulphia pulchella* e *Nitzschia navicularis*. Na classe 7, *Cyclotella stelligera* passa a caracterizar a assembléia, junto com *Paralia sulcata*, como espécies dominantes, e *Diploneis ovalis* e *Cyclotella striata* como espécies subdominantes.

Cyclotella stelligera espécie de água doce (Gasse, 1987) a oligosalina (Germain, 1981), ticolanctônica.

Nitzschia navicularis espécie perifítia, com melhor desenvolvimento em ambientes mesosalinos (Denys, 1991).

Diploneis ovalis espécie de água doce a oligosalinas, perifítica, tipicamente aerófila (Moreira-Filho, 1966; Souza-Mosimann, 1980; Germain, 1981; Rodrigues, 1984; Vos & Wolf, 1993).

As assembléias descrita para as Classes 6 e 7 indicam ambiente meso a oligosalino, e denotam redução de salinidade em comparação às demais classes descritas, provavelmente ligada a maior aporte de água doce. Na Classe 7, a presença de *Diploneis ovalis* como espécie subdominante pode indicar ambiente sujeito a períodos de dessecação e exposição do substrato.

A análise de cada classe obtida pela classificação hierárquica evidencia que os diferentes agrupamentos parecem estar diretamente relacionados a variações nas concentrações da salinidade dentro da paleolaguna, indicativas de momentos de maior ou menor aporte marinho e/ou continental.

Nos sedimentos do testemunho SAN, identificaram-se 152 espécies de diatomáceas, distribuídas em 25 gêneros. Do total de amostras selecionadas e processadas para o estudo de diatomáceas, somente 35 puderam ser analisadas. O intervalo entre 100 e 160 cm mostrou-se estéril em diatomáceas; somente algumas poucas amostras deste intervalo apresentaram fragmentos de frústulas, o que impossibilitou sua identificação e contagem.

A variação de porcentagem das espécies dominantes em função da profundidade da coluna sedimentar é apresentada na Figura 4.28. O principal gênero registrado na flora de diatomáceas do testemunho SAN foi *Eunotia*, com 34 espécies e cinco variedades intraespecíficas. O predomínio deste gênero em todo intervalo analisado indica que o ambiente não deve ter conhecido grandes variações de salinidade, uma vez que as espécies de *Eunotia* são predominantemente de água doce ou oligosalina (salinidade inferior a 5‰). Além disso, a somatória dos taxa meso-polisalinos, eusalinos e espécies extremamente eurióticas não representam mais do que 5% da flora em todo testemunho.

A diversidade de espécies varia de 18 a 58 (valores encontrados nas profundidades 95 e 175 cm, respectivamente), com média de 43 espécies por amostra (Figura 4.29). A curva de variação no teor de diatomáceas nos sedimentos apresenta dois picos bem marcados, o primeiro em 220 cm ($2,7 \times 10^7$) e o segundo entre 45 e 30 cm (maior valor em 35 cm, $4,9 \times 10^7$). Estes dois picos na concentração de diatomáceas nos sedimentos devem representar aumento de produtividade destas algas, uma vez que não se observam mudanças litológicas significativas que permitam outra interpretação. Porém, é importante salientar que no intervalo entre 45 e 30 cm, o aumento do número de valvas/grama de sedimento também é associado à mudança na composição da flora, com crescimento expressivo nas freqüências de *Eunotia aff recta* e *E. pectinalis* e decréscimo de *E. sudetica*, *E. minor*, *Frustulia rhomboides*, entre outros (Figura 4.28). Esta mudança na flora sugere que as condições ambientais devem ter mudado, de modo a propiciar o desenvolvimento de algumas espécies em detrimento de outras. De qualquer forma, as novas condições assim estabelecidas possibilitaram aumento na produtividade primária do sistema.

Os diagramas de agrupamento ecológico (Figura 4.29) permitem dizer que as diatomáceas se desenvolveram em corpo de água pouco profundo, com diminuição progressiva da profundidade rumo ao topo do perfil (decrécimo nas porcentagens de taxa planctônicos e/ou ticoplanctônicos e aumento de espécies aerófilas) e sob pH baixo (< 7), evidenciado pelo domínio das espécies acidófilas ao longo de toda coluna sedimentar.

Figura 4.28. Diagramas de porcentagem das principais espécies de diatomáceas encontradas no testemunho SAN. As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido.

Figura 4.29. Variação, em função da profundidade, na concentração de diatomáceas nos sedimentos (n° valvas / grama de sedimento seco), número de espécies encontradas por amostra e diagramas ecológicos de agrupamento das espécies segundo pH e habitat preferencial (testemunho SAN).

- Análise fatorial de correspondência

A AFC feita para os resultados obtidos da análise de diatomáceas do testemunho SAN considerou um conjunto de 152 espécies, identificadas em 35 amostras de sedimento. Os dez primeiros eixos fatoriais somam 79,56% da variância (Tabela 4.9), sendo que os quatro primeiros eixos acumulam 61,52% da inércia total, mais da metade das informações contidas na matriz de dados.

Tabela 4.9. Valor próprio, porcentagem de inércia e inércia acumulada para os dez primeiros eixos fatoriais obtidos pela AFC para o testemunho SAN.

Eixo	Valor próprio	% Inércia	% Inércia acumulada
1	0,64	31,5	31,5
2	0,249	12,27	43,77
3	0,222	10,96	54,73
4	0,138	6,79	61,52
5	0,083	4,12	65,64
6	0,072	3,57	69,21
7	0,061	3,02	72,23
8	0,056	2,78	75,01
9	0,048	2,39	77,40
10	0,043	2,16	79,56

O plano fatorial 1-2 (Figura 4.30) ressalta três agrupamentos de amostras. O grupo I, formado pelas amostras S30, S35, S40 e S45, apresenta altas contribuições absolutas (CA>57, exceto amostra S45, ver Tabela 4.10) e contribuições relativas entre 76 e 99%. Este grupo é definido pela alta frequência das espécies *Eunotia pectinalis*, *E. aff. recta* e *E. septentrionalis*, também responsáveis pela definição do eixo (CA>13).

Tabela 4.10. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo I (eixo fatorial 1).

Eixo 1		
Amostra/espécie	Contribuição absoluta	Contribuição relativa (%)
S30	102	98
S35	390	90
S40	125	88
S45	34	76
<i>Eunotia pectinalis</i>	375	91
<i>Eunotia aff recta</i>	236	98
<i>Eunotia septentrionalis</i>	27	99

Grupo I – lado positivo do eixo 1

O grupo II reúne as amostras S160 a S235, do lado negativo do eixo 1. Este grupo não possui contribuições absolutas importantes, porém as contribuições relativas indicam a boa representação das duas amostras neste eixo. Associadas ao grupo, estão as espécies *Eunotia aff faba*, *Fragilaria javanica* e *Staurosirella pinnata*, responsáveis pelo pólo negativo do eixo 1 (CA>13 e CR>40%, Tabela 4.11).

1 VALEURS DES EXTREMES - .7130 1.3909 -1.9366 .6858
 REPRESENTATION DE 35 POINTS SUR 1 PAGE(S) AXE HORIZONTAL: 1 AXE VERTICAL: 2 PAGE 1
 ANALYSE FACTORIELLE SAN BRESIL

NOMBRE DE POINTS REPRESENTES 31
 NOMBRE DE POINTS NON REPRESENTES: 4
 LISTE DES POINTS SUPERPOSES
 =====

S215 & S235 EN 9 !
 S200 & S230 EN 10 !
 S160 & S180 EN 24 !
 S65 & S70 EN 33 !

Figura 4.30. Plano fatorial 1-2 obtido pela AFC para os dados de análise de diatomáceas do testemunho SAN.

Tabela 4.11. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo II (eixo fatorial 1).

Eixo 1		
Amostra/espécie	Contribuição absoluta	Contribuição relativa (%)
S160	15	89
S165	14	92
S170	13	90
S175	25	72
S180	12	78
S185	13	75
S190	14	66
S195	18	54
S200	18	54
S205	17	60
S210	18	55
S215	20	48
S220	23	37
S230	19	53
S235	18	51
<i>Eunotia aff faba</i>	63	63
<i>Fragilaria javanica</i>	30	50
<i>Staurosirella pinnata</i>	23	40

Grupo II – lado negativo do eixo 1

O eixo 2 faz ressaltar o grupo III, formado pelas amostras S0, S5, S10 e S15. As espécies associadas a este grupo são: *Eunotia sudetica*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula mutica*, *Pinnularia borealis* e *P. divergentissima* (Tabela 4.12).

Tabela 4.12. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo III (eixo fatorial 2).

Eixo 2		
Amostra/espécie	Contribuição absoluta	Contribuição relativa (%)
S0	178	78
S5	260	80
S10	240	78
S15	73	71
<i>Eunotia sudetica</i>	120	82
<i>Hantzschia amphioxys</i>	61	83
<i>Navicula mutica</i>	107	75
<i>Pinnularia borealis</i>	46	79
<i>Pinnularia divergentissima</i>	35	80

Grupo III – lado negativo do eixo 2

O plano 2-3 contém, no lado negativo do eixo 3, o grupo IV (Figura 4.31). Este grupo compõe-se de 11 amostras (S50 a S100), das quais seis contribuem para a definição do eixo 3, o que pode ser visto na análise das contribuições absolutas deste agrupamento (Tabela 4.13). É caracterizado principalmente por *Eunotia praerupta* var. *bidens*, *E. maior*, *E. trigibba* var. *trigibba* e *Pinnularia maior*, espécies que possuem altos valores de contribuições absolutas e contribuições relativas superiores a 42%.

Tabela 4.13. Contribuições absolutas e relativas das amostras e espécies que definem o grupo IV (eixo fatorial 3).

Eixo 3		
Amostra/espécie	Contribuição absoluta	Contribuição relativa (%)
S50	70	40
S55	100	47
S60	32	63
S65	73	87
S70	25	76
S75	14	32
S80	83	40
S85	88	49
S90	74	56
S95	21	57
S100	55	53
<i>Eunotia praerupta</i> var <i>bidens</i>	68	45
<i>Eunotia maior</i>	199	67
<i>Eunotia trigibba</i> var <i>trigibba</i>	79	42
<i>Pinnularia maior</i>	17	82

Grupo IV – lado negativo eixo 3

- Tentativa de interpretação da AFC

Assim como realizado para o testemunho RIA, buscou-se no testemunho SAN encontrar o significado dos eixos fatoriais, numa tentativa de estabelecer quais parâmetros possam ter interferido no desenvolvimento da flora de diatomáceas estudada ao longo de sua coluna sedimentar.

O eixo fatorial 1 concentra 31,5% da variância dos dados. O grupo I, mais as amostras S25, S50, S55 e S60, posicionam-se no lado positivo do eixo, em oposição a todas as demais amostras do testemunho, e têm como característica em comum as altas frequências dos taxa *Eunotia pectinalis* e *E. aff. recta*.

O gênero *Eunotia*, além de ser predominantemente de água doce ou oligosalina (salinidade total menor que 5 ‰), é indicador de pH ácido. Assim, aumentos de frequência nas espécies deste gênero podem estar associados a diminuição no valor de pH do meio. Quando se comparam os gráficos das coordenadas fatoriais das amostras no eixo 1 com o diagrama de espécies acidófilas, nota-se que o intervalo entre 25 e 60 cm (amostras posicionadas do lado positivo do eixo 1) corresponde a porção do testemunho onde as espécies acidófilas perfazem mais de 90% da assembléia (Figura 4.32). As demais amostras, todas do lado negativo do eixo, estão relacionadas a porções da coluna sedimentar com maiores frequências de taxa alcaliófilos. Portanto, o eixo fatorial 1 parece representar os valores de pH da água, com o aumento do valor do eixo indicando aumento de acidez. Porém, é importante ressaltar que a assembléia de diatomáceas é dominada por espécies acidófilas ao longo de todo o testemunho, o que sugere que as variações na acidez da água tenham-se restringido a valores de pH menores ou iguais a 7.

Figura 4.32. Comparação entre a posição das amostras no eixo 1 e os diagramas de porcentagem de: *Eunotia* aff. *recta*, *E. pectinalis*, espécies acidófilas, espécies alcaliófilas e concentração de diatomáceas nos sedimentos (n° valvas / g sedimento seco).

Existe também forte correspondência entre o grupo de amostras isolado do lado positivo do eixo 1 e um aumento expressivo na concentração de diatomáceas nos sedimentos. Este enriquecimento em diatomáceas pode estar ligado a processo natural de eutroficação, através do qual o acúmulo progressivo de nutrientes propiciaria o rápido desenvolvimento destas algas. Na descrição sedimentológica do testemunho SAN, foi apresentado que a fácies argila arenosa, que representa quase toda a extensão da coluna sedimentar (de 215 a 0 cm), é rica em detritos vegetais. A decomposição deste material vegetal junto ao fundo sedimentar deve ter aumentado os nutrientes na coluna de água, e favorecido assim o florescimento das espécies de *Eunotia*.

O eixo fatorial 2 representa 12,27% da variância dos dados. Nele, destaca-se o grupo III, que compreende as amostras entre 0 e 15 cm de profundidade. Este grupo de amostras, posicionadas do lado negativo do eixo, é caracterizado pelas espécies *Eunotia sudetica*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula mutica*, *Pinnularia borealis* e *P. divergentissima*. Com exceção de *Eunotia sudetica*, as espécies mencionadas são todas apontadas na literatura como aerófilas (Patrick & Reimer, 1966; Foged, 1984; Rodrigues, 1984; Gasse, 1987), com habilidade de resistir a condições de substrato não submerso. As amostras que se concentram do lado positivo do eixo (amostras de 160 a 235 cm) apresentam aumento nos taxa planctônicos ou ticoplactônicos (ocasionalmente no plâncton), como por exemplo

Cyclotella meneghiniana, *C. kutziana*, *Paralia sulcata* e *Staurosirella pinnata*. A comparação dos diagramas das espécies aerófilas e espécies planctônicas/ticoplanctônicas com o gráfico de coordenadas das amostras no eixo 2 (Figura 4.33) indica que este eixo deve representar variações de profundidade da lâmina de água. Sendo assim, o lado positivo do eixo indicaria fases de sedimentação sob lâmina de água mais espessa e o lado negativo períodos de menor profundidade, culminando na porção superior da coluna sedimentar com fase de exposição subaérea, o que condiz com a situação atual da área onde foi coletado o testemunho.

Figura 4.33. Comparação entre a posição das amostras no eixo 2 e os diagramas de porcentagem de espécies planctônicas/ticoplanctônica e espécies aerófilas.

Não foi possível a identificação dos parâmetros responsáveis pelo agrupamento de amostras nos demais eixos. Eles podem representar combinações de diferentes fatores ambientais, o que torna complexa sua interpretação.

- Classificação ascendente hierárquica

Assim como descrito para o testemunho RIA, após a análise fatorial de correspondência, foi realizada a classificação ascendente hierárquica (CAH). A partição do dendrograma gerado por esta análise foi feita de forma que a menor similaridade entre dois grupos fosse -400, com separação de sete classes de amostras (Figura 4.34a). As espécies dominantes e subdominantes (Figura 4.34b) foram colocadas em evidência pelo programa VARCAR (Roux, inédito).

Dos agrupamentos observados na AFC, os grupo II e III permaneceram essencialmente os mesmos na CAH (classe 6 e 7) enquanto que, o grupo IV foi desmembrado em três classes (classes 3, 4 e 5) e o grupo I dividido nas classes 1 e 2, sendo esta última formada pela individualização da amostra S35.

As espécies dominantes em todas as classes obtidas na análise de *cluster* (Figura 4.34b) pertencem ao gênero *Eunotia*. Como já descrito anteriormente, do ponto de vista ecológico, as espécies deste gênero são tipicamente acidófilas, de água doce a oligosalinas, sendo encontradas especialmente em corpos de água estagnados, turfeiras e pântanos que contenham grande quantidade de vegetais em decomposição (Germain 1981). Diversos autores destacam a importância em diversidade e abundância deste gênero sob pH ácido (Schmidt, 1874-1959; Laudares Silva, 1987; Oliveira & Steinitz-Kanann, 1992; Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998; Sala *et al.*, 2002; Ferrari *et al.*, 2007), principalmente nas regiões tropicais (Sala *et al.*, 2002).

Pelo fato de todas as espécies de *Eunotia* apresentarem praticamente os mesmos requerimentos ecológicos, serão apresentadas observações sobre ecologia, voltadas à identificação de mudanças ambientais ao longo do testemunho, apenas das *taxa* não pertencentes a este gênero.

b)

Classe	Amostras	Espécies dominantes	Espécies subdominantes
1	S25, S30, S40, S45	<i>Eunotia</i> aff. <i>recta</i> <i>Eunotia</i> <i>pectinalis</i>	<i>Eunotia</i> <i>sudetica</i> <i>Eunotia</i> aff. <i>faba</i> <i>Desmogonium</i> <i>rabenhorstianum</i>
2	S35	<i>Eunotia</i> <i>pectinalis</i> <i>Eunotia</i> aff. <i>recta</i>	<i>Eunotia</i> <i>septentrionalis</i> <i>Eunotia</i> <i>pyramidata</i> var. <i>monodon</i> <i>Desmogonium</i> <i>rabenhorstianum</i>
3	S50, S55, S60	<i>Eunotia</i> <i>trigibba</i> var. <i>trigibba</i>	<i>Eunotia</i> <i>maior</i> <i>Frustulia</i> <i>rhomboides</i> <i>Eunotia</i> <i>sudetica</i>
4	S65, S70	<i>Eunotia</i> <i>maior</i>	<i>Frustulia</i> <i>rhomboides</i>
5	S75, S80, S85, S90, S95, S100	<i>Eunotia</i> <i>maior</i>	<i>Eunotia</i> <i>sudetica</i>
6	S160, S165, S170, S175, S180, S185, S190, S195, S200, S205, S210, S215, S220, S230, S235	<i>Eunotia</i> aff. <i>faba</i> <i>Eunotia</i> <i>sudetica</i> <i>Fragilaria</i> <i>javanica</i>	<i>Eunotia</i> <i>maior</i> <i>Staurosirella</i> <i>pinnata</i>
7	S0, S5, S10, S15	<i>Eunotia</i> <i>sudetica</i>	<i>Frustulia</i> <i>rhomboides</i> <i>Navicula</i> <i>mutica</i> <i>Pinnularia</i> <i>borealis</i> <i>Hantzschia</i> <i>amphioxys</i>

Figura 4.34. (a) Dendrograma formado pela classificação ascendente hierárquica (CAH) para as amostras do testemunho SAN e (b) quadro com as assembléias de diatomáceas características de cada classe.

Descrição das espécies dominantes e subdominantes: possível significado ecológico de cada assembléia

- **Classe 1 e 2.** Assembléias caracterizadas por *Eunotia aff recta* e *E. pectinalis*. Entre as espécies subdominantes, aparece *Desmogonium rabenhorstianum*.

***Desmogonium rabenhorstianum*:** espécie oligosalina (Moro & Furstenberger, 1997), restrita a corpos de água ácidos (Moreira Filho *et al.*, 1968; Oliveira & Steinitz-Kanann, 1992).

Estas duas classes são apresentadas juntas pois possuem assembléias quase idênticas, com as mesmas espécies dominantes, *Eunotia aff recta* e *E. pectinalis*, porém em ordem de importância inversa devido ao aumento de frequência de *E. pectinalis* na classe 2 (Figura 4.35). A flora descrita para este trecho do testemunho é claramente relacionada a águas de pH ácido, uma vez que o gênero *Desmogonium* também é importante indicador de acidez (Oliveira & Steinitz-Kanann, 1992; Ferrari *et al.*, 2007). A individualização da amostra S35 na classe 2 pode ser devida ao aumento notável observado na concentração de diatomáceas nos sedimentos (Figura 4.35), possível indício de um pico de pH baixo ao longo do perfil.

- **Classe 3 e 4.** A flora de diatomáceas descrita para a classe 3 é caracterizada pelo taxon *Eunotia trigibba var trigibba*. Na classe 4, a espécie dominante é *Eunotia maior*. As duas classes apresentam *Frustulia rhomboides* como espécie subdominante.

***Frustulia rhomboides*:** espécie de água doce, acidófila, cosmopolita (Foged 1984), comum sobretudo em turfeiras (Germain 1981).

Apesar de apresentarem assembléias de diatomáceas distintas, as duas classes indicam pH ácido. Pouco pode-se inferir sobre mudanças ambientais que justifiquem a mudança de flora entre uma classe e outra. Mudanças pequenas de pH, salinidade ou variações na profundidade e turbidez da lâmina de água poderiam ser alternativas para explicar a mudança de assembléia.

- **Classe 5.** Classe que tem *Eunotia maior* como espécie dominante e *E. sudetica* como subdominante.

Assim como descrito para as duas classes anteriores, esta assembléia indica pH ácido. Possíveis mudanças ambientais não podem ser discutidas com base somente na ecologia das espécies dominantes e subdominantes.

- **Classe 6.** As espécies dominantes desta assembléia são *Eunotia* aff. *faba*, *E. sudetica* e *Fragilaria javanica*. Como espécies subdominantes, observam-se *Eunotia* maior e *Staurosirella pinnata*.

***Fragilaria javanica*:** espécies oligosalina, acidófila, perifítica (Moro & Furstenberger, 1997; Ferrari & Ludwig, 2007).

Staurosirella pinnata (= *Fragilaria pinnata*): espécie oligosalina, limitada a massas de água restritas (Germain 1981), epífita (Gasse 1987), alcaliófila (Foged 1978).

