

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

PALEOAMBIENTES DA PORÇÃO CENTRAL DA  
PLANÍCIE COSTEIRA CATARINENSE (PRAIA DA  
PINHEIRA, BRASIL) DURANTE O HOLOCENO

WAGNER GUIMARÃES DA SILVA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

Porto Alegre – 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

PALEOAMBIENTES DA PORÇÃO CENTRAL DA  
PLANÍCIE COSTEIRA CATARINENSE (PRAIA DA  
PINHEIRA, BRASIL) DURANTE O HOLOCENO

WAGNER GUIMARÃES DA SILVA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho**

Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Judite Garcia**

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

**Prof. Dr. Sérgio Rebelo Dillenburg**

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Tese de Doutorado apresentada  
como requisito parcial para a  
obtenção do Título de Doutor em  
Ciências.

Porto Alegre – 2018

## **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitora:** Jane Fraga Tutikian

## **INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Silva, Wagner Guimarães da

Paleoambientes da porção central da planície costeira catarinense (Praia da Pinheira, Brasil) durante o holoceno. / Wagner Guimarães da Silva. – Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.

[187 f.] il.

Tese (Doutorado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientador: Paulo Alves de Souza

1. Holoceno 2. Planície Costeira 3. Palinologia 4. Palinofácies. I. Título.

CDU 56(816.4)

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

*“...Conto pequenas histórias que têm como vocação ajudar a ver a Grande História. Como em um mosaico, quadrados coloridos colocados lado a lado acabam compondo um quadro da realidade”. (Eduardo Galeano)*

*Para Francine e Elis, as meninas que alegam  
meus dias infinitamente.*

## **AGRADECIMENTOS**

---

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGGEO/UFRGS) pela estrutura disponibilizada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo período de concessão de bolsa (2013-2015).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS proc. 1012119) por recursos financeiros por meio de projeto de pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) pelo Programa de Capacitação dos Servidores do IFRS (proc. 233670022072015-50): que programas como este sejam mantidos, pois são de suma importância para formação e qualificação dos servidores desta instituição de ensino público, gratuito e de qualidade.

A todos os colegas do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, pelo convívio saudável, discussões teóricas e troca de aprendizagem.

Aos amigos Ricardo Burgo Braga pela leitura, revisão e tradução dos textos; Paulo Jolar Pazzini Garlaça pela produção dos modelos hipotéticos da evolução ambiental.

À minha família que me propiciou a melhor formação de caráter que poderia ter, e pela compreensão nos momentos que me fiz ausente devido o tempo que dediquei aos estudos.

À Francine Scheffler, minha companheira, amiga pelo apoio e carinho.

Ao Prof. Paulo Alves de Souza, pela orientação, incentivo, apoio e pela liberdade de condução da tese. Um professor que não poupa esforços para que seus alunos realizem trabalhos.

## RESUMO

---

Trabalhos de cunho palinológico têm sido desenvolvidos em diferentes setores da costa brasileira com o objetivo de reconstruir a vegetação, o clima e as condições ambientais relacionadas às flutuações do nível do mar durante o Quaternário. Entretanto, a maioria dessas análises privilegia os palinomorfos terrestres, especialmente grãos de pólen e esporos, com pouco aprofundamento taxonômico e de análise dos representantes marinhos (cistos de dinoflagelados, acritarcos, palinoforaminíferos, ovos de copépodes). Este trabalho apresenta a integração da análise palinológica, de palinofácies e isótopos estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$  e C/N) do poço PSC-03 de idade holocena (entre 7744 anos cal AP e o Presente), perfurado na Planície Costeira de Santa Catarina, sul do Brasil. A não exposição das amostras a métodos agressivos, tais como oxidação e acetólise, durante o processamento laboratorial permitiu a recuperação de cistos da Família Protoperidiniaceae. Quatro espécies (*Brigantedinium simplex*, *Selenopemphix nephroides*, *S. quanta*, *Operculodinium centrocarpum*) de cistos de dinoflagelados são descritos e ilustrados aqui, constituindo uma das associações fósseis mais diversificadas do grupo para o Holoceno brasileiro. Além dos cistos de dinoflagelados. O termo “Tintinomorfos” é introduzido pela primeira vez para o Holoceno brasileiro, abrangendo seis tipos distintos, descritos e ilustrados (SPHERO-1, ELELNO-14, ESABNO-6, HEXANO-2, RECTNO-1, AROBNO-3). A análise combinada de  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N das amostras selecionadas, demonstra que a matéria orgânica é oriunda de duas fontes distintas: marinha e terrestre. A análise palinofaciológica revelou três distintas palinofácies (I, II e III): a **Palinofácies I** (7744 a 2.884 anos cal AP) caracteriza condições de ambiente marinho marginal; a **Palinofácies II** (2857 a 2276 anos cal AP) caracteriza ambiente com a presença de pequena lâmina d’água, área úmida ou solos encharcados; a **Palinofácies III** (2124 anos cal AP até o Presente) caracteriza a colonização da área do sítio deposicional por formas arbóreas constituintes da Mata Atlântica.

**Palavras-chave:** Holoceno, Planície Costeira, Palinologia, Palinofácies, Isótopos estáveis.

## ABSTRACT

---

Palynological works have been developed in different sectors of the Brazilian coast in order to reconstruct the vegetation, climate and environmental conditions related to sea level fluctuations during the Quaternary. However, most of these analyses privilege terrestrial palynomorphs, especially pollen grains and spores, with little taxonomic deepen and analysis of marine palynomorphs (dinoflagellate cysts, acritarchs, foraminifera linings, copepod eggs). This work presents an integration of the palynological, palynofacies and stable isotopes analyses ( $\delta^{13}\text{C}$  e C/N) of PSC-03 core of Holocene age (7,744 cal yr BP to present), drilled in the coastal plain of Santa Catarina, southern Brazil. The non-exposure of the samples to aggressive techniques, such as oxidation and acetolysis, during the laboratorial processing allowed the recovery of cysts from the family Protoperidiniaceae. Four species (*Brigantedinium simplex*, *Selenopemphix nephroides*, *S. quanta*, *Operculodinium centrocarpum*) of dinoflagellate cysts are described and illustrated herein, constituting one of the most diverse fossil associations of the group for the Holocene of Brazilian. The term "Tintinnomorphs" is introduced for the first time to the Holocene in Brazil, enclosing six tintinnomorphs types, described and illustrated herein (SPHERO-1, ELELNO-14, ESABNO-6, HEXANO-2, RECTNO-1, AROBNO-3). The combined  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N analysis of selected samples demonstrates that organic matter originates from two distinct marine and terrestrial sources. The analysis of palynofacies revealed three distinct palynofacies (I, II, and III). The **Palynofacies I** (7,744 to 2,884 cal yrs BP) characterizes marginal marine environments; the **Palynofacies II** (2,857 to 2,276 cal yrs BP) characterizes environment with small bodies of shallow water, flooded soils or wet area; and **Palynofacies III** (2,124 cal yrs BP to present) characterizes Atlantic rain forest then developed at the study site.

**Key words:** Holocene, Coastal Plain, Palynology, Palynofacies, stable isotopes.



## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Mapa geológico e geomorfológico simplificado da Planície Costeira de Santa Catarina (modificado de Horn Filho, 2003). .....	5
<b>Figura 2.</b> Localização da área de estudo na Planície Costeira de Santa Catarina (AB) e imagem de satélite com indicação do poço PSC-03 (C) (Fonte: Google Earth). .....	6
<b>Figura 3.</b> Imagem de satélite com localização dos trabalhos de palinologia realizados na região costeira de Santa Catarina (Fonte: <i>Google Earth</i> ). .....	12
<b>Figura 4.</b> Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N das fontes de matéria orgânica em ambientes costeiros. ( <b>COD</b> ) Carbono Orgânico Dissolvido e ( <b>COP</b> ) Carbono Orgânico Particulado (modificado de Lamb <i>et al.</i> , 2006) .....	14
<b>Figura 5.</b> Perfil estratigráfico do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina mostrando a posição das amostras palinológicas, isotópicas, datações radiocarbônicas, lâminas palinológicas e suas respectivas codificações (MP-P: depositadas na Palinoteca do LPMMT/IG/UFRGS). .....	21
<b>Figura 6.</b> Variação do carbono orgânico ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e razão carbono:nitrogênio (C/N) da matéria orgânica do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa. ....	31
<b>Figura 7.</b> Frequência relativa (%) da matéria orgânica particula (POM), análise <i>cluster</i> e as palinofácies identificadas no poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.....	34
<b>Figura 8.</b> Valores de $\delta^{13}\text{C}$ x C/N da matéria orgânica do poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa. COP: carbono orgânico particulado; COD: carbono orgânico dissolvido.....	36
<b>Figura 9.</b> Frequência relativa (%) dos maiores grupos componentes da matéria orgânica particulada, valores de carbono orgânico ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e razão carbono:nitrogênio (C/N) da matéria orgânica do poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa. ....	44
<b>Figura 10.</b> Modelo hipotético das fases paleoambientais interpretadas a partir das palinofácies (I, II e III) identificadas na área do poço PSC-03. <b>a.</b> Ambiente marinho marginal; <b>b.</b> Ambientes dulciaquícolas, com pequena lâmina d'água, área úmidas ou solos encharcados; <b>c.</b> Ambiente colonizado por formas arbóreas constituindo a mata (Autoria da figura: Paulo Garlaça).....	45

