

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO DA SEDIMENTAÇÃO LAGUNAR HOLOCÊNICA NA REGIÃO DE
JAGUARUNA, ESTADO DE SANTA CATARINA: UMA ABORDAGEM
SEDIMENTOLÓGICA-MICROPALÉONTOLOGICA 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. Coleta dos testemunhos	17
3.1.2. Coleta de chuva polínica moderna	19
3.1.3. Levantamento botânico	20
3.2. Atividades de laboratório	21
3.2.1. Abertura dos testemunhos	21
3.2.2. Datação ^{14}C e taxa de sedimentação	22
3.2.3. Micropaleontologia	23
3.2.3.1. Palinologia	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. Diatomáceas	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. Análise sedimentológica	34
3.2.4.1. Delimitação de fácies	34
3.2.4.2. Granulometria	35
3.2.5. Geoquímica	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
- <i>Análise fatorial de correspondência (AFC) e análise de componentes principais (ACP)</i>	40
- <i>Classificação hierárquica ascendente (análise de cluste ou agrupamento)</i>	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 (n° valvas / 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 (n° 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 (n° 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

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