Assembléia indicativa de águas oligossalinas e de pH ácido. Porém, o aparecimento de uma espécie alcaliófila dentre as espécies subdominantes na Classe 6 (*Staurosirella pinnata*) indica mudança ambiental nítida em relação as demais classes. Mesmo a assembléia sendo característica de ambiente ácido, os valores de pH devem ser mais altos se comparados aos das classes anteriormente descritas.

- **Classe 7.** Assembléia caracterizada por *Eunotia sudetica* (espécie dominante). Como espécies subdominantes, aparecem *Frustulia rhomboides*, *Navicula mutica*, *Pinnularia borealis* e *Hantzschia amphioxys*.

***Navicula mutica*:** espécies oligossalina, perifítica, aerófila (Gasse, 1987), de pH circumneutro (Foged 1984)

***Pinnularia borealis*:** espécie oligossalina, de pH circumneutro, (Foged, 1984), aerófila (Patrick & Reimer, 1966; Foged, 1984; Rodrigues, 1984; Gasse, 1987)

***Hantzschia amphioxys*:** espécie de água doce, indiferente ao pH, aerófila (Foged, 1984; Rodrigues, 1984; Gasse, 1987); muito comum sobre terrenos úmidos, suporta acentuada dessecação (Germain, 1981).

Assembléia característica de ambiente com pH ácido a neutro. A existência de espécies aerófilas indica ambiente sujeito a fases de exposição subaérea ou mesmo dessecação.

Figura 4.35. Distribuição das classes hierárquicas em função da profundidade do testemunho SAN, diagramas com a variação das espécies dominantes de cada classe e diagrama de concentração de diatomáceas nos sedimentos (n° valvas / grama de sedimento seco) . As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido.

A análise das assembléias características de cada uma das classes obtidas pela CAH, bem como sua distribuição ao longo da coluna sedimentar, indicam que as mudanças na flora de diatomáceas são referentes principalmente a variações no pH e na profundidade da coluna de água, com possíveis episódios de dessecação. Ressalta-se ainda que outros fatores ambientais, como turbidez da água, por exemplo, também podem ter influenciado nestas mudanças.

4.4. Análise palinológica

4.4.1. Calibração do ambiente atual em termos de vegetação: levantamento botânico e chuva polínica moderna

A vegetação costeira, ou restinga, presente na área de estudo caracteriza-se por um mosaico de tipos de cobertura vegetal, ora com presença exclusiva de plantas herbáceas, ora com vegetação arbórea densa, de até 10 m de altura. O termo restinga foi aqui utilizado de acordo com a designação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1999), isto é *“conjunto de ecossistemas que compreende comunidades vegetais florísticas e fisionomicamente distintas, situadas em terrenos predominantemente arenosos, de origens marinha, fluvial, lagunar, eólica ou combinações destas, de idade quaternária, em geral com solos pouco desenvolvidos. Ainda segundo o CONAMA (1999), “estas comunidades vegetais formam um complexo vegetacional edáfico e pioneiro, que depende mais da natureza do solo que do clima, encontrando-se em praias, cordões arenosos, dunas e depressões associadas, planícies e terraços.”*

O principal objetivo da análise da vegetação atual, baseada ao mesmo tempo em dados de levantamento botânico e de caracterização da chuva polínica moderna, foi o de verificar o quanto os subambientes da vegetação de restinga podem ser diferenciados no registro polínico e, desta forma, avaliar o potencial da análise palinológica de testemunhos coletados na área em reconstruir mudanças vegetacionais.

Levantamento botânico

O levantamento botânico focou-se nas áreas de entorno dos pontos de coleta dos testemunhos e em locais de vegetação nativa, ou em estágio avançado de recuperação (Figura 4.36 e Anexo 13). A caracterização das principais fisionomias vegetais observadas na área é brevemente apresentada a seguir, com base na nomenclatura adotada pelo CONAMA (1999).

- Vegetação de dunas frontais e praias: caracteriza-se pelo predomínio de plantas herbáceas, com raros arbustos (altura média inferior a 1 m) e baixa diversidade de espécies. Ocorre nas regiões mais próximas do mar, onde recebe máxima influência da salinidade marinha, através da ação direta de ondas e de aerossol e respingos levados pelo vento. As comunidades vegetais presentes em dunas ou praias estão submetidas ainda a outras condições específicas como flutuações na temperatura superficial do solo, pouca retenção de água pelo substrato altamente poroso e constante movimentação da areia (Cordazzo & Seeliger, 1995). Como espécies

características, destacam-se: *Blutaparon portulacoides* (Amaranthaceae); *Panicum racemosum*, *Paspalum vaginatum*, *Spartina ciliata* (Poaceae); *Senecio* sp. (Asteraceae) e *Hydrocotyle* sp. (Apiaceae).

- Vegetação de dunas internas e planícies (zonas de deflação eólica e campos de dunas ao interior das dunas frontais): constitui-se por espécies herbáceas e arbustivas, podendo, em algumas áreas, formar cobertura vegetal esparsa ou inexistente. Além das espécies encontradas em dunas frontais, também é característica a presença de *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae); *Baccharis articulata*, *Baccharis radicans*, *Senecio platensis* (Asteraceae); *Chenopodium* sp. (Chenopodiaceae); *Gaylussacia brasiliensis* (Ericaceae); *Guapira opposita* (Nictaginaceae); *Campomanesia* sp. (Myrtaceae); *Desmodium* sp. (Fabaceae); *Cordia monosperma* (Boraginaceae). [Figura 4.36 (I)]
- Vegetação de borda de lagoas, banhados e baixadas: este tipo de vegetação é observado em depressões de substrato úmido, por vezes com influência de água salobra. São aqui incluídas as turfeiras observadas na área de estudo. Caracteriza-se essencialmente por plantas herbáceas, sendo as principais espécies encontradas: *Drosera* sp. (Droseraceae); *Utricularia* sp. (Lentibulariaceae); *Paepalanthus* sp., *Eriocaulon* sp. (Eriocaulaceae); *Juncus* sp. (Juncaceae); *Eleocharis* sp., *Cyperus* sp., *Fimbristylis spadicea*, *Cladium mariscus*, *Rhynchospora* sp., *Scirpus maritimus*, *Scirpus* sp. (Cyperaceae); *Xyris* sp. (Xyridaceae); *Polygonum* sp. (Polygonaceae); *Ludwigia* sp. (Onagraceae); *Typha domingensis* (Thyphaceae); *Begonia* sp. (Begoniaceae); *Tibouchina asperior*, *Tibouchina trichopoda* (Melastomataceae); *Sphagnum* sp. (Sphagnaceae); *Nymphoides indica* (Menyanthaceae); *Crinum* sp., *Salicornia* sp. (Amaryllidaceae); *Paspalum* sp., *Panicum* sp. (Poaceae); *Potamogeton* sp. (Potamogetonaceae); *Eryngium* sp. (Apiaceae); *Echinodorus* sp. (Alismataceae); *Lycopodium* sp. (Lycopodiaceae) e *Acrostichum* sp. (Pteridaceae); [Figura 4.36. (I) e (II)].
- Matas baixas – restinga arbustiva (árvores entre 3 e 4 m de altura): corresponde a vegetação densa, com predomínio de arbustos, formando agrupamentos contínuos ou moitas, intercaladas com locais de vegetação mais aberta. Neste caso, há maior diversidade florística que nas fisionomias vegetais descritas anteriormente. Observa-se a ocorrência freqüente de epífitas e lianas. Este tipo de vegetação pode colonizar dunas fixas, depressões, cordões e terraços arenosos. Ocorre tanto em áreas bem drenadas como em áreas pantanosas (CONAMA, 1999). As espécies características

são *Schinus polygamus*, *Schinus terebinthifolius*, *Lithrea brasiliensis* (Anacardiaceae); *Ocotea pulchella* (Lauraceae); *Syagrus romanzoffiana* (Arecaceae); *Campomanesia littoralis* (guabirola-da-praia), *Eugenia uniflora* (pitangueira), *Eugenia* sp., *Myrcia* sp. (Myrtaceae); *Vitex megapotamica* (Lamiaceae); *Ilex theezans*, *Ilex pseudobuxus* (Aquifoliaceae); *Tibouchina urvilleana*, *Tibouchina trichopoda*, *Tibouchina asperior* (Melastomataceae); *Cordia monosperma* (Boraginaceae); *Byrsonima* sp. (Malpighiaceae); *Sloanea* sp. (Elaeocarpaceae); *Guapira opposita* (Nictaginaceae); *Gaylussacia brasiliensis* (Ericaceae);, *Myrsine* sp. (Myrsinaceae); *Senna pendula* (cássia), *Calliandra tweediei* (Fabaceae); *Erythroxylum argentinum*, *Erythroxylum* sp. (Erythroxylaceae); *Cecropia* sp. (Urticaceae); *Tabebuia* sp. (Bignoniaceae); *Pera glabrata*, *Sapium glandulatum* (Euphorbiaceae); *Cereus* sp., *Opuntia arechavaletae* (Cactaceae); *Pouteria lasiocarpa* (Sapotaceae); *Peperomia* sp. (Piperaceae); *Polypodium* sp., *Blechnum* sp. (e outras samambaias); *Smilax campestris* (Smilacaceae) e *Tillandsia* sp. (Bromeliaceae). [Figura 4.36 (I), (II), (III) e (V)]

- *Mata alta – restinga arbórea* (árvores com até 10 m de altura): este tipo de vegetação pode ser encontrado tanto em áreas bem drenadas como em solos alagados (pântanos) e é caracterizado por concentração densa e porte arbóreo bem desenvolvido. Apresenta alta diversidade de espécies, com presença de grande número de epífitas e lianas (cipós, trepadeiras). É também comum a presença de diversos tipos de pteridófitas. As espécies características desta mata são *Clusia parviflora* (Clusiaceae); *Alchornea triplinervia*, *Alchornea iricurana*, *Pera glabrata*, *Sapium glandulatum* (Euphorbiaceae); *Arecastrum romanzoffianum* (Arecaceae); *Ficus organensis* (Moraceae); *Inga dulcis*, *Inga luschnathiana*, *Mimosa pseudo-obovata*, *Ormosia arborea* (Fabaceae); *Nectandra oppositifolia*, *Ocotea pulchella* (Lauraceae); *Tapirira guianensis* (Anacardiaceae); *Byrsonima ligustrifolia* (Malpighiaceae); *Ilex theezans*, *Ilex* sp. (Aquifolaceae); *Laplacea fruticosa* (Theaceae); *Cecropia glazioui* (Urticaceae); *Myrsine* sp. (Myrsinaceae); *Guarea macrophylla* (Meliaceae); *Guapira opposita* (Nictaginaceae); *Gomidesia schaueriana*, *Eugenia* sp., *Psidium cattleianum*, *Myrcia* sp. (Myrtaceae); *Citharexylum myrianthum* (Verbenaceae); *Pouteria lasiocarpa* (Sapotaceae); *Jacaranda puberula* (Bignoniaceae); *Cupania vernalis*, *Matayba guianensis*, *Paullinia* sp. (Sapindaceae); *Alibertia concolor*, *Psychotria* sp., *Posoqueria latifolia*, *Rudgea* sp. (Rubiaceae); *Peperomia* sp., *Piper* sp. (Piperaceae); *Tillandsia* sp. (Bromeliaceae); *Philodendron* sp. (Araceae); *Blechnum* sp. (Blechnaceae), *Polypodium* sp. (Polypodiaceae), *Alsophila* sp. (Cyatheaceae) e outras samambaias. [Figura 4.36 (IV)].

Figura 4.36. Imagem de satélite da região de Jaguaruna. As áreas destacadas em amarelo representam os locais onde se realizou o levantamento das principais famílias e gêneros botânicos presentes: (I) entorno do lago Figueirinha, (II) vale do Riachinho, (III) várzea da laguna Garopaba do Sul, (IV) mata próxima ao lago Laranjal e (V) vale do rio Sangão (fonte: Google Earth 2008).

Figura 4.36. (I) Entorno do lago Figueirinha

FIG - Local de coleta do testemunho na turfeira próxima ao lago Figueirinha

Pontos de controle durante o levantamento botânico:
1 - Turfeira
2 - Restinga arbustiva: mata baixa (3 a 4 m de altura) sobre solo arenoso de duna fixa
3, 4 e 5 - Vegetação sobre cordão de precipitação de campo de dunas ativo

Amostras de sedimento superficial para análise da chuva polínica:
CP1 - Turfeira
CP5 - Colchão de briófitas, mata sobre duna fixa vegetada.

Figura 4.36. (II)
Vale do Riachinho

RIA – Local de coleta do testemunho no vale do Riachinho

Pontos de controle durante o levantamento botânico:
6 - Turfeira
7 e 8 – Mata baixa (3 a 4 m de altura) sobre solo arenoso (restinga arbustiva)

Amostras de sedimento superficial para análise da chuva polínica:
CP3 - Mata baixa (3 a 4 m de altura) sobre solo arenoso

Figura 4.36. (III)
Várzea da laguna Garopaba do Sul

Pontos de controle durante o levantamento botânico:
9 - Mata baixa, densa, sobre solo alagado (restinga arbustiva) - várzea da laguna Garopaba do Sul (Travessão).

Amostras de sedimento superficial para análise da chuva polínica:
CP2 - Mata densa sobre solo alagado

Figura 4.36. (VI)
Mata próxima ao
lago Laranjal

Pontos de controle durante o levantamento botânico:
10 - Mata densa, árvores ~10 m de altura, sobre solo arenoso (restinga arbórea), próximo ao lago Laranjal.

Amostras de sedimento superficial para análise da chuva polínica:
CP4 - Mata densa sobre solo arenoso

Figura 4.36. (V).
Vale do rio Sangão

SAN - Local de coleta do testemunho no vale do rio Sangão

Pontos de controle durante o levantamento botânico:
11 e 12 - Vegetação arbustiva ao lado do canal.

Chuva polínica moderna

A fim de determinar as assinaturas polínicas e identificar possíveis taxa índices das diferentes fisionomias da vegetação ao largo da área de estudo, foram selecionadas cinco amostras de sedimentos superficiais, em locais de cobertura vegetal e substrato distintos (Tabela 4.14). A vegetação das dunas frontais e praias, bem como a vegetação presente ao longo do campo de dunas livres, não foram analisadas, pois o seu tipo de substrato sedimentar-pedológico não permite a preservação de pólen e esporos.

Tabela 4.14. Caracterização das áreas de coleta de sedimentos superficiais e colchão de briófitas para análise da chuva polínica moderna.

Amostra	Tipo de vegetação e características do substrato
CP1	Vegetação de borda de laguna; depressões e baixadas; turfeira próxima ao lago Figueirinha. Solo argilo-arenoso.
CP2	Mata baixa (restinga arbustiva); várzea da laguna Garopaba do Sul. Solo argilo-arenoso alagado.
CP3	Mata baixa (restinga arbustiva); borda da mata, na transição para banhado; vale do Riachinho. Solo argilo-arenoso úmido.
CP4	Mata alta (restinga arbórea, árvores de até 10 m de altura); próxima ao lago Laranjal. Solo argilo-arenoso.
CP5	Mata baixa (restinga arbustiva); duna fixa vegetada, próxima ao lago Figueirinha. Amostra de colchão de briófitas. Solo arenoso.

A partir dos resultados obtidos através do estudo da chuva polínica moderna, foram elaborados diagramas de porcentagem dos taxa mais freqüentes de cada amostra analisada (Figura 4.37a). Os dados foram expressos em porcentagem relativa à soma total de pólen. Esta soma compreendeu grãos de pólen de plantas arbóreas, herbáceas, epífitas e lianas e grãos indeterminados, sendo excluídos os taxa de plantas aquáticas e esporos. A freqüência relativa de esporos e de taxa aquáticos também foi calculada com base na soma total de pólen. Além de representados em diagramas de porcentagem individual, os taxa foram estudados por grupos ecológicos: (1) árvores, arbustos, epífitas e lianas, (2) herbáceas, (3) tipos polínicos indeterminados, (4) aquática e (5) esporos (Figura 4.37b).

As ervas aquáticas, *Drosera*, *Juncus*, Alismataceae e Eriocaulaceae, são fortemente relacionados a áreas de depressões e banhados, locais de solo úmido e vegetação aberta com predomínio de plantas herbáceas (Figura 4.37b). Estes taxa têm forte significado local e seu material palinológico não deve ser transportado por grandes distâncias. Neste mesmo contexto, observa-se *Begonia*, com ocorrência exclusiva nas amostras CP1 e CP3. Portanto, a presença destes taxa no registro sedimentar pode sugerir informações importantes sobre as condições de umidade no substrato em que crescia a vegetação, além de serem indicativos de paisagem com vegetação aberta.

As quatro amostras coletadas em áreas de mata, tanto em vegetação predominantemente arbustiva (CP2,CP3,CP5), quanto em vegetação arbórea de maior porte (CP4), apresentam diferenças interessantes quanto ao sinal polínico. Grãos de pólen de

Bromeliaceae foram registrados apenas nas amostras onde se observou, em campo, mata mais densa e preservada (CP2 e CP4). A frequência de plantas epífitas na mata de restinga também pode ser usada para avaliar o estágio de preservação e/ou regeneração em que esta mata se encontra (CONAMA, 1999). Matas em estágio inicial de regeneração apresentam proporcionalmente menos epífitas que a vegetação em estágio avançado de recuperação. Desta forma, a presença de pólen de Bromeliaceae no registro da vegetação atual pode ser associada ao estágio ou grau de regeneração da mata.

Pólen de Amaranthaceae/Chenopodiaceae e Convolvulaceae são melhor representados nas amostras CP3 e CP5, áreas de mata menos densa e vegetação mais aberta. A diferença de cobertura vegetal, de mata mais aberta (amostras CP1, CP3 e CP5) para mata densa (CP2 e CP4), também pode ser observada a partir dos diagramas de agrupamento ecológico (Figura 4.37b), onde as plantas herbáceas representam entre 38 e 41% da soma de pólen nos dois locais de vegetação menos densa, contra 18 a 20% nos demais pontos.

A chuva polínica registrada na amostra de colchão de briófitas (amostra CP5, duna vegetada) apresentou frequência de Myrtaceae muito acima (33%) das demais áreas de mata: (6,5%). Coletores naturais de chuva polínica, como os colchões de briófitas, estão sujeitos a super-representação de pólen proveniente de árvores que lhe crescem próximas (Amaral, 2003; Fernandes, 2005). Este parece ser o caso da amostra aqui apresentada, uma vez que em campo não se notou destaque na frequência desta família em relação a outras.

Ilex apresenta alta porcentagem na amostra CP4 (22,6%), coletada em área de mata alta (restinga arbórea), local de vegetação mais densa e melhor preservada dentre todos os pontos amostrados. As duas espécies de *Ilex* observadas durante o levantamento botânico (*Ilex pseudobuxus* e *Ilex theezans*) são apresentadas na literatura como espécies frequentes na planície litorânea, principalmente na Região Sul do país (Lorenzi, 2002), sendo que, em alguns locais, podem estar entre as espécies dominantes na vegetação de restinga (Sztutman & Rodrigues, 2002). O sinal polínico registrado pela vegetação atual nesse ponto evidencia a importância deste gênero na restinga arbórea da região em estudo.

Alchornea, Apocynaceae, Arecaceae (Palmae), Melastomataceae/Combretaceae e *Myrsine* (*Rapanea*), embora apresentem variações de porcentagem entre as amostras, estão presentes em todos os pontos. Estas taxa já foram apontados por Behling *et al.* (1997), Behling *et al.* (2000) e Amaral *et al.* (2006) como tipos polínicos indicadores da vegetação de restinga. Os dados de levantamento botânico também indicam a importância destes gêneros e famílias na mata da vegetação costeira.

Figura 4.37. Resultados obtidos da análise palinológica em amostras de sedimentos superficiais, em cinco áreas de cobertura vegetal distinta, ao longo da planície costeira na região de Jaguaruna. (a) Diagramas de porcentagem dos *taxa* polínicos mais representativos e (b) diagramas de agrupamento ecológico. Dados expressos em porcentagem calculada em relação à soma total de pólen (plantas arbóreas, epífitas, lianas, herbáceas e *taxa* indeterminados). A frequência relativa de *taxa* aquáticos e esporos foi também calculada com base nesta soma.

Entre as herbáceas, Poaceae e Asteraceae são predominantes nos sedimentos superficiais, o que de certa forma já era de se esperar, uma vez que estas plantas são bastante freqüentes na vegetação costeira, podendo ser os representantes mais importantes das áreas de praias, dunas e margens lagunares. Estes taxa também foram registrados nos estudos de chuva polínica realizados em área de restinga no litoral sul e sudeste do Brasil (Behling *et al*, 1997; Amaral *et al*, 2006 e Vidotto, 2008).

As amostras de chuva polínica aqui analisadas mostraram forte significado local, tipos polínicos que podem indicar o transporte de longa distancia são raros e restritos a algumas amostras. Elementos de longa distancia, como por exemplo *Araucaria* ou *Alnus*, observados nos registros de chuva polínica da mata de restinga na reserva de Volta Velha (Behling *et al* 1997), não foram observados em nenhuma das amostras. *Podocarpus*, que não ocorre na área de estudo, porém é encontrado na mata de encosta, em áreas de maior altitude, foi observado em apenas uma amostra (CP1) e com freqüência menor que 1%. Entretanto, muitos dos taxa apresentados como “indicadores” da vegetação de restinga também são encontrados na mata de encosta. Amaral (2003) alertou para o fato da dificuldade em separar as assinaturas polínicas da mata de restinga e da mata Atlântica de encosta, uma vez que estes dois biomas apresentam basicamente as mesmas famílias de plantas, com a diferença apenas na diversidade e densidade, que é menor na mata de restinga relacionado principalmente às condições de substrato em que esta se desenvolve.