**Figura 11.** Quadro síntese das mudanças da vegetação (Veg.) e dos ambientes (Amb.) na costa sudeste da América do Sul. ....50

## LISTA DE TABELAS

---

<b>Tabela 1.</b> Etapas do processamento palinológicos das amostras do poço PSC-03.	16
<b>Tabela 2.</b> Classificação da matéria orgânica particulada, com indicação da origem biológica, fonte e seus constituintes (modificado com adaptações de Traverse, 1994; Tyson, 1995).	19
<b>Tabela 3.</b> Idades radiocarbônicas (AMS $^{14}\text{C}$ ) das amostras selecionadas do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa e respectiva calibração (CALIB 7.1; Stuiver et al., 2016). *O pMC (porcentagem de carbono moderno) é apresentado quando o material analisado tem mais $^{14}\text{C}$ que o padrão de referência moderno, assim esta amostra é considerada recente, ou seja, pós 1950.	29
<b>Tabela 4.</b> Valores isotópicos das amostras selecionadas do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.	30
<b>Tabela 5.</b> Palinofácies identificadas no poço PSC-03, apresentando profundidade, idades radiocarbônicas e número de amostras em cada palinofácies.	32
<b>Tabela 6.</b> Lista taxonômica dos palinomorfos identificados no poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.	33

## SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>XII</b>
<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>XIV</b>
<b>PARTE I – ASPECTOS INTRODUTÓRIOS</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Hipótese.....	2
1.2. Objetivos.....	3
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO DO CONHECIMENTO</b> .....	<b>4</b>
2.1. O litoral de Santa Catarina.....	4
2.2. Paleoníveis marinhos do Holoceno.....	5
2.3. Descrição física da área de estudo.....	6
2.3.1. Geologia e Geomorfologia.....	6
2.3.2. Clima.....	7
2.3.3. Vegetação.....	8
2.4. Palinologia e palinofácies.....	8
2.4.1. Palinologia da região costeira de Santa Catarina.....	10
2.5. Isótopos aplicados a estudos paleoambientais.....	12
<b>CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>15</b>
3.1. Coleta do testemunho de sondagem.....	15
3.2. Processamento palinológico e palinofaciológico.....	15
3.3. Análises em microscopia óptica.....	17
3.3.1. Análise qualitativa.....	17
3.3.2. Análise quantitativa.....	17
3.3.3. Análise estatística.....	20
3.4. Análises isotópicas.....	20
3.5. Datações radiocarbônicas.....	20
<b>PARTE II – CORPO PRINCIPAL DA TESE</b> .....	<b>22</b>
<b>ARTIGO 1: NEW INSIGHTS ON THE SYSTEMATIC CLASSIFICATION OF CERTAIN PALYNOLOGICAL TAXA (TINTINNOMORPHS) FROM HOLOCENE DEPOSITS OF THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL</b> .....	<b>23</b>
<b>ARTIGO 2: CISTOS DE DINOFLAGELADOS DO HOLOCENO DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SANTA CATARINA (POÇO PSC-03): DESCRIÇÕES TAXONÔMICAS E IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS:</b> .....	<b>25</b>

<b>ARTIGO 3: PALEOENVIROMENTAL EVOLUTION OF A MIDDLE TO LATE HOLOCENE SECTION FROM THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: PALYNOFACIES AND STABLE ISOTOPES ANALYSIS .....</b>	<b>27</b>
<b>PARTE III – INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
4.1. Sedimentologia .....	28
4.2. Cronologia .....	28
4.3. Análises geoquímica de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N .....	29
4.4. Palinologia e palinofácies.....	31
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
5.1. Dados isotópicos.....	35
5.2. Palinofácies e paleoambientes.....	36
5.2.1. Palinofácies I (300 a 145 cm de profundidade; 7744 a 2884 anos cal AP) .....	36
5.2.2. Palinofácies II (140 a 80 cm de profundidade; 2857 a 2276 anos cal AP) .....	40
5.2.3. Palinofácies III (75 a 0 cm de profundidade; 2124 anos cal AP ao Presente) .....	41
5.3. Ocorrências correlatas na costa sudeste da América do Sul.....	46
5.4. Paleoclima .....	51
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>

## APRESENTAÇÃO

---

Esta Tese de Doutorado, intitulada “**Paleoambientes da porção central da Planície Costeira catarinense (Praia da Pinheira, Brasil) durante o Holoceno**”, foi desenvolvida entre março de 2013 e outubro de 2018 no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LPMMT/IG/UFRGS). O documento atende a Norma 103 de março de 2012 do Programa de Pós-graduação em Geociências, desta instituição, que estabelece a submissão da Tese na forma de artigos científicos. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes:

**PARTE I. Aspectos Introdutórios:** introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa, onde estão sumarizados os objetivos, os conceitos teóricos metodológicos da pesquisa desenvolvida e o estado da arte sobre o tema.

**PARTE II. Corpo Principal da Tese:** constituído por três artigos publicados em periódicos ou submetidos a periódicos com corpo editorial permanente e revisores independentes, escritos pelo autor.

**Artigo 1:** NEW INSIGHTS ON THE SYSTEMATIC CLASSIFICATION OF CERTAIN PALYNOLOGICAL TAXA (TINTINOMORPHS) FROM HOLOCENE DEPOSITS OF THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: apresenta a identificação, descrição e documentação fotomicrográfica de tintinomorfos registrados em sedimentos do Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina, sul do Brasil. Foram realizadas comparações dos espécimes identificados com espécimes previamente registrados em depósitos quaternários do sul do Brasil, sul da América do Sul e outras regiões do mundo. Artigo publicado na *Revista Brasileira de Paleontologia*, 20(3): 321-332, 2017.

**Artigo 2:** CISTOS DE DINOFLAGELADOS DO HOLOCENO DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SANTA CATARINA (POÇO PSC-03): DESCRIÇÕES TAXONÔMICAS E IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS: apresenta a identificação, descrição e documentação fotomicrográfica, bem como dados ecológicos de cistos de dinoflagelados recuperados em sedimentos do Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina (poço PSC-03), sul do Brasil. Artigo submetido ao periódico *Geociências*.

**Artigo 3:** PALEOENVIROMENTAL EVOLUTION OF A MIDDLE TO LATE HOLOCENE SECTION FROM THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: PALYNOFACIES AND STABLE ISOTOPES ANALYSIS: este trabalho apresenta a integração da análise de palinofácies e isótopos estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$  e C/N) do poço PSC-03 de idade holocena (entre 7744 anos cal AP e o Presente), perfurado na Planície Costeira de Santa Catarina, sul do Brasil. Artigo submetido ao periódico *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

**PARTE III. Integração dos Resultados:** encerra o trabalho, constituído pelos capítulos de integração dos resultados, principais conclusões e considerações finais.

## PARTE I – ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

---

### CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

O entendimento da sucessão temporal dos ecossistemas constitui uma importante fonte de informação sobre a evolução dos ambientes terrestres no passado. A compreensão das paisagens pretéritas se faz importante, uma vez que o conhecimento dos sistemas naturais e sua transformação (ambiental e climática) são desconhecidos para muitas áreas, comprometendo a reconstituição geográfica (paleogeografia) e a evolução dos ecossistemas.

Inúmeras ferramentas são aplicadas na reconstituição das alterações ambientais. Dentre estas, destacam-se os fósseis, objeto da paleontologia e, especialmente a palinologia, que trata do estudo da matéria orgânica particulada recuperada em sedimentos e rochas sedimentares, incluindo grãos de pólen produzidos pelas angiospermas e gimnospermas, esporos provenientes de pteridófitas e briófitas, além de algas, fungos e outros fragmentos de organismos. Eventos de larga escala, como as transgressões–regressões que delimitam os ambientes marinhos e terrestres, podem ser identificados através da utilização da palinologia, tal como o registro de fitoplâncton marinho (cistos de dinoflagelados) associados à palinomorfos e partículas orgânicas de origem terrígena (Traverse, 1994). Microrestos vegetais (fitoclastos) e matéria orgânica amorfa completam as informações obtidas, fornecendo dados sobre as condições paleoambientais locais.