Esperava-se que os elementos introduzidos e cultivados, como por exemplo *Pinus* e *Casuarina*, fossem aparecer em altas freqüência nos sedimentos superficiais, uma vez que estas árvores são extremamente freqüentes na área e normalmente produzem grandes quantidades de pólen. Porém, estes taxa não foram bem representados no registro, *Pinus* foi registrados somente na amostra CP5, com freqüência de 2,68% e *Casuarina*, não foi registrada em nenhuma amostra.

De maneira geral, a diferença observada no mosaico vegetacional que compõe a restinga pode ser caracterizada pelo sinal polínico deixado pela vegetação atual, principalmente com relação à densidade das matas (áreas de mata mais aberta versus áreas de mata fechada), com maior freqüência de herbáceas nas áreas de mata aberta. A vegetação de banhados e depressões distingue-se facilmente das áreas de mata devido ao claro sinal local deixado pelos taxa aquáticos no registro polínico.

4.4.2. Análise dos testemunhos

Apesar da coleta de alíquotas para estudo palinológico ter-se realizado a cada 5 cm ao longo da coluna sedimentar, a análise restringiu-se a intervalos verticais de 20 cm, no testemunho FIG, e de 10 cm, nos outros dois testemunhos. A opção por espaçar os intervalos entre amostras foi feita em vista da má preservação, ou mesmo da ausência de pólen e esporos, devido a oxidação dos grãos, conforme observado na avaliação preliminar (amostras a cada 20 cm) da qualidade do registro palinológico. Desse modo, o baixo potencial de preservação do material polínico justificou a realização de análises com espaçamento maior que o adotado na coleta de alíquotas.

Como já descrito na parte metodológica, dois tipos de diagramas são apresentados para cada um dos testemunhos: diagramas de porcentagem individual dos *taxa* mais freqüentes e diagramas de agrupamento ecológico. As porcentagens foram calculadas em relação à soma total de pólen (plantas arbóreas, herbáceas e indeterminados). A freqüência relativa de esporos e *taxa* de plantas aquáticas foi também calculada com base nesta soma.

Lago Figueirinha – testemunho FIG

Das amostras processadas para o estudo palinológico do testemunho FIG (amostras selecionadas a cada 20 cm), somente quatro mostraram-se férteis (Figura 4.38). As amostras coletadas entre as profundidades de 220 e 80 cm não apresentaram grãos de pólen em quantidade e qualidade de preservação que permitissem a identificação dos *taxa* e a realização de estudo estatístico dos dados. Dentre os três testemunhos estudados, este foi o que apresentou mais problemas para análise palinológica, uma vez que a maior parte do perfil é composto por areia. Devido a seu equivalente hidráulico, polén e esporos são normalmente depositados junto com sedimentos de granulação fina (silte e argila). Por isso, testemunhos com baixas porcentagens de sedimentos finos são pouco apropriados para análise de palinórfos. Além disso, em sedimentos arenosos, os palinórfos estão mais susceptíveis a oxidação, o que dificulta a sua preservação.

O número de amostras analisadas neste perfil é insuficiente para a elaboração de interpretações consistentes no que diz respeito a mudanças paleovegetacionais. Contudo, algumas observações puderam ser feitas dos resultados do estudo palinológico no testemunho FIG.

A análise palinológica deste testemunho foi restrita às fácies argilo-arenosa (0 e 20 cm de profundidade) e parte superior da fácies areia argilosa preta (40 e 60 cm de profundidade). O intervalo analisado compreende a porção do testemunho onde a porcentagem de pelíticos é mais alta, com valores entre 13 e 50% (Figura 4.38). Os valores

de concentração de pólen (grãos de pólen / cm³) parecem estar diretamente ligados às características granulométricas dos sedimentos, valores mais baixos sendo encontrados em níveis com baixo teor de finos. Todas as amostras analisadas pertencem ao intervalo testemunhado correspondente ao Holoceno tardio (idade obtida em 60 cm, 3850-3640 anos cal AP).

A análise dos diagramas de porcentagem individual dos *taxa*, bem como os diagramas de agrupamento ecológico (Figuras 4.38), evidenciam predomínio de plantas herbáceas em todo o intervalo estudado. Porém, nota-se aumento ascendente progressivo nas porcentagens de *taxa* arbóreas (24%, na profundidade 60 cm, a 40%, no topo do testemunho).

Dentre as plantas de hábito arbóreo, *Alchornea* e *Arecaceae* apresentam queda nas porcentagens da base para o topo do intervalo (*Alchornea* varia de 2 a 0,6% e *Arecaceae* de 7 a 1%), tendência inversa dos demais *taxa* arbóreas e/ou arbustivos.

O *taxon* dominante entre as plantas herbáceas é *Poaceae*. Variações nas porcentagens deste *taxon* indicam queda de 30% entre 60 e 0 cm (Figura 4.38). A queda na porcentagem de *Poaceae* é simultânea ao incremento de outros *taxa* de herbáceas. Nota-se assim uma diversificação na comunidade vegetal nos períodos mais jovens.

A somatória entre os *taxa* de plantas aquáticas apresenta aumento de 15% da base para o topo do intervalo. O aumento nas porcentagens destes *taxa* pode indicar mudança nas condições de deposição regionais ou locais, com incremento de umidade.

O registro polínico do testemunho FIG indica que há aproximadamente 4000 anos a vegetação deveria ser mais aberta que a atual (75 % de herbáceas), com menor diversidade vegetal e predomínio de gramíneas na paisagem (*Poaceae* = 59%). O aumento progressivo de *taxa* arbóreas e de outros tipos de herbáceas indicam diversificação crescente da comunidade vegetal nos períodos mais recentes. Porém, mesmo com esse incremento nas porcentagens de *taxa* arbóreas, o registro indica presença de vegetação aberta, com predomínio de plantas herbáceas, conforme se observa hoje no entorno da turfeira onde foi coletado o testemunho.

Figura 4.38. Resultados obtidos da análise palinológica do testemunho FIG. Diagramas de porcentagem dos tipos polínicos mais representativos ao longo do perfil, diagrama de concentração de pólen nos sedimentos (grãos de pólen / cm³ de sedimento), diagramas de agrupamento ecológico (somatória das porcentagens de árvores, arbustos, epífitas e lianas; herbáceas; taxa indeterminados e total de aquáticas). Dados expressos em porcentagem calculada em relação à soma total de pólen (plantas arbóreas, epífitas, lianas, herbáceas e taxa indeterminados). A frequência relativa de taxa de plantas aquáticas e esporos foi também calculada com base nesta soma. Apresenta-se ainda o diagrama de distribuição dos teores de pelíticos e areia ao longo do perfil.

A análise palinológica do testemunho RIA foi feita em intervalos verticais de 10 cm ao longo da coluna sedimentar. A porção do perfil correspondente à fácies argila arenosa cinza (de 230 a 80 cm) não apresentou conteúdo polínico. A ausência de grãos de pólen e esporos neste intervalo demonstra que, provavelmente, o ambiente geoquímico de deposição e soterramento desta fácies não permitiu a sua preservação. Todas as amostras analisadas pertencem à fácies argila preta rica em detritos vegetais (75 a 0 cm). A amostra coletada na profundidade 70 cm apresentou quantidade insuficiente de grãos de pólen para análise estatística dos resultados (menos de 50 grãos), portanto, os dados aqui apresentados correspondem aos 60 cm de topo do testemunho.

Mesmo de posse de poucos dados, os resultados obtidos da análise palinológica (Figura 4.39 e 4.40) permitiram a divisão do intervalo estudado em duas zonas. Esta divisão é marcada, principalmente, pela mudança na frequência relativa dos *taxa* aquáticos e na concentração de pólen nos sedimentos, mas também pode ser observada nos diagramas individuais dos *taxa* e de agrupamento ecológico.

A **Zona I**, entre 60 e 30 cm de profundidade (ca. 2760 a 1550 cal AP), caracteriza-se pela alta frequência relativa de pólen de plantas aquáticas (23,7 a 5%), em especial *Juncus* (18 a 4,5%), e baixa concentração de pólen nos sedimentos ($\sim 4,5 \cdot 10^3$ grãos/cm³). Com exceção da amostra na profundidade de 50 cm, esta zona apresenta predomínio de plantas herbáceas, com variação de frequência entre 44% e 57% (60 cm e 30 cm, respectivamente).

Entre os *taxa* de plantas arbóreas, *Alchorenea*, *Arecaceae*, *Machaerium*, *Matayba* e *Melastomataceae/Combretaceae* apresentam aí suas maiores frequências. Entre as plantas de herbáceas, destacam-se *Asteraceae*, *Amaranthaceae/Chenopodiaceae*, *Cyperaceae* e *Poaceae*. A frequência relativa dos esporos varia pouco, com média de 12,5%.

O aumento da porcentagem de plantas arbóreas na profundidade de 50 cm coincide com elevação no teor de areia (Figura 4.40), representada essencialmente por fragmentos vegetais nas frações areia grossa e areia média (ver Figura 4.7, item 4.1.3).

A **Zona II**, entre 20 e 0 cm de profundidade (mais jovem que 1550 anos cal AP), caracteriza-se pela queda nos valores de plantas aquáticas e pelo aumento na concentração de pólen nos sedimentos ($\sim 1,5 \cdot 10^4$ pólen/cm³) e na frequência de plantas arbóreas (de 41% no topo da Zona I para 48% em 20 cm de profundidade). *Byrsonima*, *Cecropia*, *Ilex*, *Moraceae* e *Weinmannia* apresentam nítido aumento de frequência nesta zona. Observa-se também queda acentuada nos valores de *Poaceae*, *Asteraceae* e *Cyperaceae*. Os esporos apresentam aumento de frequência relativa de 15 % no topo da zona I para 20% na base da zona II. Neste intervalo o número de tipos polínicos encontrados é maior, o que permite sugerir maior diversidade na cobertura vegetal.

Figura 4.39. Diagramas de porcentagem dos *taxa* mais representativos no registro palinológico do testemunho RIA. Dados expressos em porcentagem calculada em relação a soma total de pólen (plantas arbóreas, epífitas, lianas, herbáceas e *taxa* indeterminados). A frequência relativa de *taxa* de plantas aquáticas e esporos foi também calculada com base nesta soma.

Figura 4.40. Resultados obtidos da análise palinológica do testemunho RIA: diagramas de agrupamento ecológico (somatória das porcentagens de árvores, arbustos, epífitas e lianas; herbáceas; taxa indeterminados; total de plantas aquáticas e total de esporos) e diagrama de concentração de pólen nos sedimentos (grãos de pólen / cm^3 de sedimento). Apresenta-se ainda o diagrama de distribuição dos teores de pelíticos e areia ao longo do perfil.

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

O testemunho coletado no vale do rio Sangão foi o que melhor apresentou condições para a realização da análise palinológica dos sedimentos. As amostras foram analisadas em intervalos verticais de 10 cm ao longo de todo o perfil, com ausência de pólen somente nos 30 cm basais do testemunho. Os resultados obtidos para o testemunho SAN (Figura 4.41 e 4.42) mostram predomínio de *taxa* arbóreos (incluindo as epífitas e lianas) em toda a coluna, com freqüências entre 80 e 63%. Abaixo da profundidade de 200 cm, onde os teores de areia variam de 40 a até a 90% (Figura 4.42), não foram observados grãos de pólen ou esporos. A análise detalhada dos diagramas de freqüência e de concentração de pólen nos sedimentos permitiu a divisão do testemunho em quatro zonas palinológicas, conforme segue.

A **Zona I**, entre 200 e 160 cm (ca. 2920 a 2130 anos cal AP), é a zona mais homogênea do perfil, com pouca variação na frequência dos taxa em relação a profundidade. Os taxa que se destacam nesta zona: *Byrsonima*, *Ilex*, Myrtaceae, Asteraceae e Poaceae. Apocynaceae, Cunoniaceae e Moraceae apresentam suas mais altas porcentagens neste intervalo. Os esporos apresentam frequência relativa média de 12,5%.

A **Zona II**, entre 160 e 80 cm (intervalo com inversão de idades, ca. 2130 a 1870 anos cal AP?), caracteriza-se principalmente pelo aumento na frequência relativa de esporos e aumento sutil na concentração de pólen nos sedimentos (Figura 4.42). Os taxa de plantas aquáticas quase desaparecem nesta zona. As plantas arbóreas melhor representadas são *Byrsonima*, *Ilex*, Myrtaceae, *Myrsine* (*Rapanea*) e *Sloanea*. Dentre as plantas herbáceas, destacam-se Poaceae e Asteraceae. A amostra na profundidade de 150 cm, base deste intervalo, apresentou número de grãos de pólen (menor de 50) insuficiente para análise estatística.

Na **Zona III**, entre 80 e 20 cm (1870 a 383 anos cal AP, idade mínima estimada pela taxa de sedimentação), observa-se um intervalo com redução brusca nos valores de concentração de pólen nos sedimentos (1.10^4 no topo da Zona II para 6.10^3 , Figura 4.42) e ausência de material para análise, nas profundidade 70 e 50 cm. Nesta zona também é notável o aumento na frequência de Mimosaceae nas amostras analisadas em 60 e 20 cm de profundidade.

A **Zona IV**, entre 20 e 0 cm (mais jovem que 468 anos cal AP, idade máxima calculada com base na taxa de sedimentação), é caracterizada por aumento nos valores de concentração de pólen nos sedimentos e aumento dos taxa herbáceos, principalmente Poaceae, que atinge sua frequência máxima no topo do testemunho (30%). Este intervalo também é marcado pela queda nas porcentagens de *Alchornea*, Arecaceae, Apocynaceae, Melastomataceae/Combretaceae, Mimosaceae, Myrtaceae e *Myrsine* (*Rapanea*) e aumento de *Cecropia* (Figura 4.41).

Figura 4.41. Diagramas de porcentagem dos *taxa* mais representativos no registro palinológico do testemunho SAN. Dados expressos em porcentagem calculada em relação a soma total de pólen (plantas arbóreas, epífitas, lianas, herbáceas e *taxa* indeterminados). A frequência relativa de *taxa* de plantas aquáticas e esporos foi também calculada com base nesta soma. As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido.

Figura 4.42. Resultados obtidos da análise palinológica do testemunho SAN: diagramas de agrupamento ecológico (somatória das porcentagens de árvores, arbustos, epífitas e lianas; herbáceas; taxa indeterminados e total de esporos) e diagrama de concentração de pólen nos sedimentos (grãos de pólen / cm^3 de sedimento). Apresenta-se ainda o diagrama de distribuição dos teores de pelíticos e areia ao longo do perfil. As idades destacadas em cinza indicam a porção do testemunho onde o controle cronológico não é bem estabelecido.

4.4.3. Integração dos dados de palinologia: análise de componentes principais e classificação ascendente hierárquica

A partir do conjunto de dados obtidos da análise palinológica dos três testemunhos e do estudo de chuva polínica moderna, procedeu-se a análise de componentes principais (ACP). Esta análise teve a finalidade de verificar possíveis correspondências entre a vegetação moderna (registro polínico atual) e as assembléias fósseis identificadas. Para sua realização, considerou-se um conjunto de 34 amostras e 96 taxa (somente os com mais de 1% em pelo menos uma das amostras analisadas). Os dez primeiros componentes principais (CP) somam 90% da variância (Tabela 4.15), sendo que os dois primeiros CPs concentram 58,8% da variância total, mais da metade das informações contidas na matriz de dados.

Tabela 4.15. Valor próprio, porcentagem de variância e variância acumulada para os dez primeiros componentes obtidos pela ACP para os dados da análise palinológica.

CP	Valor próprio	% Variância	% Variância acumulada
1	140,948	43,842	43,842
2	48,1396	14,974	58,816
3	26,1928	8,1472	66,9632
4	18,9904	5,9069	72,8701
5	14,5504	4,5259	77,396
6	12,4513	3,873	81,269
7	9,52919	2,964	84,233
8	7,03019	2,1867	86,4197
9	6,53297	2,0321	88,4518
10	5,42758	1,6882	90,14

Para a representação gráfica dos resultados da ACP (Figura 4.43), elaborou-se um gráfico tipo “*biplot*”, onde são apresentados simultaneamente os escores e os pesos (neste caso, as amostras e os *taxa*, respectivamente), sendo os primeiros representados por pontos e os últimos por vetores. Este tipo de gráfico permitiu observar com maior clareza quais os *taxa* responsáveis pela separação dos agrupamentos de amostras. A inclinação, tamanho e proximidade de cada vetor a um grupo de amostras reflete a importância do *taxon* na separação destes pontos.

Figura 4.43. Gráfico *biplot* de escores e pesos para as duas primeiras componentes principais. As amostras (escores) são representadas por pontos e os *taxa* (pesos) por vetores. Análise realizada para o conjunto de dados obtido pela análise palinológica.

Figura 4.44. Coordenadas das amostras em relação ao principal componente 1 (CP1).

O primeiro componente principal (CP1), que concentra 43,8% da variância dos dados, coloca em oposição o conjunto de amostras do testemunho SAN, do lado positivo, das amostras dos outros dois testemunhos, do lado negativo (Figura 4.43 e 4.44). Exceções fazem-se para as amostras S0 (lado negativo) e R10 (lado positivo). Com relação aos dados de chuva polínica, do lado positivo estão as amostras coletadas na restinga arbustiva e arbórea (CH2, CH4 e CH5) e do lado negativo as aquelas coletadas na turfeira próxima ao lago Figueirinha e na transição mata - banhado (CH1 e CH3).

Dentre as amostras do lado negativo do CP1, F60 e F40 distanciam-se das demais. Estas duas amostras são fortemente relacionadas ao *taxon* Poaceae e, em menor proporção, a Asteraceae (Figura 4.43). Nota-se a influência que estes dois *taxa* exercem também sobre a amostra S0, o que justifica sua posição no lado negativo do CP1. O fato de nenhuma das amostras de chuva polínica estar posicionada próxima aos pontos F60 e F40 indica que, pelo menos nas amostras aqui estudadas, não foi observado sinal polínico atual semelhante ao destes pontos. A diferença deste par de amostras das demais também é notada na análise de agrupamento (classe 1, Figura 4.45).

A separação do grupo de amostras posicionadas no quadrante inferior esquerdo da Figura 4.43 deve-se principalmente aos *taxa* Melastomataceae/Combretaceae, Arecaceae (Palmae), *Juncus* e Cyperaceae. Já as amostras posicionadas do lado positivo do CP1 são influenciadas pelos *taxa* Myrtaceae, *Byrsonima*, *Sloanea*, *Ilex*, *Myrsine* (*Rapanea*), Apocynaceae, Mimosaceae, *Alchornea* e Moraceae.

Usando os análogos modernos (sinais da chuva polínica atual) para interpretar os dados fósseis, a distribuição das amostras com relação à primeira componente principal parece indicar áreas de cobertura vegetal mais densa (restinga arbórea ou arbustiva), do lado positivo, e mais aberta (entorno de lagunas, banhados, depressões e bordas de mata), do lado negativo.

Como complemento à ACP, foi realizada a classificação ascendente hierárquica (CAH). No dendrograma obtido pela CAH (Figura 4.45a), cuja partição foi feita de modo que a menor similaridade entre dois grupos fosse -50, extraíram-se quatro classes de amostras. A partir da análise combinada dos dois métodos estatísticos (ACP e CAH), buscou-se

identificar as famílias e gêneros botânicos responsáveis pela separação destas classes e verificar qual o significado das assembléias polínicas em termos de cobertura vegetal.

A classe 1 é composta pelas amostras F60 e F40, base do intervalo analisado no testemunho FIG, composto por até 75% de pólen de plantas herbáceas (item 4.4.2, Figura 4.38). Como observado na ACP, estas duas amostras são separadas das demais pelas altas frequências de Poaceae e Asteraceae. Esta associação de *taxa* é relacionada à vegetação bastante aberta. Conforme já discutido anteriormente, nenhuma das amostras de chuva polínica apresentou sinal análogo. Pelos dados de levantamento botânico realizados na área, dois tipos de cobertura vegetal podem apresentar o predomínio destes *taxa*: (a) vegetação de praias e dunas eólicas e (b) vegetação de borda de laguna. Se estas amostras representam a cobertura vegetal de praias e dunas, esta vegetação deveria colonizar áreas ligeiramente mais úmidas, onde seria possível conservar o material polínico da oxidação. A outra interpretação possível é que este registro esteja relacionado a vegetação de pântano salobro (*salt marsh?*) dominada por Poaceae, em borda lagunar de zona intermarés, adaptada a variações de salinidade.