A zona costeira brasileira foi intensamente afetada pelas variações do nível do mar durante o Quaternário, responsáveis pela geração de fácies sedimentares distintas e complexas, descontínuas no tempo e no espaço, resultantes do deslocamento de processos e ambientes, conforme registram trabalhos prévios (e.g. Kowsmann *et al.*, 1977; Suguio *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1993, 2003; Villwock & Tomazelli, 1995; Corrêa & Villwock, 1996; Corrêa *et al.*, 1996).

Os componentes bióticos encerrados nos depósitos sedimentares representam importantes fontes de informações para o entendimento das transformações sofridas pela zona costeira durante os eventos de transgressão e regressão. O estudo da matéria orgânica particulada recuperada em sedimentos e rochas sedimentares constitui a análise de palinofácies (Combaz, 1964) e permite realizar inferências a respeito da gênese dos depósitos sedimentares. Os resultados



destes estudos fornecem subsídios para a compreensão das alterações ambientais ao longo do tempo e, por conseguinte, reconstituições geográficas.

Além disso, a análise isotópica de carbono orgânico ( $\delta^{13}\text{C}$ ) contido nos sedimentos e nas rochas sedimentares pode fornecer indícios a respeito das mudanças do nível relativo do mar (Meyers, 1994, 1997, 2003; Wilson *et al.*, 2005a, 2005b; Khan *et al.*, 2015). Em depósitos sedimentares de áreas costeiras, a análise integrada da razão de isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e a relação carbono e nitrogênio total (C/N) contidos nos sedimentos tem sido aplicada com sucesso para inferir a influência da matéria orgânica marinha *versus* terrestre (Lamb *et al.*, 2006, 2007; Bergamino *et al.*, 2017).

Trabalhos de cunho palinológico têm sido desenvolvidos em diferentes setores da costa brasileira com o objetivo de reconstruir a vegetação, o clima e as condições ambientais relacionadas às flutuações do nível do mar durante o Quaternário. Entretanto, a maioria dessas análises privilegia os palinomorfos terrestres, especialmente grãos de pólen e esporos, com pouco aprofundamento taxonômico e de análise dos representantes marinhos (cistos de dinoflagelados, acritarcos, palinoforaminíferos, ovos de copépodes).

No sul do Brasil, a maior parte dos trabalhos de cunho palinológico é relativa à Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Para o litoral de Santa Catarina, representado por expressiva área de afloramentos de distinta natureza geológica, trabalhos similares são escassos, embora seja observado crescente avanço nas contribuições nos últimos anos (Behling & Negrelle, 2001; Amaral *et al.*, 2012; Cancelli, 2012; Val, 2015; Kuhn *et al.*, 2017; Gu *et al.*, 2017).

### 1.1. Hipótese

As oscilações do nível relativo do mar resultantes da glacioeustasia foram os principais agentes controladores das modificações ambientais ocorridas no litoral de Santa Catarina durante o Quaternário. Entretanto, microfósseis de parede orgânica de origem marinha que poderiam caracterizar mais fortemente estas variações sobre a Planície Costeira catarinense são escassamente reportados nos trabalhos palinológicos desenvolvidos, sendo representados apenas por ocorrências escassas de palinoforaminíferos, *Michrystidium* (acritarco), *Operculodinium* e *Spiniferites* (cistos de dinoflagelados).

Modificações introduzidas no método palinológico de processamento tradicional das amostras quaternárias permitirão a recuperação de assembleias mais

diversificadas de palinómorfos marinhos (cistos de dinoflagelados), assim, espera-se ampliar o conhecimento das dinâmicas ambientais resultantes das variações do nível relativo do mar durante o Holoceno para a Planície Costeira de Santa Catarina.

## 1.2. Objetivos

O principal objetivo desta tese consiste na **proposição de um modelo de sucessão dos paleoambientes da região do balneário da Pinheira, município de Palhoça (SC) no setor Central do litoral catarinense**. Com a recuperação e análise da matéria orgânica particulada encerrada nos pacotes sedimentares, é pretendido:

- (i) Identificar a matéria orgânica particulada presente em amostras da sequência sedimentar do Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina empregando o método palinológico e palinofaciológico;
- (ii) Reconhecer variações na distribuição da matéria orgânica particulada em cada nível, a fim de avaliar o significado paleoambiental dos distintos níveis analisados;
- (iii) Recuperar associações diversificadas de cistos de dinoflagelados visando realizar caracterizações ambientais mais refinadas sobre a ingressão marinha para este setor da planície costeira catarinense;
- (iv) Aplicar a análise isotópica de carbono orgânico ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e a relação carbono e nitrogênio total (C/N) para inferir a influência marinha *versus* terrestre da matéria orgânica constituinte do depósito sedimentar;
- (v) Registrar as variações ambientais na área de estudo e correlacioná-las com as oscilações do nível relativo do mar.

## CAPÍTULO 2. REVISÃO DO CONHECIMENTO

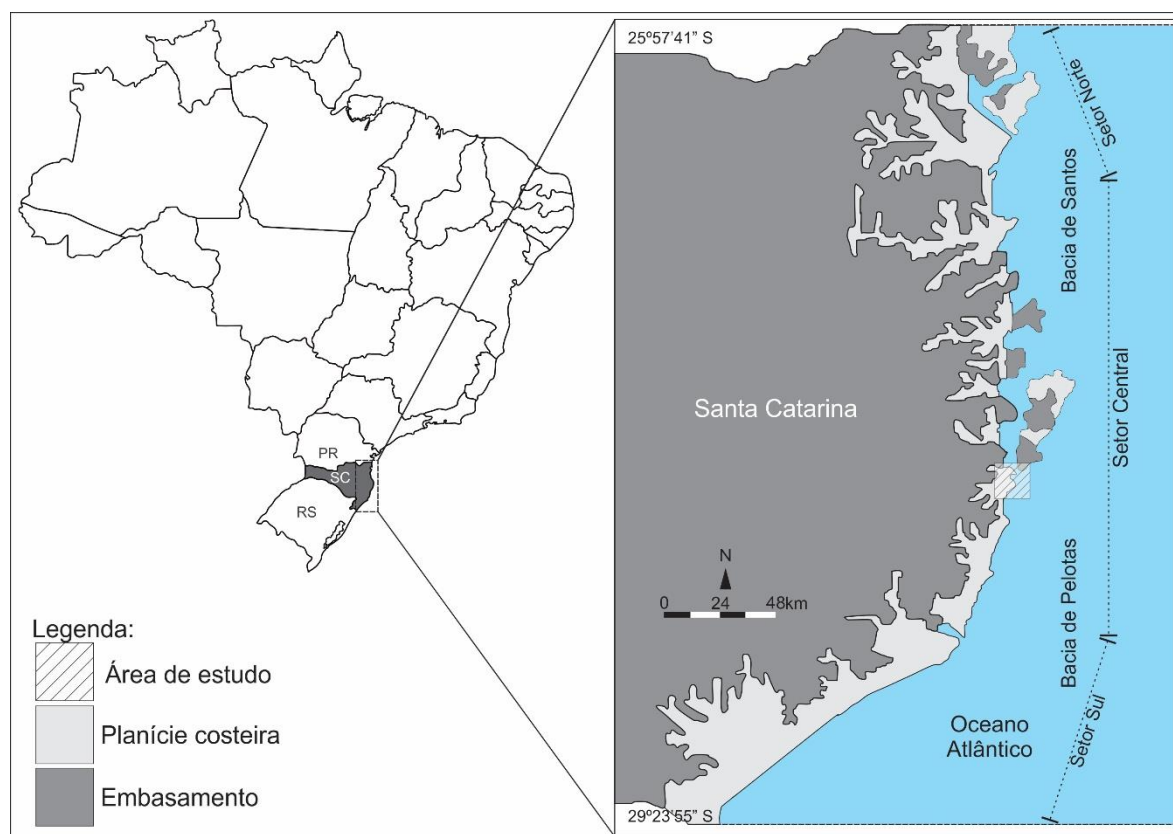
### 2.1. O litoral de Santa Catarina

O litoral de Santa Catarina possui área de 66.212 km<sup>2</sup>, divididos entre: setor emerso, da planície costeira ao sistema praiial, com 4.212 km<sup>2</sup>; no setor submerso, a plataforma continental com 62.000 km<sup>2</sup>. Com extensão de 538 km, perfazendo cerca de 7% do litoral brasileiro. O limite norte com o estado do Paraná, é marcado pelo rio Saí-Guaçu, ao Sul, com o estado do Rio Grande do Sul, o limite é o rio Mampituba, a oeste, a Serra do Mar e o Planalto Meridional e a leste o Oceano Atlântico (Diehl & Horn Filho 1996) (Figura 1).