A classe 2 é composta pelas amostras F20, F0, S0, CH1, CH3 e por amostras da **zona I** do testemunho RIA (60 a 30 cm). As duas amostras de chuva polínica aqui presentes representam vegetação de banhado (CH1) e de borda de mata na transição para banhado (CH3). Isto sugere que, por analogia, o registro polínico das amostras analisadas nos testemunhos deve representar tipo de flora similar ao observado hoje nos pontos de coleta CH1 e CH3, com vegetação aberta, em terreno úmido e/ou pantanoso. As famílias e gêneros responsáveis por este agrupamento de amostras (Figura 4.45b) reforçam esta interpretação, com destaque para o gênero *Juncus*, indicador de áreas sujeitas a inundações. Porém, neste agrupamento, a amostra S0 não apresenta as mesmas características e nem pode ser relacionada a vegetação de banhado ou áreas úmidas. Ela é agrupada com as demais amostras na classe 2 da análise de *cluster*; porém, sua posição na Figura 4.43, permite notar que se trata de amostra fortemente influenciada pelo *taxon* Poaceae e Asteraceae, sem correlação portanto com os demais *taxa* índices da classe 2. A amostra em questão representa o topo do testemunho SAN. A análise da paisagem atual observada no local de coleta do testemunho (item 4.4.1 Figura 4.36V) explica o aumento de Poaceae nesta amostra e sua distinção das demais amostras do testemunho SAN. Esta área foi intensamente desmatada e atualmente é ocupada por área destinada a pastagem. Portanto, a colocação da amostra S0 na classe 2 parece não ter significado em termos de vegetação original. Assim, apesar de ela não ter sido isolada, perante ao valor de corte estabelecido, das demais amostras do dendrograma, propõe-se sua separação na subclasse 2a.

b)

Classe	Amostra	Taxa índice	Cobertura vegetal
1	F40, F60	Poaceae, Asteraceae	Vegetação aberta dominada por Poaceae (pântano salobro? dunas eólicas?)
2	R50, R60, R40, R30, F0, F20, CH1, CH3	Melastomataceae/Combretaceae, Arecaceae (Palmae), Cyperaceae, <i>Juncus</i>	Banhados, depressões, borda de lagunas ou borda de matas
2a	S0*	Poaceae, Asteraceae	Área relacionada a intensa modificação antrópica
3	S10, S30, S40, S80, S90, S100, S110, S120, S130, S140, S160, S170, S180, S190, S200	Myrtaceae, <i>Byrsonima</i> , <i>Sloanea</i> , <i>Ilex</i> , <i>Myrsine</i> (<i>Rapanea</i>)	Restinga arbustiva e/ou arbórea
3a	CH5*	Myrtaceae	Pouco significado ecológico; super-representação do taxa índice devido de coletor da amostra de chuva polínica (colchão de briófitas)
4	R0, R10, R20, S20, S60, CH2, CH4	Mimosaceae, Apocynaceae, <i>Alchornea</i> , Moraceae	Restinga arbustiva e/ou arbórea (provavelmente mata aberta, dada a importância dos taxa pioneiros e heliófilos)

Figura 4.45. (a) Dendrograma formado pela classificação ascendente hierárquica para o conjunto de dados da análise palinológica (dados de chuva polínica moderna e dados dos três testemunhos) e (b) quadro com os taxa índices de cada classe e respectivas interpretações de cobertura vegetal.

A classe 3 agrupa a amostra CH5 e quase a totalidade do testemunho SAN, com exceção das amostras S0, S20 e S60. A amostra CH5 deve ser usada com cautela para comparação dos resultados fósseis com o sinal atual da vegetação pois, conforme discutido no item 4.4.2, apresenta super-representação de Myrtaceae, motivo pelo qual foi considerada como subclasse 3a. Vale ressaltar que a análise de componentes principais foi feita também sem esta amostra, para avaliar sua colaboração na organização geral dos pontos, sem porém se constatar diferença na dispersão de pontos. Em vista disso, optou-se por apresentar o gráfico obtido com a totalidade das amostras estudadas. Os *taxa* responsáveis por este agrupamento (Figura 4.43 e 4.45b) também foram encontrados por Behling *et al.* (1997) no registro da chuva polínica da restinga na Reserva de Volta Velha (extremo norte de Santa Catarina, próximo a divisa com o Paraná), em área de floresta nativa. Este parece ser um dado importante, uma vez que as duas amostras de chuva polínica coletadas em área de mata mais preservada (CH2 e CH4) apresentam espectros polínicos ligeiramente distintos, talvez pelo fato de a vegetação na área de estudo, mesmo nos pontos de mata mais densa, apresentarem algum grau de perturbação. A associação de *taxa* índices desta classe é interpretada como registro da restinga arbórea e/ou arbustiva densa.

O agrupamento de amostras da classe 4 também é indicativo de restinga arbórea e/ou arbustiva, interpretação baseada tanto nas amostras de chuva polínica CH2 e CH4, como também nos *taxa* índices desta vegetação (ver item 4.4.1 – *Chuva polínica moderna*). Porém, esta associação pode caracterizar áreas de vegetação com dossel mais aberto. *Alchornea* e *Moraceae* foram apontadas por Ybert *et al.* (2003) como *taxa* pioneiras e heliófilas, isto é, plantas que são adaptadas ao crescimento em ambiente aberto ou exposto a luz direta. *Mimosaceae* e *Apocynaceae* também apresentam vários gêneros heliófilos (Lorenzi, 2000). Portanto, as amostras contidas nesta classe provavelmente representam mata de restinga mais aberta do que as amostras presentes na classe anterior.

Capítulo V. Interpretação e discussão

Integração dos dados e elaboração de modelo paleoambiental

Lago Figueirinha – testemunho FIG

O testemunho coletado na turfeira próxima ao lago Figueirinha foi o único, dentre os três estudados nesta Tese, a atingir sedimentos pleistocênicos, com potencial, portanto, para revelar informações sobre mudanças ambientais de mais longo prazo. Apesar disso, este foi o testemunho que mais apresentou dificuldades de interpretação devido ao baixo número de variáveis disponíveis para elaboração de um modelo paleoambiental consistente. Grande parte das interpretações aqui apresentadas baseia-se essencialmente em variações sedimentológicas e geoquímicas, uma vez que mais da metade da coluna não apresentou conteúdo microfossilífero (pólen, esporos e diatomáceas). Desta forma, as informações obtidas para este testemunho trazem pouca contribuição para o avanço das discussões acerca das variações climáticas ocorridas no Quaternário costeiro do Sul do Brasil.

Os dados obtidos para o testemunho FIG (Figura 5.1) permitem dividi-lo em cinco zonas (**I a V**), sendo as duas inferiores de idade pleistocênica. A **zona I** corresponde a fácies areia fina laminada, da base do testemunho à profundidade de 165 cm, com idades mais antigas que ca. 25000 anos cal AP. Esta zona caracteriza-se, segundo a análise granulométrica, por baixos teores de pelíticos (> 5%), diâmetro médio mais grosso (< 2,5 Ø) e maior grau de seleção (desvio padrão < 1,2). Os resultados de geoquímica indicam mistura na fonte da matéria orgânica preservada nos sedimentos (Figura 5.1a e 5.1b), com contribuição de plantas terrestres e algas, sendo que os valores de $\delta^{13}\text{C}$, entre -21,2 e -20,1‰ (Figura 5.1a), indicam maior contribuição, entre as plantas terrestres, de tipo C4.

Através das características sedimentológicas desta zona, composta por sedimentos arenosos bem selecionados com laminação plano-paralela (e/ou cruzada de baixo ângulo, o que não pode ser avaliado devido às dimensões do testemunho), e do contexto deposicional em que se encontra o testemunho FIG (ver mapa Figura 2.1, **Capítulo II**, item **2.1**), isto é, numa borda de vale muito próxima a terraço de construção marinha com cotas de 6 a 9 m, sugere-se que este intervalo corresponda a depósitos do sistema deposicional planície costeira regressiva pleistocênica, proposto por Giannini (1993), possivelmente em fácies de espraçamento. Este sistema teria se desenvolvido após a máxima inundação marinha correlata ao nível relativo do mar alto (NRM) do interglacial *Riss-Würm*, que na costa sul-sudeste do Brasil teria atingido $8 \pm 2\text{m}$ acima do nível do atual (Figura 5.2), em cerca de 120.000 anos AP, (Martin *et al.* 1988). Por volta de 25.000 anos AP, o NRM estaria em franco declínio e o baixo nível de base de erosão favoreceria a formação de vales fluviais incisos sobre os terraços marinhos regressivos.

Figura 5.1. Síntese dos resultados obtido para o testemunho FIG. (a) Variação, em função da profundidade, de variáveis sedimentológicas, diatomológicas, palinológicas e geoquímicas. Em (b) são apresentadas as possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos. As setas e círculo em vermelho ressaltam as variações discutidas no texto.

Figura 5.2. Variação do nível relativo do mar na costa brasileira durante os 120 000 anos AP segundo dados compilados de Martin *et al.* (1988b), Correa (1996) Angulo & Lessa (1997), Angulo *et al.* (1999). Extraído de Giannini *et al.* (2007).

A transição entre as **zona I** e **II** deve marcar justamente o início da erosão fluvial do sistema planície costeira, na área do testemunho. Na **zona II**, a piora no grau de seleção dos sedimentos (desvio padrão > 2) e o diâmetro médio mais fino (> 3,0 Ø), ligado a aumento no teor de pelíticos, seriam o reflexo da instauração de aporte sedimentar através das drenagens. Também é observada mudança clara nas curvas de variação do $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e C/N (Figura 5.1a). A origem da matéria orgânica preservada nos sedimentos continua a apresentar característica de mistura de plantas terrestres e algas (Figura 5.1b), porém, os valores de $\delta^{13}\text{C}$, com média de -18,4‰, indicam contribuição mais significativa de plantas do tipo C4. O pico observado na curva de variação da razão C/N registra a mudança na contribuição das fontes da matéria orgânica preservada no sedimento, com maior entrada de material enriquecido em C, se comparada à zona inferior.

Enquanto o NRM e o nível de base se mantiveram em queda, até atingir o mínimo de cerca de 130m abaixo do atual em aproximadamente 17000 anos AP (Correa, 1996), a erosão fluvial de depósitos costeiros preexistentes deve ter-se mantido bastante ativa. O registro do período correspondente, entre 25000 e 17000 anos AP, seria marcado pela maior inclinação nas curvas de variação do diâmetro médio e do desvio padrão granulométricos (Figura 5.1a). Com o fim do ciclo de rebaixamento do nível de base, a drenagem começa a ficar senil e a perder poder de erosão, o que se reflete no registro sedimentar na mudança da inclinação das curvas de variação dos parâmetros granulométricos.

A **zona III** é caracterizada pela manutenção dos valores de diâmetro médio e desvio padrão. Os dados de geoquímica também não apresentam oscilações significativas no intervalo. Esta zona já se contextualiza no período da última ascensão pós-glacial de NRM, que deve ter atingido seu ápice entre 6000 e 5000 anos AP (Suguio *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1988b; Angulo *et al.*, 1999, 2006). É possível que o máximo NRM holocênico reflita-se na

alta taxa de sedimentação observada entre as profundidades de 70 e 80 cm (ca. 5100 anos cal AP). Mesmo considerando que a taxa de sedimentação máxima obtida (10 mm/ano) possa estar superestimada, os valores mínimos são suficientes para caracterizar aumento significativo quando comparados às demais taxas de sedimentação obtidas na coluna, com exceção das calculadas para a porção superior do testemunho. Este intervalo pode ter presenciado a formação, no local, da extensão sul de um corpo lagunar estreito ligado às lagunas Laranjal e Garopaba do Sul. Esta extensão lagunar teria sido efêmera, de tal modo que, uma vez interrompida sua conexão com o restante da laguna, deu origem ao lago Figueirinha. Sua existência, indicada em estudos de mapeamento geológico e análise de foto aérea, é, porém, difícil de ser confirmada pelos dados aqui obtidos, uma vez que não se observam mudanças importantes em nenhuma das variáveis analisadas, a não ser o mencionado aumento de taxa de sedimentação. O testemunho FIG poderia representar, então, porções muito marginais da paleolaguna, onde a inundação, curta no tempo, não chegou a induzir mudança expressiva nas condições de sedimentação locais.

A **zona IV** marca o início da colonização vegetal no entorno do lago (ou paleolaguna) Figueirinha, com surgimento de condições adequadas para preservação do material polínico. Os dados de palinologia apontam claramente para um tipo de vegetação mais aberta que a atual, dominada essencialmente por Poaceae. Esta vegetação relaciona-se possivelmente à presença de pântano, em borda de lago ou laguna, sendo que, no último caso, indicaria zona intermarés, com vegetação adaptada a variações de salinidade. A decomposição do material vegetal neste pântano deve ter iniciado o processo de formação da turfeira no local de coleta do testemunho. O aumento progressivo de Cyperaceae e de taxa aquáticos típicos de vegetação de turfeira (Eriocaulaceae, *Juncus*, *Drosera*) rumo ao topo desta zona aponta para esta direção.

Os dados de $\delta^{13}\text{C}$ marcam bem a transição entre as zonas **III** e **IV**, com mudança de valores da ordem de - 4‰ (Figura 5.1a). Todavia, os valores mais empobrecidos observados na zona **IV** continuam a indicar forte contribuição de plantas do tipo C4, o que é corroborado pelo registro palinológico.

A zona **V** indica que, em ca. 500 anos AP, consolida-se a situação atual observada na área. A maior retenção de umidade no solo propiciado pela formação da turfeira torna possível o desenvolvimento e preservação do registro de diatomáceas. A presença de diatomáceas neste intervalo também é registrada pela queda nos valores de razão C/N, o que mostra a contribuição de matéria orgânica algácea, mais rica em N. Os parâmetros ecológicos inferidos com base nestas algas, de pH ácido e coluna de água pouco profunda (alguns cm) são os mesmos observadas atualmente na turfeira onde o testemunho foi coletado: o substrato apresenta-se encharcado e, nos locais onde se observa lâmina de

água livre, a profundidade não ultrapassa 10 a 15 cm, com valores de pH, medidos no campo, entre 5,89 e 6,07.

O aumento progressivo de *taxa* arbóreos e a maior diversidade entre os *taxa* herbáceos indicam diversificação crescente da comunidade vegetal nos períodos mais recentes. Porém, mesmo com esse incremento nas porcentagens de *taxa* arbóreos, o registro é compatível com vegetação aberta, dominada por plantas herbáceas, conforme se observa hoje no entorno da turfeira onde foi coletado o testemunho.

As interpretações paleoambientais apresentadas para o testemunho FIG foram baseadas essencialmente nos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos, e na relação destes com o modelo deposicional quaternário proposto para o litoral centro-sul catarinense (Giannini, 1993). O registro da vegetação observado nas duas zonas superiores da coluna sedimentar indica variações no ambiente deposicional, que condicionariam a preservação ou não dos palinórfos. Portanto, nenhuma inferência de natureza climática pode ser obtida através da análise da vegetação.

Vale do Riachinho – testemunho RIA

A partir da análise integrada dos resultados obtidos para o testemunho coletado no vale do Riachinho (Figura 5.3), pôde-se a dividir a coluna sedimentar amostrada em três intervalos principais (**zonas A, B e C**), correspondentes respectivamente à deposição em submaré, intermarés e supramaré. Para melhor compreensão do cenário aqui proposto, elaborou-se um modelo paleoambiental (Figura 5.4a), com indicação da sucessão de fácies observadas no testemunho RIA (Figura 5.4b).

Os depósitos de submaré (**zona A**) encontram-se desde a base do testemunho até 80 cm de profundidade (entre ca. 5500 e 2740-2370 anos cal AP). As subdivisões propostas para este intervalo (Figura 5.3a) baseiam-se, essencialmente, em mudanças observadas nas assembléias de diatomáceas, que, por sua vez, refletem variações na salinidade dentro da laguna. A subzona **A1** (ca. 5500 e 5010-4980 anos cal AP) registra o predomínio de espécies marinhas estenotópicas, o que indica que a laguna deveria apresentar valores de salinidade (estimados segundo a classificação de Gasse *et al.*, 1987) entre 30 e 40‰. A alta frequência de *taxa* marinhos neste intervalo deve ser relacionada com o máximo nível relativo do mar no Holoceno, alcançado por volta dessa época (Suguio *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1988, Angulo *et al.*, 1999, 2006) e com a própria formação do corpo lagunar, gerado pelo afogamento de vales de dissecção preexistentes, na associação de fácies vale-laguna (Giannini, 1993; Giannini *et al.*, 2001).

As mudanças na assembléias de diatomáceas, com substituição de *Cymatosira*

belgica, como espécie dominante (classe 3 da CAH), por *Paralia sulcata* (classe 4), sugere variação nas condições de salinidade da laguna entre as subzonas **A1** e **A2** (mais salina para menos salina). Situação inversa é observada entre as subzonas **A2** e **A3**. A troca entre assembléias que apresentam estes dois taxa como espécies dominantes também foi observada por Jiang *et al.* (1997, 1998), em testemunho marinho coletado em Skagerrak-Kattegat, na transição entre o Mar do Norte e Mar Báltico. Segundo os autores, o fator responsável por esta mudança seria o aumento da influência de correntes oceânicas de salinidade mais baixa e temperaturas mais altas, que acarretaria a substituição de assembléia de diatomáceas dominada por *Cocconeis scutellum* var. *parva* e *Cymatosira belgica* por assembléia composta por *Paralia sulcata*, *Podosira stelliger* e *Actinopterychus senarium*. No entanto, em corpos lagunares tão restritos como deve ter sido o da região do Riachinho, a variação de salinidade não é influenciada diretamente por mudanças nas correntes oceânicas, mas sim pelo balanço entre entrada de água do mar e aportes de água doce por precipitação direta e/ou vinda das drenagens que deságuam na laguna. Maior ou menor aporte de águas marinhas relacionam-se à abertura e fechamento das conexões da laguna com o oceano, que são respostas à dinâmica sedimentar costeira, esta influenciada ou não por fatores climáticos (ventos, chuvas etc) e/ou mudanças no nível relativo do mar. Já os aumentos de aporte fluvial podem relacionar-se a aumentos de chuvas no continente.

Figura 5.3. Síntese dos resultados obtido para o testemunho RIA. (a) Variação, em função da profundidade, de variáveis sedimentológicas, diatomológicas, palinológicas e geoquímicas. Em (b) são apresentadas as possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos. As setas em vermelho ressaltam as variações discutidas no texto.

a)

b)

Figura 5.4. Evolução paleoambiental para o testemunho coletado no vale do Riachinho. (a) Modelo de reconstrução do cenário deposicional na zona costeira (modificado de Reineck & Singh, 1980) e (b) seção esquemática, transversal à paleolinha de costa lagunar, com indicação do empilhamento de fácies observada no testemunho RIA.

A passagem da subzona **A3** para **A4** também evidencia importante decréscimo nos teores de sal dentro da laguna. Porém, a redução da salinidade na subzona **A4** é mais efetiva do que a estimada para subzona **A2**, uma vez que aparecem no registro frequências expressivas de *taxa oligosalinos* (até 26% da flora de diatomáceas).

A redução de salinidade em dois intervalos do testemunho (de ca. 4995 a 3859 e de ca. 3435 a 2555 anos cal AP, idades médias obtidas a partir do cálculo da taxa de sedimentação) pode ser reflexo de (1) aumento no aporte fluvial, causado por aumento de precipitação no continente e/ou (2) fechamento temporário, parcial ou total, da comunicação da laguna com o oceano, o que reduziria a influência de água marinha dentro do corpo lagunar, com decorrente diminuição de salinidade.

Para testar a primeira hipótese, os dados foram comparados às curvas de variação de $\delta^{18}\text{O}$ (Cruz *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006) e de razão Sr/Ca e Mg/Ca (Cruz *et al.*, 2007) obtidas em espelotemas da caverna Botuverá (27°13'24"S; 49°09'20"W), localizada a aproximadamente 160km a NNW da área de estudo. Segundo Cruz *et al.* (2005), a razão isotópica do oxigênio registrada em espeleotemas da região subtropical do Brasil reflete a contribuição relativa das chuvas de inverno e chuvas de verão. Esta mudança de sinal isotópico deve-se à fonte de umidade destas chuvas. A fonte de umidade das chuvas de verão, mais distante, associa-se às monções de verão da América do Sul, com valores de $\delta^{18}\text{O}$ mais baixos que os das chuvas de inverno, estas ligadas a passagem de ciclones extratropicais ao longo da costa atlântica. As razões geoquímicas Sr/Ca e Mg/Ca de espeleotemas, por sua vez, são *proxies* utilizados para avaliar variações na quantidade geral de chuvas (Cruz *et al.*, 2007). Entretanto, a existência de ruídos nas curvas de Sr/Ca e Mg/Ca, devidos provavelmente a questões analíticas, impossibilita discutir variações climáticas de mais curta duração (Cruz, comunicação pessoal), como as eventualmente ligadas aos dois eventos aqui apontados. Por outro lado, a partir da análise integrada das curvas de $\delta^{18}\text{O}$, Sr/Ca e Mg/Ca observa-se relação entre intensificação das chuvas de verão (valores mais negativos de $\delta^{18}\text{O}$ dos espeleotemas) e aumento da chuva média em geral (Cruz *et al.*, 2007). Nessa relação, a cada vez que as razões isotópicas do oxigênio diminuem de valor tem-se mais chuva em Santa Catarina. Desta forma, aumentos de precipitação também podem ser observados, em alta resolução, a partir dos registros de $\delta^{18}\text{O}$ na caverna Botuverá.

Uma vez que o aumento de precipitação pode ser relacionado aos dados de $\delta^{18}\text{O}$ nos espeleotemas de Botuverá, foi possível identificar nas curvas apresentadas por Wang *et al.* (2006) e Cruz *et al.*, (2006), que os dois períodos com registro de diminuição de salinidade na laguna correspondem a porções de queda mas abrupta nas curvas de razões

isotópicas do oxigênio, o que indica aumento da frequência e intensidade das chuvas de verão, e contribui para o aumento geral na quantidade de chuvas no período (Figura 5.5).

Figura 5.5. Curvas de variação do $\delta^{18}\text{O}$ registrada na estalagmite BTV4, na caverna Botuverá, em Santa Catarina (Wang et al., 2006). A linha em vermelho representa a média móvel (5 pontos). As barras em cinza destacam os intervalos de tempo onde se observa diminuição de salinidade dentro da laguna (subzonas A2 e A4), no registro do vale do Riachinho.

O aumento de precipitação nestes dois intervalos pode justificar o maior aporte de água doce e conseqüente redução da salinidade, o que não exclui a possibilidade de menor influência marinha devido a dinâmica de abertura e fechamento das conexões da laguna com o oceano.