Do ponto de vista tectonestratigráfico, o litoral catarinense está inserido sob o domínio de duas bacias sedimentares marginais, Bacia de Santos e Bacia de Pelotas (Figura 1). Ambas têm suas origens relacionadas aos eventos tectônicos que culminaram com a ruptura do Supercontinente Gondwana e abertura do Atlântico Sul. Desde sua gênese as bacias passaram por processos tectônicos sedimentares que ocasionaram processos evolutivos bastante distintos entre si (Moreira *et al.*, 2007; Bueno *et al.*, 2007).

Caracterizado por duas grandes unidades geológicas, o litoral catarinense é constituído pelo Embasamento e a Planície Costeira. O Embasamento é composto pelo Escudo catarinense, sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná. A Planície Costeira abrange depósitos sedimentares característicos de três sistemas deposicionais: continental, transicional e costeiro, compartimentada em três setores: Norte, Central e Sul (Horn Filho, 2003) (Figura 1).

A evolução geológica e geomorfológica do litoral de Santa Catarina está intimamente relacionada às oscilações do nível relativo do mar. Ao longo deste litoral são identificadas praias, barreiras arenosas, dunas, lagoas, lagunas e manguezais, entremeadas a afloramentos rochosos de litologias variáveis. Entre os depósitos predominam aqueles de idade holocena, seguidos dos depósitos do Pleistoceno superior e raras ocorrências do Pleistoceno médio (Horn Filho, 2003).



**Figura 1.** Mapa geológico e geomorfológico simplificado da Planície Costeira de Santa Catarina (modificado de Horn Filho, 2003).

## 2.2. Paleoníveis marinhos do Holoceno

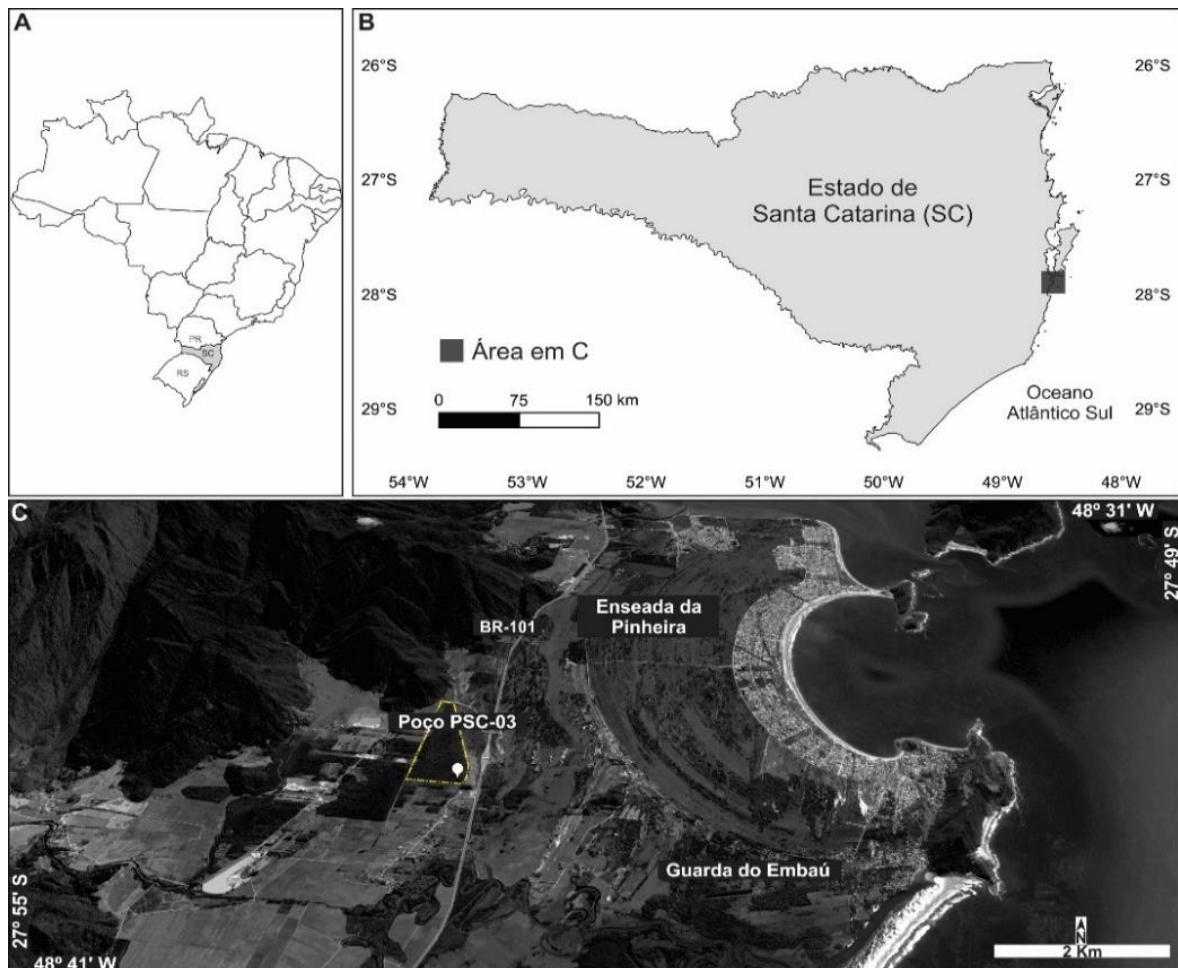
Estudos desenvolvidos ao longo do litoral brasileiro demonstram que o nível do mar ultrapassou o atual há cerca de 7000 anos AP, passando por um período de estabilização seguido por uma tendência regressiva (Suguio *et al.*, 1985; Angulo & Lessa, 1997; Angulo *et al.*, 2006). O modelo de curva do nível do mar demonstra que a transgressão pós-glacial teve sua máxima extensão entre 6000-5000 anos AP, quando o mar atingiu aproximadamente entre 2-5 m acima do seu nível atual (Angulo & Lessa 1997; Martin *et al.*, 2003; Angulo *et al.*, 2006).

Na costa sul do Brasil, encrustações de gastrópodes têm sido usadas como indicadores de paleoníveis marinhos (Angulo *et al.*, 1999). Para Santa Catarina, os dados disponíveis dão indícios que o nível do mar atingiu sua cota mais alta aproximadamente a 5800 anos AP, ultrapassando o nível atual em 2,5 m (Angulo *et al.*, 2006). Segundo Fitz Gerald *et al.* (2007), após o máximo transgressivo, ao longo da costa sul brasileira a regressão forçada associada ao abundante suprimento de sedimentos favoreceu a formação de extensas barreiras regressivas.

## 2.3. Descrição física da área de estudo

### 2.3.1. Geologia e Geomorfologia

A praia da Pinheira, área na qual foi desenvolvida a tese, está inserida no setor Central (Horn Filho, 2003), caracterizado pela ocorrência de granitoides, migmatitos, riolitos, basaltos, diabásio, xistos e arenitos. São identificados depósitos quaternários indiferenciados de coluvião, leques aluviais, alúvios, praias, lagunar, paludial, eólico e sambaqui. A planície costeira é estreita, apresentando promontórios rochosos, ilha continental e complexo lagunar. Neste setor são identificadas feições morfológicas compostas por dunas, penínsulas, enseadas, baía, planície de maré, cordão, laguna, ilha e delta. O litoral apresenta orientação predominante Sul – Norte (Figura 2).



**Figura 2.** Localização da área de estudo na Planície Costeira de Santa Catarina (AB) e imagem de satélite com indicação do poço PSC-03 (C) (Fonte: Google Earth).

### 2.3.2. Clima

O estado de Santa Catarina está inserido na zona subtropical, na transição do clima tropical para o temperado. Conforme classificação de Köppen (1948), dois tipos climáticos são reconhecidos, o subtropical úmido de verões quentes (*Cfa*), que abrange a maior parte do território catarinense e o subtropical úmido de verões brandos (*Cfb*), restrito a área do planalto (Alvares *et al.*, 2013). O tipo climático *Cfa* observado ao longo de todo litoral catarinense até as cotas altimétricas de 500-600 m (Alvares *et al.* 2013), é caracterizado por apresentar temperaturas acima de 10° C no mês mais quente e acima de 0° C no mês mais frio, porém, abaixo de 18° C, com quatro estações definidas. Nas últimas décadas, as precipitações apresentam características de sazonalidade, influência do relevo e ocorrência de distintos sistemas atmosféricos, favorecendo a existência de trimestres secos e chuvosos para região (Viana, 2009).

Três massas de ar influenciam o litoral de Santa Catarina em seus parâmetros meteorológicos e climatológicos: Massa Tropical Atlântica (MTA), Massa Polar Atlântica (MPA) e Massa Equatorial Continental (MEC). No verão, a última favorece a convergência de ventos oriundos do Oceano Atlântico tornando a umidade relativa do ar elevada, resultando em precipitações abundantes. A MTA, gerada sobre as águas do Atlântico, com característica quente e úmida; apresenta atuação durante todo o ano, principalmente no litoral, onde, devido à topografia, provoca considerável precipitação. A MPA tem sua origem sobre o oceano Atlântico, na altura centro-sul da Patagônia, com características frias e úmidas; desloca-se pela fachada litorânea, associa-se à MTA, gerando chuvas frontais (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

A atuação dos sistemas atmosféricos de origem oceânica (MTA e MPA) e continental (MEC) responde por um elevado índice pluviométrico regional entre 1200 e 1950 mm, sendo representativa no interior, na porção litorânea e nas elevações da Serra Geral e Serra do Mar (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007). A ação moderadora do Atlântico também é um importante componente na regulação térmica e pluviométrica, pois a Corrente do Brasil estende as condições climáticas de umidade e temperatura dos trópicos para as latitudes mais ao sul (Grimm, 2009). Outro importante fator climático para formação de chuvas na região é o relevo: as terras altas, representadas pelas serras Geral e do Mar, adjacentes à costa barram e condensam as massas de ar úmidas vinda do oceano, resultando em maior volume

de precipitação junto à costa e causando as chuvas orográficas (Hasenack & Ferraro, 1989; Tomazelli, 1993; Grimm, 2009).

### **2.3.3. Vegetação**

Somam-se aos mecanismos anteriormente citados, excelentes condições de incidência solar, calor e umidade para o desenvolvimento da vegetação, representada pela Floresta Ombrófila Densa. Segundo a classificação proposta pelo IBGE (2004), o litoral catarinense está inserido no domínio Mata Atlântica, o qual compreende uma série de formações vegetacionais bem diversificadas. É possível distinguir dois grandes conjuntos vegetacional, a Floresta Ombrófila Densa, localizada no setor mais interiorizado da área de estudo, enquanto, mais próxima a linha de costa, é reconhecida a vegetação de restinga.

A Floresta Ombrófila Densa é caracterizada por fanerófitos, justamente pelas subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações. Porém, sua característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam muito bem a “região florística florestal” (IBGE, 2012). Assim, a característica ombrométrica possui intrínseca ligação com os fatores climáticos descritos anteriormente.

A vegetação de restinga compreende um caráter edáfico, que ocupa terrenos rejuvenescidos das planícies fluviais, ao redor das depressões aluviais (pântanos, lagunas e lagoas) e ao longo do litoral. Tal designação prende-se a uma tentativa de conceituar comunidades localizadas, sem ligá-las aprioristicamente às regiões ecológicas clímax, pois a vegetação que ocupa uma área com solo em constante rejuvenescimento nem sempre indica estar no caminho da sucessão para o clímax da região circundante. São exemplos as vegetações da orla marítima e dos pântanos, ambas semelhantes entre si, em qualquer latitude ou longitude do país, sempre com plantas adaptadas aos parâmetros ecológicos do ambiente pioneiro. (IBGE, 2012).

### **2.4. Palinologia e palinofácies**

O termo Palinologia foi proposto por Hyde & Williams (1944) para definir o estudo dos grãos de pólen (angiospermas e das gimnospermas) e dos esporos (pteridófitas e briófitas), sua dispersão e suas aplicações (Tschudy & Scott, 1969). Com o avanço das técnicas, a palinologia passou a ser aplicada em outros ramos da ciência. Numa concepção moderna, a palinologia abrange o estudo dos microfósseis de parede orgânica resistentes à ácidos fortes tais como ácido clorídrico (HCl) e

fluorídrico (HF), recuperados em sedimentos e rochas sedimentares (Traverse, 2007).

Os microfósseis de parede orgânica recuperados após a dissolução da matriz mineral recebem a denominação de palinomorfos. O termo palinomorfo compreende os esporomorfos (grãos de pólen de angiospermas e gimnospermas, esporos de briófitas e pteridófitas), esporos e corpos frutíferos de fungos, cistos de dinoflagelados, escolecodontes, palinoforaminíferos, quitinozoários, algas prasinófitas, acritarcos e tintinomorfos.

Constituídos por moléculas orgânicas extremamente resistentes, compostas de esporopolenina (no caso dos esporomorfos), quitina ou pseudoquitina, ou afins a essas, os palinomorfos possuem grande potencial de fossilização (Traverse, 2007). Com dimensões que variam de 5-500  $\mu\text{m}$ , são encontrados no registro geológico desde o Proterozoico ao Recente. Devido a sua ampla dispersão geográfica e alta resistência, os palinomorfos são encontrados nos mais diversos ambientes.

A presença dos palinomorfos nos sedimentos e rochas sedimentares expressam as condições ambientais nas quais estes depósitos foram formados. A ocorrência desses restos orgânicos pode informar a idade de deposição e as condições ecológicas, ambientais e climáticas que reinavam em um determinado sítio sedimentar (Antunes & Melo, 2001). O estudo da matéria orgânica contida em sedimentos e rochas sedimentares revela as interações entre biosfera e geosfera (Tyson, 1995).

O estudo da matéria orgânica particulada recuperada em sedimentos e rochas sedimentares constitui a análise de palinofácies (Combaz, 1964) e permite realizar inferências a respeito da gênese dos depósitos sedimentares. Desde então este conceito vem sofrendo modificações por diferentes autores tais como Tyson (1993, 1995), Traverse (1994) e Batten (1996).

A análise das palinofácies envolve o estudo integrado de todos os aspectos das assembleias de matéria orgânica particulada como: identificação dos componentes particulados individuais, determinação de suas proporções relativas e absolutas, seus tamanhos e estado de preservação (Carvalho *et al.*, 2005). A análise das distintas palinofácies identificadas dentro de uma sequência deposicional, que apresenta modificações nas fácies relacionadas com as variações do nível do mar e influência terrígena, assume grande importância nas reconstituições ambientais (Meyer *et al.*, 2005a).



A caracterização paleoambiental através do método palinofaciológico consiste na utilização dos parâmetros obtidos a partir da análise qualitativa e quantitativa da matéria orgânica particulada. Os parâmetros das palinofácies servem de subsídios para a interpretação de uma sequência deposicional, que apresenta modificações nas fácies relacionadas. Os parâmetros representam tendências de dispersão de seus componentes, controlados por fatores ambientais, tais como: processos deposicionais, hidrodinâmica, influxo fluvial, variações do nível relativo do mar, entre outros (Meyer *et al.*, 2005a).

#### **2.4.1. Palinologia da região costeira de Santa Catarina**

A palinologia da região costeira de Santa Catarina até o momento foi pouco explorada, contando com seis trabalhos. Os sítios palinológicos onde foram realizados os estudos são: Volta Velha (Behling & Negrelle, 2001), Jaguaruna (Amaral *et al.*, 2012) Santa Rosa do Sul e São João do Sul (Cancelli, 2012), Araranguá (Val, 2015), Garopaba (Kuhn *et al.*, 2017) e Plataforma Continental de Santa Catarina (Gu *et al.*, 2017) (Figura 3).

Os estudos desenvolvidos até o momento abordaram a evolução sedimentológica, vegetacional, climática e ambiental da planície costeira catarinense. Também são abordadas as alterações ocorridas no ambiente marinho tais como influxo fluvial e correntes marinhas condicionados pelas mudanças climáticas e variações do nível relativo do mar.