Os resultados obtidos por Sylvestre *et al.* (2005) e Laslandes *et al.* (2006), em testemunhos coletados na laguna Brejo do Espinho, região de Cabo Frio (RJ), área de forte influência da zona de ressurgência, registraram fases mais secas em 4500 anos AP (Sylvestre *et al.*, 2005), em 3600-3500 e 3100-3000 anos AP (Tasayco-Ortega, 1996 *apud* Laslandes, 2006) e em 3000 e 2400 anos AP. Para a mesma região, Scheel-Ybert (2000) também indica a presença de clima mais seco entre ca. 4900/4500 e 2300 anos AP. Estes episódios de clima mais seco registrados na região costeira do Rio de Janeiro mostram tendência climática inversa da aventada para os dados obtidos no testemunho RIA. Segundo Laslandes *et al.* (2006), a intensidade da aridez no litoral Fluminense é controlada

pela presença da zona de ressurgência de Cabo Frio. Desta forma, as fases de seca registradas na laguna Brejo de Espinho estariam associadas ao aumento da atividade de ressurgência, em consequência da maior frequência de ventos de NE e, fases mais úmidas, ligadas ao predomínio de ventos S e SW. Períodos de ressurgência prolongada estariam relacionadas a fortes eventos de El Niño, o que resultaria num clima local mais seco. Assim, as fases áridas registradas na laguna seriam também correlacionados a eventos de El Niño. Valendo-se da premissa apontada por Laslandes *et al.* (2006), de que o registro de clima mais seco nas lagunas da região de Cabo Frio pode evidenciar eventos do tipo El Niño, é coerente o registro de clima mais úmido em Santa Catarina e mais seco no litoral do Rio de Janeiro no mesmo intervalo de tempo. Isto porque, durante eventos de El Niño, há o bloqueio no sistema de frentes polares na zona que se estende do sul do Peru à Região Sul do Brasil, relacionada a intensificação do *jetstream* subtropical, o que causa aumento anômalo de precipitação na zona de bloqueio dos frentes polares (o que inclui a área de Santa Catarina) e condições de aridez a norte desta zona (Martin *et al.*, 1993).

Embora relacionar os dados aqui obtidos a eventos do tipo El Niño pareça ser ainda bastante prematuro, a suspeita desta relação pode servir de perspectiva para trabalhos futuros, que atendam ao necessário aprofundamento da pesquisa sobre o assunto.

Os dois períodos onde se observa redução de salinidade no registro do vale do Riachinho apresentam diferenças significativas entre si, quanto às assembléias de diatomáceas. O primeiro, de ca. 4995 a 3859 anos cal AP (subzona **A2**), é dominado por espécie marinhas euritópicas, porém apresenta pelo menos 20% de espécies eusalinas estenotópicas e ausência de espécies oligosalobras, o que indica importante influência marinha na subzona. Já o segundo intervalo, ca. 3435 a 2555 anos cal AP (subzona **A4**), embora dominado por *Paralia sulcata*, espécie marinha euritópica, apresenta frequência de até 26% de espécies oligosalinas, com quase desaparecimento, no topo da subzona, das espécies marinhas estenotópicas (Figura 5.3a). Esta mudança indica redução acentuada da salinidade. Independente da discussão sobre aumentos de precipitação como fator que contribui para diluição nos teores de sal da laguna, o desaparecimento de espécies marinhas estenotópicas e o aumento de frequência de espécies oligosalinas indicam que neste intervalo a influência de águas marinhas deve ter sido cada vez menor e o aporte continental maior. Isto é atestado pela alteração nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e nas razões C/N na matéria orgânica preservada nos sedimentos (Figura 5.3b), que passa a indicar mistura de matéria orgânica de origem fitoplanctônica e de plantas terrestres C4 e C3.

As mudanças observadas na subzona **A4** são interpretadas como registro da transição entre domínios de submaré (fundo lagunar submerso), intermarés ou borda lagunar (**zona B**), o que explicaria o empilhamento de fácies observado no testemunho. Esta transição teria ocorrido em 2740-2370 anos cal AP, no contexto de declínio progressivo do

nível relativo do mar e conseqüente queda do nível de água dentro da laguna, com assoreamento gradual e progradação de sedimentos costeiros (Figura 5.4b), indicada pelo crescente aporte de material continental.

A **zona B** foi dividida em duas subzonas, referentes a domínio intermarés inferior e superior, subzona B1 e B2, respectivamente (Figura 5.4). A subzona **B1** caracteriza-se por: aumento na frequência da fração areia grossa, representada principalmente por bioclastos vegetais; diminuição nos teores de argila (frações finas devem representar as classes de silte); ausência de pólen, esporos e diatomáceas; e valores de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e razões C/N indicadoras de plantas terrestres tipo C3 (Figura 5.3b). A partir do modelo proposto, esta subzona indica condições de borda lagunar, sujeita a constante alternância entre dessecação e alagamento por efeito da variação das marés. Estas condições devem ter impossibilitado a preservação do material microfossilífero (diatomáceas, pólen e esporos).

A subzona **B2**, correlacionável à porção do intermarés superior já colonizada por vegetação (pântano salobro ou *salt marsh*), indica condições favoráveis para a preservação do material polínico. Esta subzona marcaria o início da formação da turfeira no vale do Riachinho. O registro palinológico assemelha-se ao sinal da chuva polínica amostrada na turfeira às margens do Lago Figueirinha, com alta frequência relativa de plantas aquáticas, principalmente *Juncus*, o que suporta a interpretação desta subzona como referente a borda lagunar vegetada. O registro vegetacional nesta subzona indica que, no entorno da paleolaguna, a cobertura vegetal deveria ser mais aberta que a atual, com predomínio de plantas herbáceas (frequência entre 44 e 57%). Porém, na profundidade de 50 cm, observa-se aumento pontual na frequência de plantas arbóreas, que coincide com um pico de areia grossa. Este aumento não parece refletir mudanças de cobertura vegetal e sim incremento episódico no aporte de matéria na área de sedimentação do testemunho. Como dito anteriormente, os registros de aumento nos teores de areia grossa neste testemunho são relacionados a presença de fragmentos vegetais nesta fração granulométrica. Este material poderia ter vindo de outras porções da bacia de sedimentação e carregar consigo material polínico diferenciado. A baixa resolução na análise palinológica realizada (amostras a cada 10 cm) e a ausência de diatomáceas, provavelmente devida a condições não favoráveis para preservação e/ou desenvolvimento destas algas, não permitiram fazer inferências paleoclimáticas para a **zona B**. Os dados de geoquímica também não apresentam alterações significativas que possam sugerir mudanças relacionadas ao clima, com indicação de predomínio de plantas C3 em toda zona.

A transição entre as **zonas B e C** (1730-1550 anos cal AP) marca o início da expansão da mata de restinga na área de coleta do testemunho, o que é bem registrado pelo aumento na frequência de plantas arbóreas (árvores, arbustos, epífitas e lianas). O intervalo de tempo correspondente à **zona C** (1730-1550 anos cal AP ao presente) não

apresenta mudança significativa na vegetação. A frequência relativa de esporos é a única a exibir alteração (aumento) intensa, porém restrita à amostra de topo do testemunho, o que pode ser efeito de ação antrópica, com pteridófitas colonizando áreas perturbadas. O desenvolvimento da vegetação de restinga em áreas antes ocupadas por vegetação característica de borda lagunar (subzona **B2**) reforçaria a idéia de progradação das fácies costeiras assoreando por completo a paleolaguna na área de coleta do testemunho, o que culmina na paisagem atual observada no vale do Riachinho.

Interpretações paleoclimáticas só puderam ser discutidas na porção do testemunho relativo à zona de submaré. O registro da vegetação através da análise palinológica mostrou pouco potencial de análise devido a problemas de preservação do material polínico e descontinuidade de registro (ausência de pólen e esporos em mais da metade do testemunho). Ainda assim, a cobertura vegetal caracterizada pelas assembléias palinológicas das zonas **B** e **C**, auxiliaram na elaboração do modelo evolutivo da área e permitiram reconstituir parte da história da vegetação no contexto de preenchimento/assoreamento da bacia lagunar.

Vale do rio Sangão – testemunho SAN

Tendo em mente o mesmo cenário paleoambiental proposto para a coluna sedimentar coletada no vale do Riachinho (Figura 5.3a), o testemunho SAN deve representar o registro deposicional de processos de supramaré (**zona C**). O conjunto de dados obtidos para os sedimentos do vale do rio Sangão (Figura 5.5) indica que a fase lagunar ou submaré deve ter sido mais antiga, não registrada no testemunho. Pela sua localização, mais próxima da área de afloramento do embasamento pré-cenozóico e mais afastada da desembocadura lagunar (ver mapa da Figura 2.1, item 2.1), o vale do rio Sangão deve ter perdido a conexão com a laguna muito mais cedo que no caso do testemunho RIA. O aporte sedimentar vindo das drenagens, inclusive serranas, deve ter permitido que em ca. 3000 anos cal AP (base do testemunho SAN), a laguna já se encontrasse assoreada no local, embora, na mesma época, ainda existisse conexão com o mar na área lagunar do testemunho RIA. Esta interpretação sustenta-se na ausência de diatomáceas marinhas e no domínio de espécies acidófilas, ao longo de todo o testemunho do vale do rio Sangão (Figura 5.5a). Os dados de geoquímica apontam para a mesma direção, com indicação de origem mista da matéria orgânica preservada nos sedimentos, composta por fitoplâncton de água doce e plantas terrestres do tipo C3 (Figura 5.5b). Portanto, o modelo aqui proposto sugere que os sedimentos coletados no vale do rio Sangão corresponderiam ao registro da deposição em planície de inundação

essencialmente fluvial (Figura 5.6).

Dentro deste modelo geral, duas hipóteses são possíveis para interpretar o significado da fácies arenosa da base do testemunho (240 a 215 cm): (1) barra em pontal, como registro do processo de migração do canal fluvial ou (2) canal ou meandro abandonado, o qual, após perder ligação com o canal principal e formar um lago, daria lugar a sedimentação de finos e a acúmulo de detritos vegetais (Figura 5.6).

Em ambas as hipóteses deve ter-se formado, na subzona **C1**, um corpo de água relativamente mais profundo que nas demais subzonas do perfil. Esta condição justificaria os valores mais altos na frequência de espécies de diatomáceas planctônicas/ticoplanctônicas neste intervalo (Figura 5.5a). Sylvestre *et al.* (2005) mencionam a existência de algumas das mesmas espécies planctônicas/ticoplanctônicas aqui registradas, como por exemplo *Cyclotella meneghiniana* e *Staurosirella pinnata*, em assembléias atuais de lagos costeiros com 1m de profundidade, na região de Cabo Frio (RJ). Este dado sugere que, na subzona **C1**, a bacia de sedimentação poderia apresentar coluna de água com profundidade dessa ordem de grandeza. O preenchimento progressivo desta bacia, por sedimento essencialmente pelítico, criaria condições propícias para preservar o material palinológico que começa a ser registrado a partir da subzona **C2**.

A subzona **C2** é caracterizada por: aumento no teor de pelíticos; diminuição nas frequências de diatomáceas planctônicas/ticoplanctônicas e de espécies alcaliófilas, indicativa de diminuição progressiva na profundidade do lago e de redução do pH da água; aumento dos teores de C_{org} e redução nos valores de $\delta^{15}N$, em sinal da crescente contribuição de matéria orgânica de plantas terrestres; e registro palinológico indicativo de vegetação da planície de inundação composta por mata de restinga arbórea e/ou arbustiva.

Figura 5.5. Síntese dos resultados obtido para o testemunho SAN. (a) Variação, em função da profundidade, de variáveis sedimentológicas, diatomológicas, palinológicas e geoquímicas. Em (b) são apresentadas as possíveis fontes da matéria orgânica preservada nos sedimentos. As setas e círculos em vermelho ressaltam as variações discutidas no texto

Figura 5.6. Modelo proposto para a evolução da sedimentação no vale do rio Sangão durante os últimos ca. 3000 anos cal AP (bloco diagrama com indicação dos depósitos desenvolvidos na planície de inundação fluvial, modificado de Allen, 1964). Com base no empilhamento de fácies observado no testemunho SAN, são indicadas no desenho as possíveis posições da coluna sedimentar obtida no vale do rio Sangão (1 e 2).

A subzona **C2** registra o preenchimento gradativo do lago de meandro abandonado e formação de um pântano, com o intenso acúmulo de fragmentos vegetais observado na descrição de fácies do testemunho. A mudança entre as subzonas **C2** e **C3** é bem marcada pelo desaparecimento repentino das diatomáceas e pela inversão nas idades obtidas para os sedimentos. A subzona **C3** representa a porção da coluna sedimentar onde se nota incremento na porcentagem de areia muito fina e mudança no comportamento da curva do parâmetro assimetria, calculado para a fração areia (Figura 5.5a), que neste intervalo apresenta valores negativos, tendência inversa da observada nos intervalos imediatamente acima e abaixo (nas subzonas **C2** e **C4**). A explicação aqui proposta é que este intervalo do testemunho corresponda a um depósito de leque de crevasa. Leques de crevasa relacionam-se a processos de rompimento de diques marginais durante episódios de inundação. Este tipo de processo pode justificar a inversão de idades neste trecho do testemunho, pois propicia a erosão e ressedimentação de sedimentos previamente existentes no dique. A espessura do intervalo (70 cm) pode sugerir mais de um episódio de deposição, mesmo porque, uma vez rompido o dique, cria-se um caminho preferencial para passagem da água em novos episódios de inundação. Esta hipótese, porém, não pode ser confirmada categoricamente devido a impossibilidade de verificar, no testemunho, superfícies que atestem a multiplicidade de eventos.

Segundo Nascimento Junior (2008), leques de crevasa aparecem comumente na

planície deltaica do rio Tubarão, como evidência de extravasamentos e inundações recorrentes, sendo que os leques mais novos podem ser reconhecidos em sensoriamento remoto por contraste textural e por associarem-se a alagamentos locais (lagos de crevassa). A impossibilidade de identificar estes tipos de feições nas foto aéreas disponíveis para a área do vale do rio Sangão pode ser atribuída à intensa modificação antrópica da área nas últimas décadas.

A existência de um depósito de leque de crevassa no testemunho SAN pode justificar também a ausência de diatomáceas na maior parte deste intervalo, uma vez que os sedimentos carregados pelo leque pertenceriam a depósitos desfavoráveis à presença destes organismos. O registro de assembléias de diatomáceas indicativas de condições ambientais similares entre si, acima e abaixo do intervalo em questão, suportam a interpretação de modificação episódica nas condições de sedimentação local. O aporte episódico de água e sedimentos arenosos durante o rompimento do dique propiciou provavelmente a formação de um lago de crevassa, onde em seguida teria sido permitida a retomada seja da deposição de material em suspensão, atestada pelo aumento no teor de argila, seja do desenvolvimento de diatomáceas.

Dentre os indicadores geoquímicos analisados, observa-se neste intervalo, variação bem marcada na curva de $\delta^{15}\text{N}$. Meyers *et al.* (1998), em estudo de mudanças ambientais para os últimos 1000 anos no Lago Pyramide, em Nevada (EUA), notaram aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ correlacionados a redução no nível de água do lago. Esta mudança ambiental, segundo os autores, foi provocada por um desvio parcial no rio Truckee, no contexto do uso do terreno para agricultura. Desta forma, parte do enriquecimento isotópico observado provavelmente indicaria diminuição no aporte de detritos de plantas terrestres, isotopicamente mais leves, carregados pelas águas do rio. Isso significa que a mudança nos valores isotópicos refletiriam não uma alteração nas fontes de matéria orgânica, mas sim variações na contribuição relativa destas fontes no registro sedimentar. Portanto, se for utilizado o mesmo raciocínio apresentado por Meyers *et al.* (1998), a mudança nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ seria devida a diferença de assinatura isotópica dos sedimentos do leque de crevassa, isto é, dos depósitos de dique marginal retrabalhados, uma vez que estes depósitos, se comparados a outros locais de sedimentação dentro da planície de inundação, apresentariam valores isotópicos mais pesados em vista de menores proporções de detritos vegetais.

Os resultados de palinologia para a subzona **C3** não evidenciam mudanças significativas. A presença de palinomorfos nesta subzona indica que estes já deveriam estar presentes nos sedimentos depositados no dique marginal, junto às frações granulométricas mais finas. Um fator adicional, que poderia justificar o aumento da concentração de pólen nos sedimentos, seria o transporte, junto aos sedimentos do leque, de material de outras

partes da planície de inundação.

Após o registro do leque de crevassa, a sedimentação na subzona **C4** (1870-1640 a ca. 468-383 anos cal AP) volta a ser predominantemente pelítica, com intenso acúmulo de fragmentos vegetais, observados na descrição do testemunho e atestado pelo aumento na frequência de areia grossa, de caráter fitodetrítico. Os valores de C_{org} aumentam e os valores de $\delta^{15}N$ indicam matéria orgânica isotopicamente mais leve, relacionada a maior proporção de detritos vegetais de plantas terrestres.

Os resultados diatomológicos para a subzona **C4** indicam aumento brusco nas concentrações de diatomáceas nos sedimentos, aliado à mudança nas condições de pH no meio. O pico de produção fitoplanctônica é também registrado pelo aumento no valor do $\delta^{15}N$ (Figura 5.5a). O enriquecimento em diatomáceas no sedimento pode estar ligado a um processo natural de eutroficação, através do qual a decomposição do material vegetal acumulado junto ao fundo sedimentar aumenta os nutrientes na coluna de água e favorece, assim, o florescimento destas algas. Processos de eutroficação, normalmente, apresentam um ápice: com o rápido desenvolvimento de diatomáceas e com a taxa de crescimento do fitoplâncton maior que a quantidade de nutrientes disponível, estas algas entram em declínio em seguida e sua decomposição reduz as taxas de oxigênio da água. Esta evolução no processo de eutroficação pode justificar o comportamento da curva de variação de concentração de diatomáceas neste intervalo, que mostra aumento dos valores de concentração até o ápice de desenvolvimento destas algas, em 35 cm de profundidade ($\sim 5.10^7$ valvas/grama de sedimento seco), e posterior queda abrupta nos valores de diatomáceas nos sedimentos (Figura 5.5a). Outra possível explicação é que o aumento de ácidos húmicos gerados pela decomposição vegetal teria tornado o ambiente mais ácido, em condições propícias para o amplo desenvolvimento de espécies acidófilas, principalmente *Eunotia pectinalis* e *E. aff recta* (ver item 4.3).

O local de desenvolvimento das diatomáceas da subzona **C4** seria representado por um corpo de água pouco profundo (alguns centímetros de lâmina de água livre), resultante do progressivo assoreamento da bacia de sedimentação. Possíveis fases de exposição do substrato são indicadas pelo aumento de frequência de espécies aerófilas no topo da subzona.

Os dados de palinologia para esta subzona indicam cobertura vegetal de restinga arbórea e/ou arbustiva, porém, a concentração de pólen nos sedimentos é a mais baixa de toda a coluna sedimentar. Embora não se observe mudança de proporção entre plantas de hábito arbóreo e herbáceo, há variação nos taxa índice da assembléia palinológica do intervalo, como Mimosaceae, Apocynaceae, *Alchornea* e Moraceae (ver item 4.4.3). Todas as famílias e gêneros apontados podem apresentar espécies xerófitas, isto é, capazes de crescer em solos com pouca umidade e/ou indiferentes às condições do substrato (Lorenzi,

2000, 2002; Marchant *et al.*, 2002). Talvez esta mudança na assembléia palinológica possa indicar diminuição na média de precipitação neste período, não suficiente para mudar a vegetação mas sim para influenciar no desenvolvimento de algumas espécies e na sua contribuição relativa no registro palinológico.

As curvas de variação de $\delta^{18}\text{O}$ (Cruz *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006) para espeleotemas na caverna Botuverá (SC) indicam que entre 2281 e ca. 500 anos cal AP, com exceção do intervalo de aproximadamente 1300 a 700 anos cal AP, há uma menor frequência de chuvas de verão (isotopicamente mais leves), em relação ao período anterior, o que deve indicar, segundo o que já foi discutido anteriormente para o testemunho RIA, redução na média de precipitação da região (Figura 5.7). Isto poderia justificar o maior desenvolvimento de *taxa* com adaptação a condições de menor umidade no solo e a baixa concentração de pólen nos sedimentos.

Entretanto, a redução na média de precipitação inferida pela análise dos dados de $\delta^{18}\text{O}$ não exclui a possibilidade de que a baixa concentração de pólen nos sedimentos seja reflexo apenas de problemas de conservação dos palinomorfos. Isto porque, neste mesmo intervalo, pode-se observar, a partir das curvas de variação granulométrica, uma queda nos teores de argila. Os palinomorfos, devido a seu equivalente hidráulico relativamente baixo, são normalmente depositados junto às frações sedimentares mais finas, normalmente argila. Assim, reduções nos teores de argila podem resultar também em perda no registro de pólen e esporos. Estudos palinológicos realizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (Behling, 1998, 2002; Behling & Negrelle, 2001; Ybert *et al.*, 2003, Garcia *et al.*, 2004) indicam que, de maneira geral, os registros polínicos mostram aumento da umidade efetiva a partir do Holoceno médio-tardio, sendo que o Holoceno tardio é caracterizado por um clima muito úmido, sem períodos de seca significativos (Behling, 1998). Portanto, se o registro palinológico dos sedimentos do vale do rio Sangão registram, de fato, intervalo com redução na média de precipitação, este deve refletir um efeito local, onde a mudança no regime de chuvas não provocou mudanças efetivas na cobertura vegetal, que mantém sinal característico de mata de restinga arbórea/arbustiva. Esta mudança na precipitação deve ter apenas intensificado o desenvolvimento de espécies melhor adaptadas a estações seca mais prolongadas.

Figura 5.7. Curva de variação do $\delta^{18}\text{O}$ registrada na estalagmite BTV4, na caverna Botuverá, em Santa Catarina (Wang et al., 2006), onde a curva em vermelho representa a média móvel (5 pontos). A barra em cinza destaca o intervalo de tempo onde se observa, no registro do vale do rio Sangão, redução na concentração de pólen nos sedimentos e mudança nos taxa índice da assembléia palinológica na subzona C4.