Behling & Negrelle (2001), estudando um testemunho coletado na reserva ecológica de Volta Velha, puderam avaliar as mudanças ambientais e na cobertura vegetal ocorridas na área nos últimos 35000 anos AP. Durante o Pleistoceno tardio e no Último Máximo Glacial, a área que onde hoje se desenvolve a floresta tropical era ocupada pelo mosaico campo floresta, sendo os táxons florestais adaptados a condições climáticas frias. O período pós-glacial é identificado pelo início da expansão dos táxons arbustivos e arbóreos da Mata Atlântica. Índícios da ingressão marinha na porção norte do litoral catarinense são registrados com a ocorrência de palinoforaminíferos entre 12220 e 6720 anos AP, neste mesmo intervalo de tempo, também foram identificados alguns espécimes de *Rhizophora*, táxon típico de manguezal. Entretanto a conexão do mar com o sítio deposicional foi logo interrompida. Mesmo com a expansão dos táxons arbustivos e arbóreos a área ainda é ocupada pelo mosaico campo floresta, até que em aproximadamente 6700 anos AP os táxons florestais da Mata Atlântica tornam-se dominantes. No Holoceno

médio e tardio a Mata Atlântica teria se estabelecido na região sob condições mais quentes e úmidas.

Para os demais sítios palinológicos da Planície Costeira de Santa Catarina localizados em Santa Rosa do Sul, São João do Sul, Garopaba e Araranguá a ingressão marinha foi melhor documentada com o registro frequente e mais abundante de elementos marinhos tais como cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos e acritarcos entre 5390 e 3135 anos AP (Cancelli, 2012; Val, 2015; Kuhn *et al.*, 2017). Em resposta a variação positiva do nível do mar, nos sítios palinológicos é comum o registro de Poaceae e Chenopodiaceae, que podem ser relacionados a condições de maior salinidade nos solos (Behling & Negrelle, 2001; Cancelli, 2012; Val, 2015; Kuhn *et al.*, 2017).

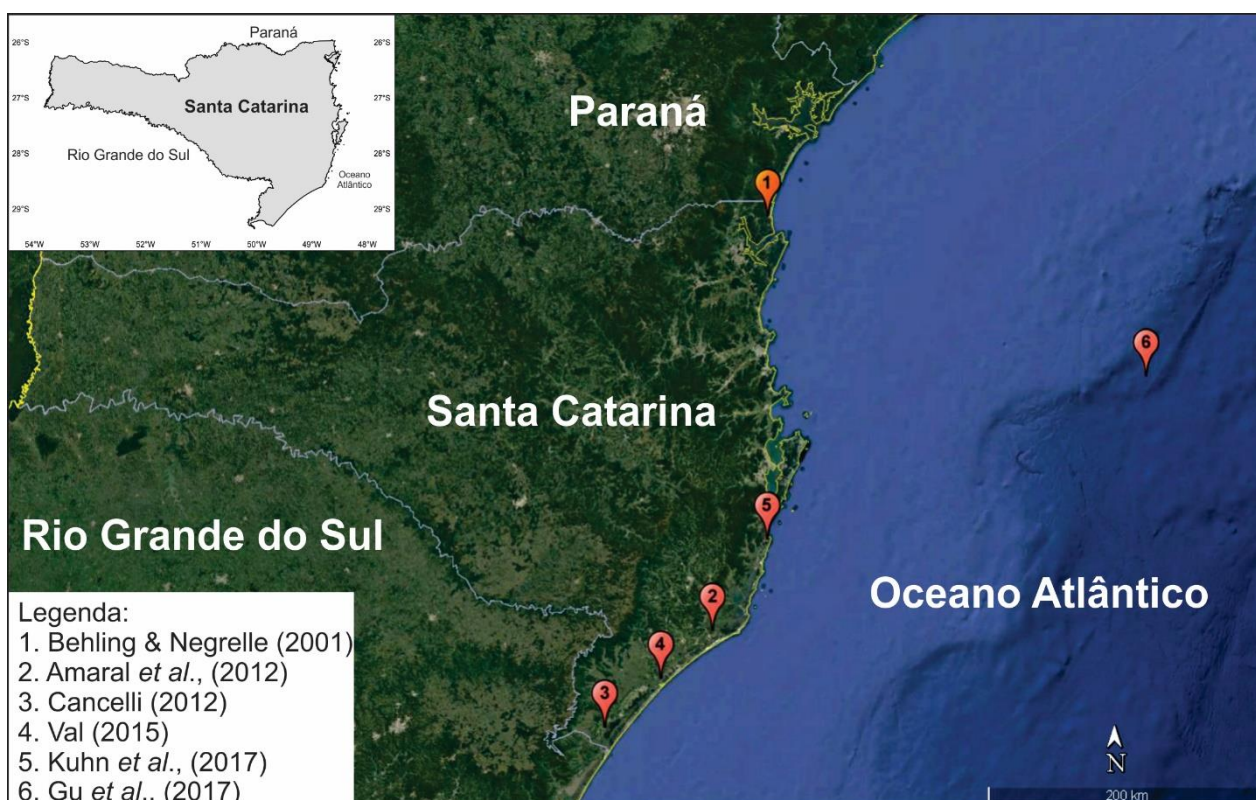
Com base na análise multi-proxy micropaleontologia (palinologia e diatomáceas), isotópos ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  e razão C/N) e sedimentologia, caracterizaram ambiente típico de zona sub-maré na região de Jaguaruna entre 5500 e 2580 anos AP (Amaral *et al.*, 2012). O aumento progressivo do registro de elementos tipicamente marinhos, principalmente nos sítios palinológicos de Santa Rosa do Sul, São João do Sul e Garopaba, é síncrono ao evento relacionado ao último máximo transgressivo documentado para região por volta de 5100 anos AP (Angulo *et al.*, 2006).

Os trabalhos desenvolvidos na Planície Costeira catarinense documentam o estabelecimento de elementos característicos de uma floresta paludial com táxons pioneiros da Mata Atlântica através do processo gradual de dessalinização e preenchimento de antigas lagunas e pântanos salobros, áreas que provavelmente estiveram sob influência direta ou indireta do oceano (Behling & Negrelle, 2001; Amaral *et al.*, 2012; Cancelli, 2012; Val, 2015; Kuhn *et al.*, 2017).

Gu *et al.* (2017) estudaram as mudanças na vegetação e clima do sul do Brasil, bem como a dinâmica oceânica do Atlântico Sul, com base nas análises de esporomorfos (grãos de pólen e esporos) e cistos de dinoflagelados de testemunho coletado na plataforma continental cobrindo os últimos 73500 anos AP. Os registros polínicos indicam que a vegetação campestre foi constante na paisagem do sul do Brasil durante o último período glacial quando comparado ao Holoceno tardio, refletindo condições climáticas relativamente mais frias e/ou menos úmidas. Enclaves florestais ocorriam nas terras baixas e na plataforma continental exposta, que era coberta principalmente por marismas. Táxons da Mata Atlântica foram registrados na porção norte da planície costeira do sul do Brasil durante o último

período glacial, mas a ocorrência foi fortemente reduzida entre 38500–13000 anos AP. A distribuição da Mata Atlântica deve ter sido controlada pelas condições climáticas mais frias e/ou menos úmidas durante esse período.

Os dados de cistos de dinoflagelados indicam que a Corrente do Brasil, com suas águas quentes, salgadas e pobres em nutrientes, influenciou a plataforma sul do país durante todo o período investigado. Variações na proporção de táxons de cistos de dinoflagelados indicam um ambiente eutrófico, que refletem a entrada de nutrientes transportados principalmente pela Corrente Costeira Brasileira e subordinadamente pela descarga do Rio Itajaí.



**Figura 3.** Imagem de satélite com localização dos trabalhos de palinologia realizados na região costeira de Santa Catarina (Fonte: *Google Earth*).

## 2.5. Isótopos aplicados a estudos paleoambientais

As regiões costeiras constituem-se em área de contato tríplice: terra, mar e dinâmica climática. Desse modo os sedimentos costeiros recebem material orgânico de distintas fontes como plantas que crescem na superfície do sedimento e demais organismos autóctones e material orgânico alóctone, transportado para o sedimento de outros lugares, pelas marés, deriva litorânea e pelos rios. A aplicação de descritores geoquímicos da matéria orgânica sedimentar em áreas costeiras tem demonstrado um incrível potencial dessa ferramenta em estudos paleoambientais

(e.g. Wilson *et al.*, 2005a, 2005b; Lamb *et al.*, 2006; Amaral *et al.*, 2012; Pessenda *et al.*, 2012; Lorente *et al.*, 2014).

Isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e a relação C/N preservados nos sedimentos constituem importante fonte de informações sobre as variações do nível relativo do mar nas áreas costeiras (Wilson *et al.*, 2005a, 2005b; Khan *et al.*, 2015). A aplicação conjunta dos teores de  $\delta^{13}\text{C}$  e da razão C/N foi proposta por Meyers (1994) para distinguir a origem da matéria orgânica preservada nos sedimentos, derivada de diversas fontes, tais como plantas vasculares ( $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ ) e fitoplâncton marinho ou de água doce (Meyers, 1994, 1997, 2003; Wilson *et al.*, 2005a, 2005b; Lamb *et al.*, 2006, 2007; Khan *et al.*, 2015). O sucesso da análise integrada de isótopos ( $\delta^{13}\text{C}$  e da C/N) para inferir a influência marinha *versus* terrestre da matéria orgânica depositada nestes ambientes se deve ao fato dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  serem minimamente afetados pelos processos diagenéticos atuantes no sedimento (Bergamino *et al.*, 2017).

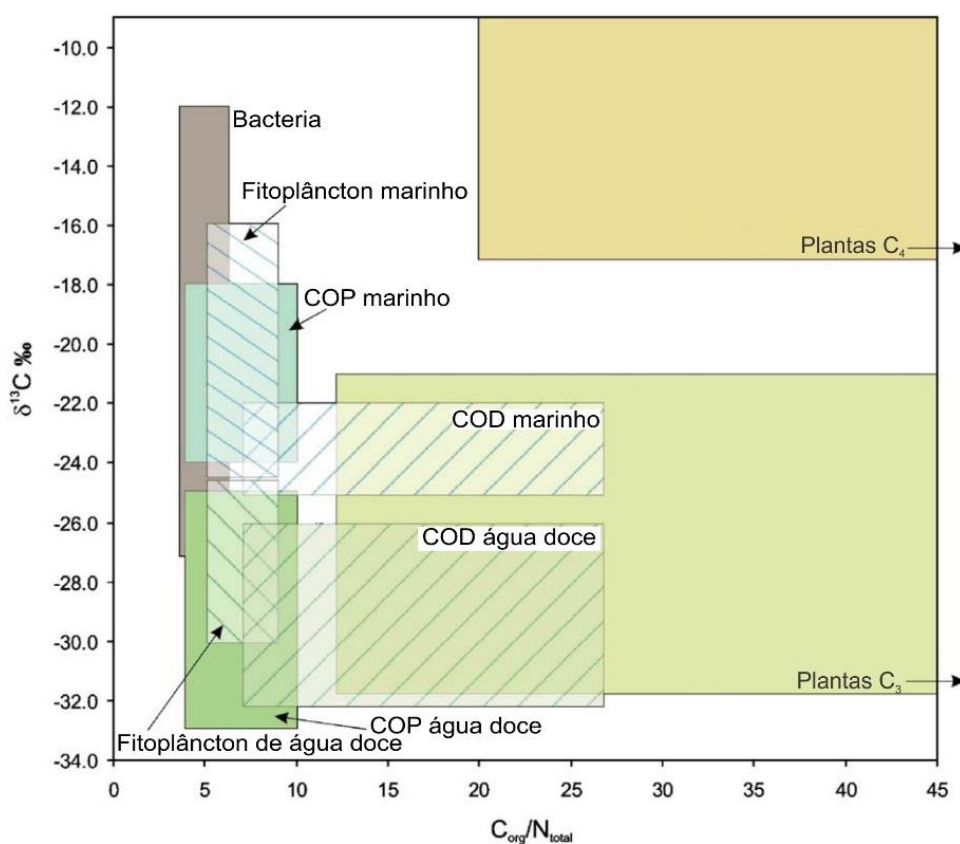
Desse modo, como resultado das características fisiológicas e bioquímicas das plantas durante o ciclo fotossintético, a matéria orgânica originada das plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  apresentam concentrações de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-32$  a  $-21\text{‰}$  e  $-17$  e  $-9\text{‰}$ , respectivamente. Utilizando-se os critérios fisiológicos e bioquímicos referentes à fotossíntese e à concentração de  $\text{CO}_2$  dissolvido na coluna d'água, dependente da temperatura do corpo d'água, a matéria orgânica oriunda do fitoplâncton marinho exibe concentração de  $\delta^{13}\text{C}$  entre  $-24$  e  $-18\text{‰}$  (Meyers, 1994, 1997, 2003; Lamb *et al.*, 2006).

Algas geralmente apresentam razão C/N entre 4 e 10, enquanto a vegetação terrestre vascular possui razão acima de 20 (Meyers, 1994; Tyson, 1995). Essa diferença é resultante da ausência de celulose na composição das primeiras e da abundância desse composto nas segundas, além de que as algas são mais ricas em proteínas (Meyers, 1994, 1997, 2003).

A partir da análise combinada de  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N, é possível inferir a fonte da matéria orgânica preservada no sedimento (Figura 4). Segundo Meyers (1994, 1997, 2003) a vantagem do uso combinado dos teores de  $\delta^{13}\text{C}$  e da C/N é que estes parâmetros representam toda a mistura de componentes que constituem a matéria orgânica contida no depósito sedimentar.

A abordagem integrada ( $\delta^{13}\text{C}$  e C/N) associada com a micropaleontologia tem sido utilizada para depósitos quaternários de diversas partes do mundo com os mesmos propósitos de avaliar as mudanças ambientais, em sedimentos holocenos e

modernos da Baía de São Francisco (Cloren *et al.*, 2002; Malamund-Roam & Ingram, 2004), em seqüências estuarinas holocenas da Inglaterra (Wilson *et al.*, 2005a, 2005b; Lamb *et al.*, 2007; Allen *et al.*, 2007), em depósitos holocenos do Mar Adriático (Ogrinc *et al.*, 2005), em seqüências estratigráficas do Pleistoceno e Holoceno do sudeste do Brasil (Pessenda *et al.*, 2012; Lorente *et al.*, 2014; França *et al.*, 2016) e sedimentos modernos do estuário do Rio de la Plata (Bergamino *et al.*, 2017). Para região costeira sul do Brasil, trabalhos de cunho geoquímico da matéria orgânica sedimentar são bastante escassos tendo até o momento o registro de dois estudos: um na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Meyer *et al.*, 2005b) e o outro na Planície Costeira de Santa Catarina (Amaral *et al.*, 2012).



**Figura 4.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N das fontes de matéria orgânica em ambientes costeiros. (COD) Carbono Orgânico Dissolvido e (COP) Carbono Orgânico Particulado (modificado de Lamb *et al.*, 2006)

## CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta tese é embasada nas análises palinológica, palinofaciológica e isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  e C/N) de um poço raso perfurado na região da praia da Pinheira (município de Palhoça, SC). O poço PSC-03 (27°53'22" S/48°39'04" W) foi coletado na margem direita da rodovia BR 101 (Km 243 – Sul) no interior de uma mata (Figura 2).

### 3.1. Coleta do testemunho de sondagem

Para a coleta do testemunho de sondagem foi utilizado o aparelho coletor “*Russian Peat Borer*”, o equipamento é composto por uma cápsula tubular de 50 cm de comprimento por 05 cm de diâmetro, acoplado a hastes móveis e que, por movimentos rotacionais, se extrai seções sedimentares nas profundidades desejadas. A cada seção, o coletor foi cuidadosamente limpo, evitando a contaminação de sedimentos oriundos de níveis anteriores. As porções sedimentares referentes a cada seção foram transferidas para tubos de policloreto de vinila (PVC) previamente cortados longitudinalmente com a marcação de topo e base indicando as respectivas profundidades. Os tubos foram embalados com filme plástico e papel alumínio para serem transportados ao LPMMT/IG/UFRGS, onde estão conservados em ambiente refrigerado.

### 3.2. Processamento palinológico e palinofaciológico

Tendo como objetivo a recuperação de material orgânico palinológico, as amostras foram processadas utilizando-se a metodologia proposta por Wood *et al.* (1996), que compreende os procedimentos de desagregação física, dissolução dos constituintes minerais, concentração do resíduo orgânico e confecção de lâminas palinológicas. Algumas etapas do processamento foram alteradas para a preservação do paleomicroplâncton marinho, em especial cistos de dinoflagelados da família protoperidiniaceae. Não foram aplicadas etapas oxidativas nem a aplicação de ácido clorídrico (HCl) à quente seguindo a proposta de Dale (1976).

Cistos de dinoflagelados heterótrofos do Neógeno e Quaternário são suscetíveis à reagentes muito agressivos tais como HCl a quente e hidróxido de potássio (KOH). Por essa razão etapas tão agressivas devem evitadas de serem empregadas no processamento, pois muitos gêneros serão eliminados (Dale, 1976; Head, 1996; Zonneveld *et al.*, 1997).