A subzona **C5**, porção de topo da coluna sedimentar (ca. 425 anos cal AP ao presente), caracteriza-se pelo aumento nas concentrações de pólen nos sedimentos, aumento de espécies de diatomáceas aerófilas, redução nos valores de C_{org} e valores mais enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$. Esta subzona reflete a influência antrópica na área do testemunho nos últimos séculos.

O aumento na proporção de diatomáceas aerófilas, principalmente nos 10 cm de topo do perfil, onde estas espécies chegam a quase 30% do total, podem ser correlacionadas a menor umidade e exposição do substrato, relacionada ao desvio do curso da drenagem nas últimas décadas. A retificação do canal fluvial, com seu distanciamento em relação ao ponto amostrado, teria diminuído a umidade do solo neste local.

O aumento na concentração de pólen nos sedimentos é ligado principalmente ao incremento de espécies herbáceas, sobretudo Poaceae. Nesta subzona, diversos taxa arbóreos diminuem de frequência, com aparecimento, em contrapartida, de espécies introduzidas pelo homem, como *Pinus* e *Passiflora*. Esta última, embora possa ocorrer naturalmente na mata de restinga, é registrada somente nos sedimentos do topo do testemunho, o que sugere seu caráter de planta introduzida.

O testemunho coletado no vale do rio Sangão retrata a história de deposição na planície de inundação nos últimos 3000 anos, com a identificação de um possível depósito de leque de crevassa. Dados da palinologia parecem sugerir mudança relativa no desenvolvimento da vegetação local que poderiam ser atribuídas a variações no regime de chuva. Porém, este dado não guarda correspondência com outros registros palinológicos da Região Sul, o que permite aventar a hipótese de que se trate somente de problemas de preservação do registro palinológico.

As diatomáceas evidenciam que, no período de tempo referente ao testemunho coletado, a área não deveria mais apresentar conexão com o corpo lagunar que ocupara a região em fase anterior (Holoceno médio) de nível do mar mais alto. As assembléias em toda a coluna sedimentar são compostas quase que totalmente por espécies oligosalinas e/ou de água doce, sendo a maioria acidófilas.

Capítulo VI – Conclusões gerais

O estudo detalhado, fundamentado em análise de multi-indicadores, de três testemunhos (FIG, RIA e SAN) coletados na região costeira de Jaguaruna, SC, permitiu alcançar a meta geral proposta para esta Tese, a de traçar a evolução dos ecossistemas costeiros na área de estudo durante o Quaternário tardio. Foi constatado que o conhecimento e avaliação dos processos sedimentares atuantes na área de estudo são essenciais para elaboração de modelos paleoambientais mais consistentes. Isto ressalta a necessidade e importância do uso de um leque de indicadores (biológicos, geoquímicos e sedimentológicos), para melhor compreensão do registro sedimentar analisado, sobretudo em áreas de sedimentação extremamente dinâmica, como é o caso das regiões costeiras em geral, e das lagunares em particular.

Dentre as três colunas sedimentares analisadas, somente uma atingiu sedimentos pleistocênicos (testemunho FIG), com potencial, portanto, para revelar informações sobre mudanças ambientais de mais longo prazo. Todavia, a partir dos resultados obtidos para este testemunho pouco se pode avançar para recompor um cenário paleoambiental, em termos de clima e vegetação, durante o Pleistoceno e início do Holoceno. Desta forma, a análise conjunta dos resultados adquiridos a partir dos três testemunhos permitiu estudar a evolução costeira de Jaguaruna nos últimos ca. 5000 anos cal AP.

A ca. 5000 anos AP, a área de estudo deveria ser ocupada por um conjunto de lagunas intercomunicadas, formadas no contexto da última ascensão pós-glacial de NRM, que deve ter atingido seu ápice na região entre 6000 e 5000 anos AP (Suguio *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1988b; Angulo *et al.*, 1999, 2006). A existência desta laguna é atestada, no testemunho RIA, pela presença de diatomáceas marinhas e pelo sinal isotópico e elementar da matéria orgânica preservada nos sedimentos, indicativo de origem algácea, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ de fitoplâncton marinho. No testemunho FIG, é possível que o máximo NRM holocênico reflita-se na alta taxa de sedimentação observada ca. 5100 anos cal AP. Para este período, sugere-se que a área de coleta deste testemunho possa ter presenciado a formação da extensão sul de um corpo lagunar estreito ligado às lagunas Laranjal e Garopaba do Sul. Esta extensão lagunar teria sido efêmera, de tal modo que, uma vez interrompida sua conexão com o restante da laguna, deu origem ao lago Figueirinha.

A presença de um corpo lagunar mais extenso é registrada de ca. 5500 até 2740-2370 anos cal AP nos sedimentos coletados no vale do Riachinho, com indicação de pelo menos dois períodos de mudança nas condições de salinidade da laguna. Os dados do testemunho RIA puderam ser comparados com as curvas de $\delta^{18}\text{O}$ e Sr/Ca e Mg/Ca obtidas em espeleotema no Estado de Santa Catarina (Wang *et al.*, 2006; Cruz *et al.*, 2006, 2007) e mostraram boa correlação entre períodos com maior precipitação e diminuição na salinidade

das lagunas, o que seria relacionado à sua diluição por maior aporte fluvial. Porém, não pode ser excluída a possibilidade, de menor influência marinha devido a dinâmica de abertura e fechamento das conexões da laguna com o oceano. Ainda referente aos períodos onde há registro de aumento na precipitação local e, conseqüentemente, diminuição da salinidade da laguna, análises de diatomáceas e antracologia realizadas na região de Cabo Frio (Schell-Ybert, 2000; Sylvestre *et al.*, 2005, Laslandes *et al.*, 2006) indicam tendências opostas, com fases de aridez local, interpretadas como efeito da maior freqüência de eventos do tipo El Niño ocorridos no período. Desta forma, seria coerente encontrar registros divergentes, mais seco em Cabo Frio e mais úmido em Jaguaruna, uma vez que, durante eventos de El Niño, há o bloqueio no sistema de frentes polares na zona que se estende do sul do Peru à Região Sul do Brasil, com intensificação de precipitação na zona de bloqueio dos frentes polares (o que inclui a área de Santa Catarina) e condições de aridez a norte desta zona (Martin *et al.*, 1993). Embora relacionar os dados aqui obtidos a eventos do tipo El Niño pareça ser ainda bastante prematuro, a suspeita desta relação pode servir de perspectiva para trabalhos futuros, que atendam ao necessário aprofundamento da pesquisa sobre o assunto.

Os resultados obtidos para o registro do vale do rio Sangão indicam que a fase lagunar deve ter sido anterior a ca. 3000 anos cal AP (base do testemunho), não registrada no testemunho. Pela sua localização, mais próxima da área de afloramento do embasamento pré-cenozóico e mais afastada da desembocadura lagunar, sugere-se que o vale do rio Sangão tenha perdido a conexão com a laguna muito mais cedo que o vale do Riachinho, cujo testemunho (RIA), na mesma época, ainda registra conexão da laguna com o mar.

Os dados aqui adquiridos não permitem a identificação de influência das duas oscilações negativas de NRM durante o Holoceno tardio (4100-3800 e 3000-2700 anos cal AP), admitidas em alguns trabalhos prévios. O que se pode afirmar é que, nos últimos 5000 anos cal AP observa-se a desconexão gradual e contínua da laguna com o mar. Interpretações sobre posição vertical do NRM não devem ser ligados de modo direto a diatomologia, ou palinologia, uma vez que a presença ou ausência destes microfósseis no registro lagunar podem ser relacionadas a mudanças nos processos de dinâmica costeira (abertura ou fechamento da desembocadura lagunar, progradação de deltas de cabeceira de baía etc.) associadas ou não a variações no NRM.

Dentre os indicadores paleoambientais aqui estudados, a palinologia foi a que mostrou menor potencial de análise, devido a problemas de preservação do material polínico e descontinuidade de registro (ausência de pólen e esporos) nas três colunas sedimentares analisadas. Entretanto, a síntese dos dados palinológicos entre os três testemunhos permitem interpretar que, pelo menos nos últimos 4000 anos cal AP, a vegetação na área de

estudo não sofreu grandes modificações, o que sugere clima semelhante ao atual. Flutuações no regime de precipitação na área podem ter influenciado no desenvolvimento de algumas espécies de plantas, porém não o suficiente para mudar o tipo de cobertura vegetal existente. Ainda assim, é importante ressaltar que as principais mudanças observadas no registro da vegetação, sobretudo nos testemunhos FIG e RIA, indicam essencialmente variações no regime e substrato deposicionais, que condicionariam a preservação ou não dos palinórfos e/ou a progradação dos ecossistemas costeiros. Isto ressalta a idéia de que interpretações paleoclimáticas em contextos costeiros, inferidas somente a partir de alterações no registro polínico, devem ser feitas com cautela, uma vez que a dinâmica sedimentar local pode determinar a distribuição e preservação dos palinórfos nos sedimentos, sem influência direta de mudanças no clima.

A análise geoquímica isotópica e elementar do C e N na matéria orgânica preservada nos sedimentos mostrou-se importante ferramenta para auxiliar nas interpretações dos registros sedimentares nesta região, principalmente na distinção entre depósitos de submaré, intermaré e supramaré, melhor observada no testemunho coletado no vale do Riachinho.

Referências bibliográficas

- ALLEN, J.R.L., 1964. Studies in fluvial sedimentation: Six cyclothems from the lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin. *Sedimentology*, 3: 163-198.
- AMARAL, P.G.C., LEDRU, M.P., RICARDI-BRANCO, F., GIANNINI, P.C.F., 2006. Late Holocene development of a mangrove ecosystem in southeastern Brazil (Itanhaém, state of São Paulo). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 241: 608-620.
- AMARAL, P.G.C. 2003. *Contribuição palinológica ao estudo da evolução do manguezal do rio Itanhaém, litoral sul de São Paulo*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 71p. (inéd.)
- ANDERTON, R. 1985. Clastic facies models and facies analysis. In: BRENCHLEY, P.J. & WILLIAMS, B.P.J. eds. *Recent Developments and Applied Aspects*. Oxford, The Geol.Soc. - Blackwell Scientific Publ. p.31-47.
- ANGULO, R.J. & GIANNINI, P.C.F. 1996. Variação do nível relativo do mar nos últimos dois mil anos na região sul do Brasil: uma discussão. *Boletim Paranaense de Geociências*, 44: 67 - 75.
- ANGULO, R.J., GIANNINI, P.C.F., SUGUIO, K., PESSENDA, L.C.R. 1999. Relative sea level changes during the last 5500 years in the Laguna-Imbituba region (Santa Catarina, Brazil), based on vermetid radiocarbon ages. *Marine Geology*, 159(1999):323-339.
- ANGULO, R.J. & LESSA, G. 1996. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Salvador, pp. 285 - 288.
- ANGULO, R.J., LESSA, G.C., SOUZA, M.C., 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25: 486-506.
- ANUPAMA, K., RAMESH, R., BONNEFILLE, R. 2000. Modern pollen rain from Biligirirangan-Melagiri hills of southern Eastern Ghats, India. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 108: 175 - 196.
- ARZ, H.W., PÄTZÖLD, J., WEFER, G. 1998. Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off northeastern Brazil (Ceará). *Quaternary Research*, 50:157-166.
- ARZ, H.W., PÄTZÖLD, J., WEFER, G. 1999. The deglacial history of the western tropical Atlantic as inferred from high resolution stable isotope records off northeastern Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, 167: 105-117.
- AULER, A.S., WANG, X., EDWARDS, R.L., CHENG, H., CRISTALLI, P.S. 2004. Quaternary ecological and geomorphic changes associated with rainfall events in presently semi-arid northeastern Brazil. *Journal of Quaternary Science*, 19(7): 693-701.
- BARBERI, M. 2001. *Mudanças Paleoambientais na Região dos Cerrados do Planalto Central durante o Quaternário Tardio: o Estudo da Lagoa Bonita, DF*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 210 p.
- BARBERI, M., SALGADO-LABOURIAU, M.L., SUGUIO, K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of "Vereda de Águas Emendadas", central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 241-254.
- BARRETO, A. M. F. 1996. *Interpretação paleoambiental do sistema de dunas fixadas do médio rio São Francisco*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 147p.
- BATTARBEE, R. W. 1986. Diatom analysis. In: BERGLUND, B. E. (Ed.) 1986. *Handbook of Holocene Paleocology and Paleohydrology*. John Wiley & Sons Ltd., 869p.

- BEHLING, H. 1995. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. *Journal of Paleolimnology*, **14**(3): 253-268.
- BEHLING, H. 1997a. Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **129**: 407-422.
- BEHLING, H. 1997b. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the *Araucaria* forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, **97**: 109-121.
- BEHLING, H. 1998. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **99**:143-156.
- BEHLING, H., 2002. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **177**: 19-27.
- BEHLING, H. & NEGRELLE, R.R.B. 2001. Tropical rain forest and climate dynamics of the Atlantic lowland, Southern Brazil, during the Late quaternary. *Quaternary Research*, **56**: 383-389.
- BEHLING, H., NEGRELLE, R.R.B., COLINVAUX, P.A. 1997. Modern pollen rain data from tropical Atlantic rain forest, Reserva Volta Velha, South Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **97**: 287 - 299.
- BEHLING, H., ARZ, H.W., PÄTZOLD, J., WEFER, G., 2000. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. *Quaternary Science Reviews*, **19**: 981-994.
- BIRKS, H.J.B. 1994. The importance of pollen and diatom taxonomic precision in quantitative paleoenvironmental reconstructions. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **83**: 107-117.
- BRADLEY, R.S. 1999. *Paleoclimatology reconstruction climates of the Quaternary*. Harcourt / Academic Press, San Diego, USA, 613 pp.
- BRESOLIN, A. 1979. Flora da restinga da Ilha de Santa catarina. *Insula*, **10**: 1-54.
- BUSH, M., STUTE, M., LEDRU, M.-P., BEHLING H., COLINVAUX P., DE OLIVEIRA P., GRIMM E., HABERLE S., HOOGHIEMSTRA H., LEYDEN B., SALGADO-LABOURIAU M.L., WEBB, R. 2001. Paleotemperatures estimates for the lowland Americas between 30 S and 30 N at the last glacial maximum. In: Markgraf, V. (ed.) *Present and Past Inter-Hemispheric Climate Linkages in the Americas and their Societal Effects*. Academic Press. p.293-306
- CARPELAN, L.H., 1978. Evolutionary euryhalinity of diatoms in changing environments. *Nova Hedwigia*, **29**: 489-526.
- CARUSO, F., Jr. 1995. *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Sudeste de Santa Catarina*. Brasília, DNPM. 52p., mapa. (Programa Cartas de Síntese e Estudos de Integração Geol. 1).
- CARVALHO, M.S. & STRUCHINER, C.J. 1992. Análise de correspondência: uma aplicação do método à avaliação de serviços de vacinação. *Cad. Saúde Públ.*, **8**(3): 287-301.
- CARVER, R.E. 1971. Heavy mineral separation. In: CARVER, R.E. ed. *Procedures in Sedimentary Petrology*. New York, Wiley -Interscience. p.427-452.
- COLLINS, G. B. & KALINSKY, R. G. 1977. Studies on Ohio diatoms: I. Diatoms of the Scioto river basin, II. Referenced checklist of diatoms from Ohio, exclusive of lake Erie and the Ohio river. *Bull. Of the Ohio Biol. Survey*, v. 5, **3**: 1-76.

- COLINVAUX, P. A. 1993. Pleistocene biogeography and diversity in tropical forests of South America. In: P. Goldblatt ed. *Biological Relationships Between Africa and South America*. Yale University Press, New Haven, pp. 473-499.
- COLINVAUX, P.A., DE OLIVEIRA, P.E., BUSH, M.B. 2000. Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: the failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Reviews*, **19**: 141-169.
- COLINVAUX, P., DE OLIVEIRA, P.E., MILLER, M., BUSH, M.B. 1996. A long pollen Record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science* 247: 85-88.
- COLINVAUX, P., DE OLIVEIRA, P. E., MORENO, E. P. 1999. *Amazon Pollen Manual and Atlas*. Harwood Academic Publishers, Amsterdam. 324 pp.
- CONAMA, 1999. Resolução CONAMA nº 261, de 30 de junho de 1999 - Aprova parâmetro básico para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. Ministério do Meio Ambiente e Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília.
- CORDAZZO, C.V. & SEELIGER, U. 1995. *Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil*. Editora FURG, Rio Grande, 275pp.
- CORDEIRO, S.H. & LORSCHETTER, M.L., 1994. Palynology of Lagoa dos Patos sediments, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Palaeolimnology*, 10: 35-42.
- CORREA, I.C.S., 1996. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans PB: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul - Brèsil. *Marine Geology*, 130: 163-178.
- COUR, P. 1974. Nouvelle techniques de détection des flux et des retombées polliniques: étude de la sédimentation des pollens et des spores a la surface du sol. *Pollen et Spores*, **XVI**: 103 -141.
- CRUZ, F.W., Jr. 2003. *Estudo Paleoclimático e Paleoambiental a Partir de Registros Geoquímicos Quaternários em Espeleotemas das Regiões de Iporanga (SP) e Botuverá (SC)*. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado (iné.), 134 p., 1 anexo.
- CRUZ, F.W.J., BURNS, S.J., JERCINOVIC, M., KARMANN, I., SHARP, W.D., VUILLE, M. 2007. Evidence of rainfall variations in Southern Brazil from trace element ratios (Mg/Ca and Sr/Ca) in a Late Pleistocene stalagmite. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 71: 2250-2263.
- CRUZ, F.W.J., BURNS, S.J., KARMANN, I., SHARP, W.D., VUILLE, M., 2006. Reconstruction of regional atmospheric circulation features during the late Pleistocene in subtropical Brazil from isotope composition of speleothems. *Earth and Planetary Science Letters*, 248: 495-507.
- CRUZ, F.W.J., BURNS, S.J., KARMANN, I., SHARP, W.D., VUILLE, M., CARDOSO, A.O., FERRARRI, J.A., SILVA DIAS, P.L., ODUVALDO VIANA Jr. 2005. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature*, 434(63-65).
- DENYS, L. 1991. A check-list of the diatoms in the holocene deposits of the western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements - I. Introduction, ecological code and complete list. *Professional Paper Service Geologique de Belgique*, 246: 1-41.
- DENYS, L. & WOLF, H. 2001. Diatoms as indicators of coastal paleoenvironments and relative sea-level change. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (Eds.) 2001. *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*. Cambridge, Cambridge University Press, 469p.
- DE OLIVEIRA, P.E. 1992. *A Palynological Record of Late Quaternary Vegetational and Climatic Change in Southeastern Brazil*. Tese de Doutorado. The Ohio State University, Columbus, Ohio, EUA.

- DE OLIVEIRA, P.E., BARRETO, A.M.F., SUGUIO, K. 1999. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152: 319-337.
- DE OLIVEIRA, P.E., BEHLING, H., LEDRU, M.P., BARBERI, M., BUSH, M., SALGADO-LABORIAU, M.L., GARCIA, M.J., BARTH, O.M., BARROS, M.A., SCHEEL-YBERT, R. 2005. Paleovegetação e paleoclimas do Quaternário do Brasil. In: C.R.G. SOUZA, K. SUGUIO, A.M.S. OLIVEIRA, P.E. DE OLIVEIRA (Editors), *Quaternário do Brasil*. Holos, Ribeirão Preto, pp. 378.
- DE OLIVEIRA, P.E. & STEINITZ-KANNAN, M., 1992. The diatom flora (Bacillariophyceae) of the Cuyabeno Faunistic Reserve, Ecuadorian Amazonia. *Nova Hedwigia*, 54(3-4): 515-552.
- DESIKACHARY, T.V. 1986. *Atlas of Diatoms – I: Marine Fossil Diatoms from India and Indian Ocean Region*. Madras Science Foundation, Madras, 85pp.
- DESIKACHARY, T.V. 1987. *Atlas of Diatoms – II: Diatom Flora of Some Sediments from the Indian Ocean Region*. Madras Science Foundation, Madras, 154pp.
- DESIKACHARY, T.V. 1988. *Atlas of Diatoms – III-IV: Diatoms from the Bay of Bengal / Marine Diatoms from the Arabian Sea and Indian Ocean*. Madras Science Foundation, Madras, 197pp.
- DESJARDINS, T., CARNEIRO-FILHO, A., MARIOTTI, A., CHAUVEL, A., GIRARDIN, C. 1996. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revealed by soil organic carbon isotope ratios. *Oecologia*, **108**: 749-756.
- DONI, M.V., 2004. *Análise de cluster: métodos hierárquicos e de particionamento*. Trabalho de Formatura, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, pp. 92.
- DRENZEK, N.J., MONTLUÇON, D.B., YUNKER, M.B., MACDONALD, R.W., EGLINTON, T.I., 2007. Constraints of the origin of sedimentary organic carbon in the Beaufort Sea from coupled molecular ^{13}C and ^{14}C measurements. *Marine Chemistry*, 103: 146-162.
- EMERSON, S. & HEDGES, J.I., 1988. Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography*, 3: 621-634.
- FAEGRI, K., IVERSEN, J. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. Wiley, New York, 4th. ed., 295 p.
- FERNANDES, G.F. 1996. Diatomáceas no rio Tavares, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. II. Penatae*. *Insula*, **25**: 69-192.
- FERNANDES, L.F., MOSIMANN, R.M.S., FERNANDES, G.F. 1990. Diatomáceas (Bacillariophyceae) do rio Ratoes, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil: I – Baixo curso e estuário*. *Insula*, **20**: 11-112.
- FERNANDES, R.S., 2005. *Análise palinológica de sedimentos superficiais da região de Guarapuava - PR: a chuva polínica e sua relação com diferentes tipos de vegetação.*, Universidade de Guarulhos, Guarulhos, 79 pp (inéd.)
- FERRARI, F. & LUDWIG, T.A.V., 2007. Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae e Bacillariophyceae (Achnanthes) dos rios Ivaí, São João e dos Patos, bacia hidrográfica do rio Ivaí, município de Prudentópolis, PR, Brasil. *Acta bot. bras.*, 21(2): 421-441.
- FERRARI, F., PROCOPIAK, L.K., ALENCAR, Y.B., LUDWIG, T.A.V., 2007. Eunotiaceae (Bacillariophyceae) em igarapés da Amazônia Central, Manaus e Presidente Figueiredo, Brasil. *Acta Amazônica*, 37(1): 1-16.
- FERRAZ-VICENTINI, K.R. 1993. *Análise Palinológica de uma Vereda em Cromínia, GO*. Brasília, 87p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília.

- FERRAZ-VICENTINI, K.R. & SALGADO-LABOURIAU, M.L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **9**: 207-219.
- FERREIRA, F. 2006. *Aspectos da vegetação e do uso do solo na microrregião costeira sul do estado de Santa Catarina, Brasil*. Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 143p (inéd.)
- FISCHER, W. F. & MCGOWEN, J. H. 1967. Depositional systems in Wilcox Group (Eocene) of Texas and their relation to occurrence of oil and gas. *Bull. Assoc. Petrol. Geologists*, **53** (1): 30-54.
- FLENLEY, J.R. 1998. Tropical forests under the climates of the last 30,000 years. *Climatic Change*, **39**: 177-197.
- FOGED, N., 1978. Diatoms in Eastern Australia. *Bibliotheca Phycologica*, **41**, 244 pp.
- FOGED, N., 1984. Freshwater and littoral diatoms from Cuba. *Bibliotheca Diatomologica*, **5**: 243 p.
- FORNARI, M. ; GIANNINI, P. C. F. ; AMARAL, P. G. C. ; NASCIMENTO JR., D. R. ; MENEZES, P. M. L. ; SAWAKUCHI, A. O. ; ANGULO, R. J. ; PESSENDA, L. C. R. . Composição isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$) e idades ^{14}C de carapaças de *Anomalocardia brasiliensis* e *Petalonchus* (*Macrophragma*) *varians* no Holoceno da costa de Santa Catarina, Sul do Brasil. In: *IX Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*, Cabo Verde. Anais do IX Congresso de Geoquímica dos PLP, 2008.
- FREITAS, H.A., PESSENDA, L.C.R., ARAVENA, R., GOUVEIA, S.E.M., RIBEIRO, A.S., BOULET, R. 2001. Late Quaternary vegetation dynamics in the Southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. *Quaternary Research*, **55**: 39-46.
- FUKUMOTO, M.M. 2003. *Caracterização da sedimentação atual e reconstituição da história deposicional recente na Baía de Santos, a partir das características composicionais e isotópicas da matéria orgânica*. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 109p (inéd.).
- GARCIA, M.J., DE OLIVEIRA, P.E., SIQUEIRA, E., FERNANDES, R.S., 2004. A Holocene vegetational and climatic record from the Atlantic rainforest belt of coastal State of São Paulo, SE Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **131**: 181-199
- GASSE, F., 1987. Diatoms for reconstructing palaeoenvironments and paleohydrology in tropical semi-arid zones. Example of some lakes from Niger since 12,000 BP. *Hydrobiologia*, **154**: 127-163.
- GASSE, F., FONTES, J.C., PLAZIAT, J.C., CARBONEL, P., KACKMARSKA, I., DECKKER, P., SOULIÉ-MARSCHÉ, I., CALLOT, Y. E DUPEUBLE, P.A. 1987. Biological Remains , geochemistry and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrological changes in the Holocene lakes from North Sahara. *Palaeogeography , Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **60**: 1-46.
- GERMAIN, H., 1981. *Flore des Diatomées (eaux douces et saumâtres)*. Boubée, Paris, 441 pp.
- GIANNINI, P.C.F. 1987. *Sedimentação quaternária na planície costeira de Itanhaém-Peruíbe (SP)*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 104 pp.
- GIANNINI, P.C.F. 1993. *Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba*, SC. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Tese de Doutorado (inéd.) 2v, 2 mapas, 439p..
- GIANNINI, P.C.F. 2002. Complexo lagunar centro-sul catarinense- valioso patrimônio sedimentológico, arqueológico e histórico. In: SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D.A., QUEIROZ, E.T., WINGE, M., BERBERT-BORN, M. eds. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília, DNPM, p.213-222.

- GIANNINI, P.C.F., 2007. *Sistemas Depositionais Eólicos no Quaternário Costeiro do Brasil*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Livre-Docência, 205 pp.(inéd)
- GIANNINI, P.C.F. & SANTOS, E.R. 1994 Padões de variação espacial e temporal na morfologia de dunas de orla costeira no centro-sul catarinense. *Bol. Paran. Geociências*, **42**: 73-96.
- GIANNINI, P.C.F., SAWAKUCHI, A.O., FERNANDES, L.A., DONATTI, L.M. 2004. Paleoventos e paleocorrentes subaquosas do Sistema Depositional Pirambóia nos estados de São Paulo e Paraná, Bacia do Paraná: estudo baseado em análise estatística de dados azimutais. São Paulo, *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(2): 282-292.
- GIANNINI, P.C.F., ASSINE M.L., BARBOSA L.M., BARRETO A.M.F., M. CARVALHO, A.M., CLAUDINO-SALES V., MAIA L.P., MARTINHO C.T., PEULVAST J-P., SAWAKUCHI, A.O., TOMAZELLI L.J. 2005. Dunas e paleodunas costeiras e interiores. In: Souza, C. R. G., Suguio, K., Oliveira, A. M. S. & De Oliveira, P. E. (Eds.) *Quaternário do Brasil*. Holos Editora, Ribeirão Preto, 378pp.
- GIANNINI, P.C.F., SAWAKUCHI, A.O., MARTINHO, C.T., 2001. A estratigrafia de seqüências na evolução das dunas costeiras de Santa Catarina, sul do Brasil. In: *Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibérica*, Lisboa, GTPEQ., AEQUA, SGP, Actas p.117-120.
- GIANNINI, P.C.F., SAWAKUCHI, A.O., MARTINHO, C.T., TATUMI, S.H., 2007. Eolian depositional episodes controlled by Late Quaternary relative sea level changes on Imbituba-Laguna coast (southern Brazil). *Marine Geology*, **237**: 143-168.
- GOUVEIA, S.E.M., PESSENDA, L.C.R., ARAVENA, R., BOULET, R., ROVERATTI, R., GOMES, B.M. 1997. Dinâmica das vegetações durante o Quaternário Recente no sul do Amazonas indicada pelos isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C) do solo. *Geochimica Brasiliensis*, **11**(3): 355-367.
- GOUVEIA, S.E.M., PESSENDA, L.C.R., BOULET, R., ARAVENA, R., SCHEEL-YBERT, R. 1999. Isótopos do carbono dos carvões e da matéria orgânica do solo em estudos de mudança de vegetação e clima no Quaternário e da taxa de formação de solos do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **71**(4): 969-980.
- HABERLE, S. G. 1997. Upper Quaternary vegetation and climate history of the Amazonian basin: correlating marine and terrestrial pollen records. In: R. D. Flood, D.J.W. Piper, Aa. Klamus, and L.C. Peterson. eds. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 155*: 381-396.
- HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, **4**(1): 9pp.
- HEDGES, J.I, CLARK, W.A., QUAY, P.D., RICHEY, J.E., DEVOL, A.H., DE SANTOS, U. 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in Amazon River. *Limnol. Oceanogr*, **31**: 717 - 738.
- HEDGES, J.I., KEIL, R.G., BENNER, R., 1997. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? *Organic Geochemistry*, **5**(27): 195-212.
- HUSSEIN, M. C. 2004. *Reconstrução paleoambiental do Holoceno da Lagoa Olho D'Água (Recife, PE) através da análise diatomológica*. Trabalho de Formatura, Universidade de Guarulho, Guarulhos, SP. 73p. (inéd.)
- HUSSEIN, M.C., DE OLIVEIRA, P.E., BARRETO, A.M.F., SUGUIO, K., BEZERRA, H. R. 2005. Emprego de algas diatomáceas no estudo da variação do nível do mar do Holoceno da lagoa Olho D'Água, Recife, PE. In: *X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Guarapari, ES. Anais, CD.
- HUSTEDT, F. 1927-1966. *Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete*.

- Rabenhorst Kryptogamenflora Band VII. Teil 1: 1-920 (1927-1930). Teil 2: 1-845 (1931-1959). Teil 3 : 1-816 (1961-1966), Leipzig.
- IRELAND, S. 1987. The Holocene sedimentary history of the coastal lagoons of Rio de Janeiro State, Brazil. In: SHENNAN, I. & TOOLEY, M.J. (Eds.) 1987. *Sea-level changes*. Oxford, Basil Blackweel, p. 25-66.
- JIANG, H., BJÖRCK, S., KNUDSEN, K.L., 1997. A palaeoclimatic and palaeoceanographic record of the last 11 000 14C years from the Skagerrak-Kattegat, northeastern Atlantic margin. *The Holocene*, 7(3): 301-310.
- JIANG, H., BJÖRCK, S., SVENSSON, N.-O., 1998. Reconstruction of Holocene sea-surface salinity in the Skagerrak-Kattegat: a climatic and environmental record of Scandinavia. *Journal of Quaternary Science*, 13(2): 107-114.
- JUGGINS, S., 1992. Diatoms in the Thames river estuary, England: Ecology, Paleoecology, and salinity transfer function. *Bibliotheca Diatomologica*, Band 25: 216 pp.
- KLEIN, R. M. 1969. Árvores nativas da Ilha de Santa Catarina. *Insula*, 3: 3-93.
- KNEIP, A. 2004. *O povo da lagoa: uso do SIG para modelamento e simulação na área arqueológica do Camacho*. São Paulo, Museo de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado (inéd.), 171p.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1986. *Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. SüBwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876 pp.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1988. *Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. SüBwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 pp.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1991. *Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. SüBwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 596 pp.
- LABOREL, J. 1979. Fixed marine organisms as biological indicator for the study of recent sea level and climatic variations along the brasilian tropical coast. In: *Proc. Internationa Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, São Paulo, 1978. *Proceedings...* São Paulo, IGCP/Project 61, Instituto de Geociências da USP, p.193-211.
- LABOREL, J. 1986. Vermetid gastropods as sea-level indicators. In: O. Van De Plassche, D. (Ed.) *Sea-level research : a manual for the collection and evaluation of data*. Norwich Geo Books. p.281-310.
- LASLANDES, B., SYLVESTRE, F., SIFEDDINE, A., TURCQ, B., ALBUQUERQUE, A.L.S., ABRÃO, J. 2006. Enregistrements de la variabilité hydroclimatique au cours des 6500 dernières annés sur le littoral de Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brésil). *Géophysique externe, Climat et Envirennement*, 338: 667-675.
- LAUDARES SILVA, R. 1987. Estudo taxonômico das diatomáceas (Bacillariophyceae) coletadas no arroio do Faxinal (Sanga da Água Boa), Torres, Rio Grande do Sul. *Insula*, 17: 3-174.
- LEBART, L., MORINEAU, A., FÉNELON, J.-P., 1982. *Traitement des données statistiques - méthodes et programmes*. Dunod, Paris, 510 pp.
- LEDRU, M.-P. 1993. Late Quaternary and climatic changes in Central Brazil. *Quaternary Research*, 39: 90-98.
- LEDRU, M.-P., BRAGA, P.I.S., SOUBIÈS, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SUGUIO, K., TURCQ, B. 1996. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123: 239-257.

- LEDRU M.-P., BERTAUX J., SIFFEDINE A., SUGUIO K. 1998. Absence of last glacial maximum records in lowland tropical forests. *Quaternary Research*, **49**: 233-237.
- LEDRU M.-P., MOURGUIART P., CECCANTINI G., TURCQ B., SIFFEDINE A. 2002. Tropical climates in the game of two hemispheres revealed by abrupt climatic changes. *Geology*, **30**(3): 275-278.
- LEDRU, M.-P., CORDEIRO, R.C., DOMINGUEZ, J.M.L., MARTIN, L., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A., TURCQ, B. 2001. Late-glacial cooling in Amazonia inferred from pollen at Lagoa do Caçó, Northern Brazil. *Quaternary Research*, **55**: 47-56.
- LOBO, E.A., CALLEGARO, V.L.M., BENDER, E. P. 2002. *Utilização de algas diatomáceas epilíticas como indicadores da qualidade da água em rios e arroios da região hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil*. Santa Cruz do Sul, EDUNISC, 127p.
- LORENZI, H., 2000. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*, vol. 01. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 352 pp.
- LORENZI, H., 2002. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*, vol.02. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 368 pp.
- LORSCHETTER, M.L. & MATTOZO, I.J. 1995. Reconstituição paleoambiental da região dos Campos Gerais, Paraná, através da palinologia de sedimentos da Lagoa Dourada. In: *V Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Niterói, 1995. Niterói, UFF.
- LUZ, C.F.P., BARTH, O.M., MARTIN, L., 1999. Evolução das florestas tropicais estacional semidecidual e ombrófila densa durante o Holoceno médio na região norte do Rio de Janeiro, baseada em palinologia. *Geociências*, 4(6): 74-84.
- MACHADO, R.R., ALBUQUERQUE, A.L.S., GOMES, D.F., SIFEDDINE, A., BICUDO, D.C. 2005. Distribuição de diatomáceas em sedimentos superficiais da lagos do nordeste visando a elaboração de modelos de função de transferência para aplicação em estudos paleoambientais. In: *X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Guarapari, ES. Anais, CD.
- MANLY, B.F.J. 1995. *Multivariate Statistical Methods – A Primer*. London, Chapman & Hall, 215 p. 2 ed.
- MANN, D.G. & DROOP, J.M. 1996. Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiologia*, **336**: 19-32.
- MARCHANT, R., ALMEIDA, L., BEHLING, H., BERRIO, J.C., BRUSH, M., CLEEF, A., DUIVENVOORDEN, J., KAPPELLE, M., DE OLIVEIRA, P., OLIVEIRA-FILHO, A.T.D., LOZANO-GARCIA, S., HOOGHIEMSTRA, H., LEDRU, M.-P., LUDLOW-WIECHERS, B., MARKGRAF, V., MANCINI, V., PAEZ, M., PRIETO, A., RANGEL, O., SALGADO-LABOURIAU, M.L. 2002. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **121**: 1 - 75.
- MARKGRAF, V. & D'ANTONI, H.L. 1978. *Pollen Flora of Argentina – Modern Spore and Pollen Types of Pteridophyta, Gymnospermae, and Angiospermae*. The University of Arizona Press, Tuscon, 208 pp.
- MARTIN, L., FOURNIER, M., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A., TURCQ, B., ABSY, M.L., FLEXOR, J.M., 1993. Southern oscillation signal in south american palaeoclimatic data of the last 7000 years. *Quaternary Research*, 19: 338-346.
- MARTIN, L., FLEXOR, J.L., SUGUIO, K. 1995. Vibrotestemunhador leve: construção, utilização e potencialidades. *Revista IG-USP*, **16**(1/2): 59-66.

- MARTIN, L., BERTAUX, J., CORRÈGE, T., LEDRU, M.P., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A., SOUBIÈS, F., WIRRMANN, D., SUGUIO, K., TURCQ, B. 1997. Astronomical forcing of contrasting rainfall changes in tropical South America between 12,400 and 8800 cal yr B.P.. *Quaternary Research*, **47**: 117-122.
- MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J.M., AZEVEDO, A.E.G. 1988a. *Mapa Geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina*. Brasília, DNPM. 40 p, 2 mapas. (Série Geologia, 28).
- MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J.N., 1988. Hauts niveaux marins pleistocenes du litoral bresilien. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 68(3): 231-239.
- MARTINHO, C.T. 2004. *Morfodinâmica de Campos de Dunas Eólicas na Região de Laguna-Imbituba*, SC. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Dissertação de Mestrado, 91 p. (inéd.).
- McINTIRE, A. & MOLFINO, B. 1997. Forcing of atlantic Equatorial and Subpolar Millenial Cycles by precession. *Science*, **274**: 1867-1872.
- MEDEANIC, S., 2006. Freshwater algal palynomorph records from Holocene deposits in coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141: 83-101.
- MEDEIROS, J.D. 2002. Mata Atlântica em Santa Catarina: situação atual e perspectivas futuras. In: Schäffer, W. B. & Prochnow, M. (Eds.) 2002. *A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira*. Brasília, APREMAVI, 156p.
- MELO, M.S., GIANNINI, P.C.F., PESSEDA, L.C.R., BRANDT NETO, M. 2003. Holocene paleoclimatic evidence in the Lagoa Dourada deposits, Paraná State, South of Brazil. Barcelona, *Geologica Acta*, 1(3): 289-302.
- MELO, M.S., SINFRÔNIO, E.A.S., GIANNINI, P.C.F., FACHINI, M., VICTORINO, M.C. 2004. *Manual de Procedimentos Analíticos*. São Paulo, IG-USP, Laboratório de Sedimentologia. 45p.
- MEYER, K.E.B., REICHHART, K., ASHRAF, A.R., MARQUES-TOIGO, M., MOSBRUGGER, V., 2005. Holocene evolution of Itapeva Lake, Rio Grande do Sul, Brazil: palynomorphs, C org, N, and S records. *Journal of South American Earth Sciences*, 19: 181-192.
- MEYERS, P.A., 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic processes. *Org. Geochem.*, 5/6(27): 213-250.
- MEYERS, P.A., 2003. Application of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, 34: 261-289.
- MEYERS, P.A., TENZER, G.E., LEBOWITZ, M.E., REUTER, J.E., 1998. Sedimentary record of sources and accumulation of organic matter in Pyramid Lake, Nevada, over past 1000 years. *Limnol. Oceanogr.*, 43: 160-169.
- MEYERS, P.A. & LALLIER-VERGÈS, E., 1999. Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *Journal of Palaeolimnology*, 21: 345-372.
- MOREIRA FILHO, H. 1960. Diatomáceas no trato digestivo da *Tegula Viridula Gmelin*. *Botânica - Bol. Univ. Paraná, Conselho de Pesquisas, Dep. Botânica e Farmacognosia da Fac. Farmácia*, **1**: 1-24.
- MOREIRA FILHO, H. 1961. Diatomáceas da Baía de Guaratuba (Paraná – Brasil). *Botânica - Bol. Univ. Paraná, Conselho de Pesquisas, Dep. Botânica e Farmacognosia da Fac. Farmácia*, **3**: 1-35.
- MOREIRA FILHO, H. 1966. Contribuição as estudo das Bacillariophyceae (Diatomáceas) no ágar-ágar (gelosa) e agarófitos. *Botânica - Bol. Univ. Paraná, Conselho de Pesquisas, Dep. Botânica e Farmacognosia da Fac. Farmácia*, **16**: 1-55.

- MOREIRA FILHO, H. & KUTNER, M.B. 1962. Contribuição para o conhecimento das diatomáceas do manguezal de Alexandra (Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil). *Botânica - Bol. Univ. Paraná, Conselho de Pesquisas, Dep. Botânica e Farmacognosia da Fac. Farmácia*, **4**: 1-30.
- MOREIRA FILHO, H., MARUO, Y., MOREIRA, I.M. 1967. Diatomáceas da enseada de Porto Belo (Estado de Santa Catarina, Brasil). *Botânica - Bol. Univ. Paraná, Conselho de Pesquisas, Dep. Botânica e Farmacognosia da Fac. Farmácia*, **19**: 1-17.
- MOREIRA FILHO, H. & MOREIRA, I.M.V. 1984. Catálogo das diatomáceas (Chrysophyta - Bacillariophyceae) marinha e estuarinas do estado do Paraná, Brasil. *Acta Biol. Par.*, **13**(1, 2, 3, 4): 3-49.
- MOREIRA FILHO, H., MOREIRA, I.M.V., MOSIMANN, R.M.S. 1985. Catálogo das ditomáceas (Chrysophyta - Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas do estado de Santa Catarina, Brasil. *Insula*, **15**: 33-88.
- MORO, R.S. & FÜRSTENBERGER, C.B., 1997. *Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas*. Editora UEPG, Ponta Grossa, 282 pp.
- MOSIMANN, R.M.S. 1984. Estudo preliminar das diatomáceas (Chrysophyta – Bacillariophyceae) na região de Anhatomirim – Santa Catarina – Brasil. *Insula*, **14**: 2-46.
- MOSIMANN, R.M.S. 1985. Estudo preliminar das diatomáceas (Chrysophyta – Bacillariophyceae) da Baía Norte, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *Insula*, **15**: 3-32.
- MOSIMANN, R.M.S. 1988. Estudo preliminar das diatomáceas (Chrysophyta – Bacillariophyceae) da Baía Sul, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *Insula*, **18**: 23-74.
- NASCIMENTO JUNIOR, D.R. 2008. *Evolução sedimentar do delta do rio Tubarão (SC) na interface geologia-arqueologia*. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Exame de Qualificação para Doutorado (inéd.)
- NEVES, P.C.P. & LORSCHETTER, M.L. 1995. Upper Quaternary palaeoenvironments in the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antartic Peninsula*, **9**: 39-67.
- NIMER, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE. 421 p.
- NOGUÉS-PAEGLE, J. & MO, K.C. 2000. Alternating wet and dry conditions over Sputh America during summer. *Monthly Weather Review*, **125**: 279-291.
- OGRINC, N., FONTOLAN, G., FAGANELI, J., COVELLI, S., 2005. Carbon and nitrogen isotope composition of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of source and preservation. *Marine Chemistry*, **95**: 163-181.
- ORSELLI, L. 1986. Climatologia. In: Gaplan - SC. *Atlas de Santa Catarina*. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro. p.38-39.
- PAILLES, C. 1989. *Les diatomées du lac de maar du Bouchet (Massif-Central, France) – reconstruction des paleoenvironments au cours des 120 derniers millenaires*. Marseille, L'Université d'Aix-Marseille II, Thèse de doctorat (inéd.), 272p. + annexes.
- PARFENOFF, A., POMEROL, C., TOURENQ, J. 1970. *Les Minéraux en Grains : Methods d'etude et determination*. Paris, Masson. 571p.
- PATRICK, R. & REIMER, C. W. 1966. *The Diatoms of the United States*. Pennsylvania, Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, II–part I. 213 p.
- PERAGALLO, H. & PERAGALLO, M., 1897-1908. *Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins*. Koeltz Scientifc Books, Koengstein (1984), 552 pp.

- PETERSON, B.J. & HOWARTH, R.W., 1987. Sulfur, carbon and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. *Limnology and Oceanography*, **32**: 1195-1213.
- PESSENDA, L.C.R., ARAVENA, R., MELFI, A.J., BOULET, R. 1996a. The use of carbon isotopes (C-13, C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. *Radiocarbon*, **38** (2): 191-201.
- PESSENDA, L.C.R., VALENCIA, E.P.E., MARTINELLI, L.A., CERRI, C.C. 1996b. ¹⁴C measurements in tropical soil developed on basic rocks. *Radiocarbon*, **38** (2): 203-208.
- PESSENDA, L.C.R., VALENCIA, E.P.E., ARAVENA, R., TELLES, E.C.C., BOULET, R. 1998a. Paleoclimate studies in Brazil using carbon isotopes in soils. In: Wasserman, J.C., Silva-Filho, E., Villas-Boas, R. (Eds.). *Environmental Geochemistry in the Tropics*. Berlin, Springer-Verlag, p.7-16.
- PESSENDA, L.C.R., GOMES, B.M., ARAVENA, R., RIBEIRO, A.S., BOULET, R., GOUVEIA, S.E.M. 1998b. The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implications for vegetation changes in the Rondonia state, southwestern Brazilian Amazon region. *The Holocene*, **8**(5): 631-635.
- PESSENDA, L.C.R., GOUVEIA, S.E.M., ARAVENA, R., GOMES, B.M., BOULET, R., RIBEIRO, A.S. 1998c. ¹⁴C dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in the southern Brazilian Amazon region. *Radiocarbon*, **40**(2): 1013-1022.
- PESSENDA, L.C.R., BOULET, R., ARAVENA, R., ROSOLEN, V., GOUVEIA, S.E.M., RIBEIRO, A.S., LAMOTTE, M. 2001a. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest-savanna transition zone, Brazilian Amazon region. *The Holocene*, **11**(2): 250-254.
- PESSENDA, L.C.R., RIBEIRO, A.S., GOUVEIA, S.E.M., BENDASSOLLI, J.A., BOULET, R., PELLEGRINOTTI, T.C., SILVA, V.F. 2001b. Dinâmica do ecótono cerrado-floresta desde o Pleistoceno tardio na região de Barreirinhas, Estado do Maranhão, empregando os isótopos do carbono do solo. In: *VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*.
- RAVEN, P.H., EVERT, R.F., EICHHORN, S.E. 1996. *Biologia Vegetal*. 5^a. ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan, 728p.
- REINECK, H.-E. & SINGH, I.B., 1980. *Depositional Sedimentary Environments, with Reference to Terrigenous Clastics*. Springer-Verlag, Berlin, 549 pp.
- REITZ, R. 1961. Vegetação da zona marítima de Santa Catarina. *Sellowia*, **13**: 17-115.
- RIBEIRO, F.C.P. & SENNA, C. S. F. O uso de diatomáceas como bioindicadores paleoambientais na costa brasileira. In: *X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Guarapari, ES. Anais, CD.
- ROBINSON, M. 1982. Diatom analysis of Early Flandrian lagoon sediments from East Lothian, Scotland. *Journal of Biogeography*, **9**: 207-221.
- RODRIGUES, L. 1984. Contribuição ao conhecimento das diatomáceas do rio Tubarão – Santa Catarina – Brasil. *Insula*, **14**: 47-120.
- RODRIGUES, L. 1992. Diatomoflora do rio Tubarão, Estado de Santa Catarina, Brasil: II – *Naviculaceae Kützinger**. *Insula*, **21**: 3-42.
- RODRIGUES, L. & MOREIRA FILHO, H. 1990. Diatomoflora do rio Tubarão, Santa Catarina, Brasil: I – *Eunotiaceae Kützinger* e *Achnantheaceae Kützinger**. *Insula*, **20**: 113-135.

- ROTH, L. & LORSCHUITTER, M.L. 1993. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande do Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, **8**: 39-69.
- ROUBICK, D.W. & MORENO, J.E. 1991. *Pollen and Spores of Barro Colorado Island*. Missouri Botanical Garden. 268 pp.
- RULL, V. 2001. An illustrated key for the identification of pollen from pantepui and the gran sabana (eastern Venezuela Guayana). *Palyology*, **27**: 99-133.
- SALA, S.E., DUQUE, S.R., NÚÑEZ-AVELLANEDA, M., LAMARO, A.A., 2002. Diatoms from the colombian Amazon: some species of genus *Eunotia* (Bacillariophyceae). *Acta Amazônica*, **32**(4): 589-603.
- SALGADO-LABOURIAU, M.L. 1973. *Contribuição à Palinologia dos Cerrados*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências.
- SALGADO-LABOURIAU, M.L., BARBERI, M., FERRAZ-VICENTINI, K.R., PARIZZI, M.G., 1998. A dry climatic event during the late Quaternary of tropical Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **99**: 115-129.
- SANTOS, M.C.F. & ARAÚJO, D.S.D. 1987. Primeiras considerações sobre os pântanos herbáceos salinos do complexo estuarino-lagunar de Laguna, Santa Catarina. In : *Simpósio sobre ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira*, Cananéia. Síntese dos Conhecimentos, **v.2**...São Paulo, Public. ACIESP II.p.150.
- SATYAMURTI, P., NOBRE, C., DIAS, P.L.S. 1998. South America. In: Karoly, D.J. & Vicent, D.J. (eds.). *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Boston, American Meteorological Society, p.119-139.
- SAWAKUCHI, A.O. 2003. *Sistemas Deposicionais Eólicos na Costa Centro-Sul Catarinense: Relações com o Nível do Mar*. São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, IG-USP, Dissertação de Mestrado, 86 p. (inéd.).
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 1987. Manguezais brasileiros: região sudeste-sul. In: *Simpósio sobre ecossistemas da costa sul a sudeste brasileira: síntese de conhecimentos*, ACIESP, Cananéia, pp. 78.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 1991. *Manguezais brasileiros*. Livre Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 42 pp.
- SCHEEL-YBERT, R., 2000. Vegetation stability in the Southeastern Brazilian coastal area from 5500 to 1400 14C yr BP deduced from charcoal analysis *Review of Palaeobotany and Palynology*,
- SCHEEL-YBERT, R. , GOUVEIA, S.E.M. , PESSENDA, L.C.R. , ARAVENA, R. , COUTINHO, L.M. & BOULET, R. 2003. Holocene palaeoenvironmental evolution of the cerrado and semideciduous forest zone in the São Paulo State (Brazil), based on anthracology and soil d13C analysis. *The Holocene*, **13** (1): 73-81.
- SEVEGNANI, L. 2002. Vegetação da bacia do rio Itajaí em Santa Catarina. In: Schäffer, W. B. & Prochnow, M. (Eds.) 2002. *A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira*. Brasília, APREMAVI, 156p.
- SIFEDDINE, A., FROHLICH, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SOUBIÈS, F., SUGUIO, K., RIBEIRO, C.V. 1994a. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cour des 30.000 derniers annés (Carajás, Amazonie, Brésil). *Géosciences de surface/surface Géosciences*, 645-1652.
- SIFEDDINE, A., BERTRAND, P., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SOUBIÈS, F., SUGUIO, K., TURCQ, B. 1994b. La sédimentation organique lacustre en milieu tropical humide

- (Carajás, Amazonie orientale, Brésil): relation avec les changements climatiques au cours des 60000 dernières années. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **165**(6): 613-621.
- SIFEDDINE, A., MARTIN, L., TURCQ, B., VOLKMER-RIBEIRO, C., SOUBIÈS, F., CORDEIRO, R.C., SUGUI, K. 2001. Variations of the Amazonian rainforest environment: a sedimentological record covering 30,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 168: 221-235.
- SIFEDDINE, A., WIRRMANN, D., ALBUQUERQUE, A.L.S., TURCQ, B., CORDEIRO, R.C., GURGEL, M.H.C., ABRÃO, J.J. 2004. Bulk composition of sedimentary organic matter used in palaeoenvironmental reconstructions: examples from the tropical belt of South America and Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 214: 41-53.
- SNOEIJIS, P. 2001. Diatoms and environmental change in brackish waters. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (Eds.) 2001. *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*. Cambridge, Cambridge University Press, 469p.
- STOCKMARR, J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13: 615-621.
- STOERMER, E. F. & SMOL, J. P. 2001. Applications and uses of diatoms: prologue. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (Eds.) 2001. *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*. Cambridge, 469p.
- SOUZA, M.L.R., FALKENBERG, D.B., AMARAL, L.G., FRONZA, M., ARAUJO, A.C., SÁ, M. R. 1992. Vegetação do Pontal da Daniela, SC, Brasil. I. Levantamento florístico e mapa fitogeográfico. *Insula*, **21**: 87-117.
- SUGUIO, K., ANGULO, R., CARVALHO, A.M., CORRÊA, I.C.S., TOMAZELLI, L.J., WILLWOCK, J.A., VITAL, H. 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: Souza, C. R. G., Sugui, K., Oliveira, A. M. S. & De Oliveira, P. E. (Eds.) *Quaternário do Brasil*. Holos Editora, Ribeirão Preto, 378pp.
- SUGUIO, K., MARTIN, L., BITTENCOURT, A.C.S.P., DOMINGUEZ, J.M.L., FLEXOR, J.-M., AZEVEDO, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, **56**: 273 - 286.
- SULLIVAN, M.J. 2001. Applied diatom studies in estuaries and shallow coastal environments. In: *cv and earth sciences*. Cambridge, Cambridge University Press, 469p.
- SYLVESTRE, F. 1997. *La dernière transition glaciaire-interglacière (18000 – 8000 ¹⁴C ans BP) des Andes Tropicales du Sud (Bolivie) d'après l'étude des diatomées*. Paris, Museum National d'Histoire Naturelle de Paris, Thèse de doctorat (inéd.) 317p.
- SYLVESTRE, F., GUIRAL, D., DEBENAY, J.P. 2004. Modern diatom distribution in mangrove swamps from the Kaw Estuary (French Guiana). *Marine Geology*, **208**: 281-293.
- SYLVESTRE, F., SERVANT, M., SERVANT-VILDARY, S. CAUSSE, C., FOURNIER, M. & YBERT, J.P. 1999. Lake-level chronology on the southern bolivian altiplano (18° - 23°S) during late-glacial time and the early Holocene. *Quaternary Research*, **51**: 54-66.
- SYLVESTRE, F., SIFEDDINE, A., TURCQ, B., GIL, I.M. ALBUQUERQUE, A.L.S., LALLIER-VERGÈS, E., ABRÃO, J. 2005. Hydrological changes related to the variability of tropical South American climate from the Cabo Frio lagoonal system (Brazil) during the last 5000 years. *The Holocene*, **15**(4): 625-630.
- SZTUTMAN, M. & RODRIGUES, R.R., 2002. O mosaico vegetacional numa área de floresta contínua da planície litorânea, Parque Estadual da Campina do Encantado, Paríquera-Açu, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, **2**: 161-176.

- TALBOT, M.R., 2001. Nitrogen isotopes in palaeolimnology. In: W.M. Last and J.P. SMOL (Editors), *Tracking environmental changes using lake sediments. Volume 2: Physical and Geochemical Methods*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 401-439.
- TAKEDA, I.J.M., FARAGO, P.V., SOUZA, M.K.F., GELINSKI, V.V. 2000. Catálogo polínico do Parque Estadual de Vila Velha – 1ª Parte. *Biological and Health Sciences*, **6 (1)**: 61-73.
- TOMAZELLI, L.J. 1990. *Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais Holocênicos do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul, com Ênfase no Sistema Eólico*. Porto Alegre, Univ. Federal Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado (iné). 270p.
- TYSON, R.V., 1995. *Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies*. Chapman & Hall, London, 615 pp.
- VIDOTTO, E., 2008. *Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Parque Estadual da Ilha do Cardoso - SP durante o Quaternário tardio*. Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 199 p. (iné).
- VOS, P.C. & WOLF, H., 1993. Reconstruction of sedimentary environments in Holocene coastal deposits of the southwest Netherlands; the Poortvliet boring, a case study of palaeoenvironmental diatom research. *Hydrobiologia*, 269/270: 297-306.
- WALKER, R.G. 1976. Facies and facies models. General introduction. In: Walker, R. G. ed. *Facies Models*. Toronto, Geosc. Canada, 1979, p.17. (Reprint Series, 1).
- WANG, X., AULER, A.S., EDWARDS, R.L., CHENG, H., CRISTALLI, P.S. 2004. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature*, **432**: 740-743.
- WANG, X., AULER, A.S., EDWARDS, R.L., CHENG, H., ITO, E., SOLHEID, M. 2006. Interhemispheric anti-phasing of rainfall during the last glacial period. *Quaternary Science Reviews*, 25: 3391-3403.
- WILSON, G.P., LAMB, A.L., LENG, M.J., GONZALEZ, S., HUDDART, D., 2005. $\delta^{13}\text{C}$ and C/N as potential coastal paleoenvironmental indicators in Mersey Estuary, UK. *Quaternary Science Reviews*, 24: 2015-2029.
- WITKOWSKI, A., LANGE-BERTALOT, H., METZELNING, D., 2000. Diatom flora of marine coasts.I. *Iconographia Diatomologica*, 7. A.R.G. Gantner, Ruggell, 925 p pp.
- YBERT J.-P., BISSA W.M., CATHARINO E.L.M., KUTNER M. 2003. Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during the Late Holocene with comments on prehistoric human occupation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **189**:11-24.
- YBERT, J.P., SALGADO-LABORIAU, M.L., BARTH, M.O., LORSCHTEITZ, M.L., BARROS, M.A., CHAVES, S.A.M., LUZ, C.F.P., BARBERI-RIBEIRO, M., SCHEEL, R., FERRAZ-VICENTINI, K.R. 1992. Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos palinológicos do Quaternário. *IG*, **13 (2)**: 47-49.

“Few objects are more beautiful than the minute siliceous cases of the diatomaceae: were these created that they might be examined and admired under the higher powers of the microscope?”

Charles Darwin
(The Origin of Species)

ESTAMPA 1

1. *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve
2. *Thalassiosira oestrupii* (Ostenfeld) Cleve
3. *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg
4. *Actinoptychus vulgaris* Schumann
5. *Auliscus puntactus* Bailey
6. *Auliscus sculptus* (W. Smith) Ralfs in Pritchard
7. *Biddulphia pulchella* Gray (** escala 50µm)
8. *Terpsinoë americana* (J. W. Bailey)
9. *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve
10. *Coscinodiscus* sp
11. *Coscinodiscus nitidus* Gregory
12. *Cyclotella striata* (Kützing) Grunow
13. *Cyclotella stelligera* Cleve & Grunow in Van Heurck

— escala 10µm

ESTAMPA 2

1. *Grammatophora oceanica* Ehrenberg
2. *Grammatophora oceanica* Ehrenberg
3. *Dimeregramma marinum* (Gregory) Ralfs in Pritchard
4. *Dimeregramma maculatum* (Cleve) Frenguelli
5. *Dimeregramma maculatum* (Cleve) Frenguelli
6. *Dimeregramma minor* (Gregory) Ralfs
7. *Thalassionema nitzschioides* Grunow
8. *Achnanthes lanceolata* (Brebisson) Grunow in Cleve & Grunow
9. *Achnanthes delicatula* (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow
10. *Cocconeis scutellum* Ehrenberg
11. *Cocconeis disculus* (Schumann) Cleve
12. *Cocconeis pseudomarginata* Gregory
13. *Cocconeis placentula* Ehrenberg
14. *Plagiogramma interruptum* (Gregory) Ralfs in Pritchard
15. *Plagiogramma interruptum* (Gregory) Ralfs in Pritchard
16. *Plagiogramma staurophorum* (Gregory) Heiberg
17. *Plagiogramma pulchellum* Greville
18. *Fragilaria martyi* (Heribaud) Lange-Bertalot
19. *Cymatosira belgica* Grunow in Van Heurck
20. *Cymatosira belgica* Grunow in Van Heurck

— escala 10µm

ESTAMPA 3

1. *Nitzschia navicularis* (Brébisson) Grunow
2. *Nitzschia compressa* (Bailey) Boyer
3. *Nitzschia granulata* Grunow in Cleve & Möller
4. *Nitzschia panduriformis* Gregory
5. *Nitzschia lanceola* Grunow
6. *Navicula marina* Ralfs
7. *Delphineis livingstonii* Prasad
8. *Rhaphoneis nitida* Gregory
9. *Rhaphoneis castracanei* Grunow
10. *Fallacia tenera* (Hustedt) D. G. Mann in Round
11. *Amphora coffeaeformis* (Agardh) Kützing
12. *Diploneis bombus* Ehrenberg
13. *Diploneis ovalis* (Hilse) Cleve
14. *Diploneis smithii* (Brébisson) Cleve
15. *Caloneis bacillum* (Grunow) Cleve
16. *Opephora minuta* (Cleve-Euler) stat. nov.
17. *Lyrella lyra* (Ehrenberg) Karayeva

— escala 10µm

ESTAMPA 4

1. *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg
2. *Pinnularia divergens* W. Smith
3. *Pinnularia subcapitata* W. Greg
4. *Pinnularia microstaurum* (Ehrenberg) Cleve
5. *Pinnularia divergentissima* (Grunow) Cleve
6. *Pinnularia abaujensis* var *subundulata* (A.Mayer) Patrick
7. *Frustulia marginata* Amossé
8. *Frustulia crassinervia* (Brébisson) Lange-Bertalot & Krammer
9. *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) DeToni
10. *Surirella delicatissima* Lewis
11. *Navicula mutica* Kützing
12. *Melosira roseana* Rabenhorst
13. *Surirella linearis* W. Smith

— escala 10µm

ESTAMPA 5

1. *Eunotia geniculata* Hustedt
2. *Staurosirella pinnata* (Ehrenb.) D. M. Williams & Round
3. *Staurosirella pinnata* (Ehrenb.) D. M. Williams & Round
4. *Staurosirella pinnata* (Ehrenb.) D. M. Williams & Round
5. *Fragilaria javanica* Hustedt
6. *Fragilaria javanica* Hustedt
7. *Fragilaria virescens* Ralfs
8. *Brachysira serians* (Brébisson ex Kützing) Round & Mann
9. *Brachysira brebissonii* R. Ross in B. Hartley
10. *Navicula subtilissima* Cleve
11. *Navicula bryophila* J. B. Petersen
12. *Fallacia vitrea* (Østrup) D.G. Mann
13. *Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) O. Muller
14. *Desmogonium rabenhorstianum* Grunow
15. *Desmogonium rabenhorstianum* Grunow
16. *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow
17. *Actinella brasiliensis* Grunow

— escala 10µm

ESTAMPA 6

1. *Eunotia zygodon* Ehrenberg
2. *Eunotia zygodon* Ehrenberg
3. *Eunotia* sp1
4. *Eunotia* sp 2
5. *Eunotia incisa* W. Smith ex Gregory
6. *Eunotia bidentula* W. Smith
7. *Eunotia sudetica* O. F. Müller
8. *Eunotia trigibba* var *trigibba* Hustedt
9. *Eunotia praerupta* var *bidens* (Ehrenberg) Grunow
10. *Eunotia herzogii* Krasske
11. *Eunotia herzogii* Krasske
12. *Eunotia septentrionalis* Østrup
13. *Eunotia sudetica* O. F. Müller
14. *Eunotia* sp 3
15. *Eunotia* aff. *faba* (Ehrenberg) Grunow
16. *Eunotia* aff. *faba* (Ehrenberg) Grunow
17. *Eunotia synedraeformis* var *angusta* Hustedt

— escala 10µm

ESTAMPA 7

1. *Eunotia naegeli* Migula
2. *Eunotia bilunaris* (Ehrenberg) Mills
3. *Eunotia* aff *recta* Hustedt
4. *Eunotia maior* (W. Smith) Rabenhorst
5. *Eunotia minor* (Kützing) Grunow
6. *Eunotia pyramidata* var *monodon* Krasske
7. *Eunotia bidentula* W. Smith
8. *Eunotia indica* Grunow
9. *Eunotia georgii* Metzeltin & Lange-Bertalot
10. *Eunotia tapacumae* Ehrenberg
11. *Eunotia tapacumae* fo. *elongata* Krasske
12. *Eunotia rabenhorstii* Cleve & Grunow
13. *Eunotia rabenhorstii* var. *tridon* Cleve & Grunow
14. *Eunotia pectinalis* (O. Müll.) Rabenhorst
15. *Eunotia monodon* Ehrenberg
16. *Eunotia pyramidata* Hustedt

— escala 10µm