Amostras de 2 cm<sup>3</sup> foram extraídas ao longo do poço, espaçadas a cada 05 cm, perfazendo um total de 60 amostras. Cada uma foi acondicionada em tubos

plásticos falcon de 50 ml, devidamente codificados respeitando o nível estratigráfico. Como o material é oriundo de sedimentos inconsolidados não foi necessário realizar a etapa de maceração. As etapas empregadas no processamento estão descritas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Etapas do processamento palinológicos das amostras do poço PSC-03.

---

**1ª etapa:**

Adição do ácido Clorídrico (HCl 37%) 15 ml para dissolução dos carbonatos existentes nas amostras. Deixar o ácido agindo por 2 h.

Após 2 h neutralizar a reação com água filtrada, misturar a solução e deixar as amostras em repouso para decantação do sedimento no mínimo por 8 h. Após as 8 h descartar o resíduo em bombas plásticas para o tratamento adequado. Repetir etapa três vezes.

Adição do ácido Fluorídrico (HF 48%) 15 ml para dissolução dos silicatos existentes nas amostras. Deixar o ácido agindo por 24 h.

Após 8 h neutralizar a reação com água filtrada, misturar a solução e deixar as amostras em repouso para decantação do sedimento, por no mínimo por 8 h. Após as 8 h descartar o resíduo novamente em bombas plásticas para o tratamento adequado. Repetir etapa três vezes.

---

**2ª etapa:**

Adição do ácido Clorídrico (HCl 32%) 15 ml para dissolução de minerais neoformados durante a primeira etapa. Adição de pastilha de *Lycopodium clavatum* L. (número de partida 18.584 ± 371), com a finalidade de estimar a concentração de palinomorfos por grama de sedimento (Stockmarr, 1971). Deixar o ácido agindo por 1 h.

Após 1 h neutralizar a reação com água filtrada, misturar a solução e deixar as amostras em repouso para decantação do sedimento no mínimo por 8 h. Após as 8 h descartar o resíduo em bombas plásticas para o tratamento adequado. Repetir etapa três vezes.

Após as três lavagens para neutralização da solução peneirar as amostras em malha de 10 µm para concentração do resíduo palinológico de fração entre 10 e 250 µm.

Acondicionar o resíduo palinológico em recipientes plásticos de 40 ml devidamente identificados com o número de registro da amostra no LPMMT/IG/UFRGS e profundidade correspondente no poço.

---

**3ª etapa do processamento:**

Confecção de lâminas palinológicas para análise de palinologia e palinofácies. Todas as lâminas produzidas e utilizadas estão tombadas na Palinoteca do LPMMT/IG/UFRGS sob codificação Museu de Paleontologia, coleção Palinologia (MP-P) MP-P 11210 – 11269 (Figura 5).

---

### 3.3. Análises em microscopia óptica

As lâminas confeccionadas foram analisadas no microscópio óptico Olympus BX-61, sob aumento de 400x, 600x e 1000x. A análise dos componentes da matéria orgânica particulada foi realizada em microscopia óptica de luz branca transmitida e luz fluorescente incidente.

#### 3.3.1. Análise qualitativa

A identificação taxonômica foi feita através da comparação dos táxons presentes nas lâminas com descrições e registros em trabalhos prévios. Inicialmente, os palinomorfos foram separados em oito categorias: esporos, grãos de pólen de angiospermas, grãos de pólen de gimnospermas, fungos, algas dulciaquícolas, cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos e tintinomorfos. Após esta etapa foram classificados em nível genérico e específico, quando possível.

As identificações taxonômicas esporos, grãos de pólen de angiospermas, grãos de pólen de gimnospermas, fungos, algas dulciaquícolas foram realizadas por comparação com os equivalentes modernos, através dos materiais depositados na coleção de referência (MP-Pr) do LPMMT/IG/UFRGS e consulta de bibliografia especializada, tais como Lorscheitter (1988), Neves & Lorscheitter (1992, 1995), Neves *et al.* (2001), Neves & Bauermann (2003, 2004), Leal & Lorscheitter (2006), Macedo *et al.* (2009) e Cancelli *et al.* (2012a, 2012b).

Para a atribuição taxonômica dos cistos de dinoflagelados foram consultados os trabalhos de Edwards & Andrle (1992), Dale (1996), Rochon *et al.* (1999), Marret & Zonneveld (2003), Zonneveld & Pospelova (2015), ordenados segundo Fensome & Williams (2004). O significado paleoecológico e paleoambiental foi extraído de Wall *et al.* (1977), Harland (1983), Edwards & Andrle (1992), Dale (1996), Mudie & Harland (1996), Rochon *et al.* (1999), Marret & Zonneveld (2003), de Vernal *et al.* (2013) e Zonneveld *et al.* (2013) dentre outros.

Para a identificação dos tintinomorfos foi utilizado o sistema descritivo proposto por Van Waveren (1994).

#### 3.3.2. Análise quantitativa

Seguindo a classificação proposta por Traverse (1994) e Tyson (1995), a matéria orgânica particulada é distinguida em quatro grandes grupos (Tabela 2). Na contagem de palinofácies, a cobertura da lâmina foi realizada com a utilização de um retículo cruzado graduado em ocular de 10x e objetiva de 40x, tendo sido contabilizada toda a matéria orgânica particulada que caiu no campo de visada,



exceto aquelas com tamanho inferior a 10  $\mu\text{m}$ , até atingir 500 partículas. Concomitante a contagem das 500 partículas, foram contados e registrados todos os palinórfos identificados na lâmina. As contagens foram feitas percorrendo toda a lâmina palinológica, sendo as leituras conduzidas em transecções verticais de cima para baixo e da esquerda para direita com espaçamento de um campo visual entre as colunas evitando assim a duplicidade de contagem das partículas (palinórfos, fitoclastos, matéria orgânica amorfa) (Salgado-Labouriau, 2007).

**Tabela 2.** Classificação da matéria orgânica particulada, com indicação da origem biológica, fonte e seus constituintes (modificado com adaptações de Traverse, 1994; Tyson, 1995).

Grupos	Subgrupos	Origem	Descrição
Palinomorfos	Esporomorfos	Grãos de pólen e esporos	Angiospermas, Gimnospermas, Briófitos, Pteridófitos e Fungos.
		Esporos e corpos frutíferos de fungos	
	Fitoplâncton	Algas dulciaquícolas	Chlorophyceae, Cyanobacteria e <i>Incertae sedis</i> .
		Cistos de dinoflagelados	Cistos pertencentes às ordens Peridinales e Gonyaulacales.
		Acritarcos	Vesículas de dimensões reduzidas podendo ser ornamentadas ou não e com afinidade biológica incerta.
	Zoomorfos	Palinoforaminíferos	Revestimento interno de foraminíferos bentônicos (de Vernal & Giroux, 1991; de Vernal <i>et al.</i> , 1992; Mudie <i>et al.</i> , 2011; Ní Fhlaithearta <i>et al.</i> , 2013).
		Tintinomorfos	Microfósseis assemelhados a restos orgânicos de tintinídeos, porém com características insuficientes para serem identificados como verdadeiras lóricas, cistos ou bolsas, podendo corresponder a outros protozoários ou partes de outros organismos, como rotíferos e turbelários (Van Waveren, 1994).
Escolecodontes		Mandíbulas de anelídeos poliquetas.	
		Quitinozoários	Organismos de origem marinha com afinidade biológica incerta.
Zooclastos	Fragmento de animais	Mandíbulas, asas, patas, garras, ovos de platelmintos e ovos de copépodes	Restos de invertebrados.
Fitoclastos	Translúcidos Bioestruturados	Estriados, listrados, bandados, perfurados, cutículas, membranas, hifas de fungos.	Fragmentos de plantas vasculares terrestres, macrófitos aquáticos e fungos.
	Translúcidos Não Bioestruturados	Não degradados, corroídos, pseudoamorfos	
	Opacos	Equidimensionais, alongados, corroídos.	
Matéria Orgânica Amorfa		Derivada da decomposição da matéria orgânica pela ação bacteriana.	Partícula orgânica não estruturada e sem contorno nítido definido, sendo desprovida de uma aparência sugestiva da fonte de onde é originada. Apresenta aspecto bastante distinto (grumoso, granular, fibroso).

### 3.3.3. Análise estatística

Os dados estatísticos foram tratados no *software* Tilia 1.7.16 (Grimm, 2011) onde foram gerados gráficos de distribuição da matéria orgânica particulada nas amostras analisadas. Os gráficos representam percentualmente a concentração dos grupos da matéria orgânica pré-estabelecidos em relação a soma total de palinóforos.

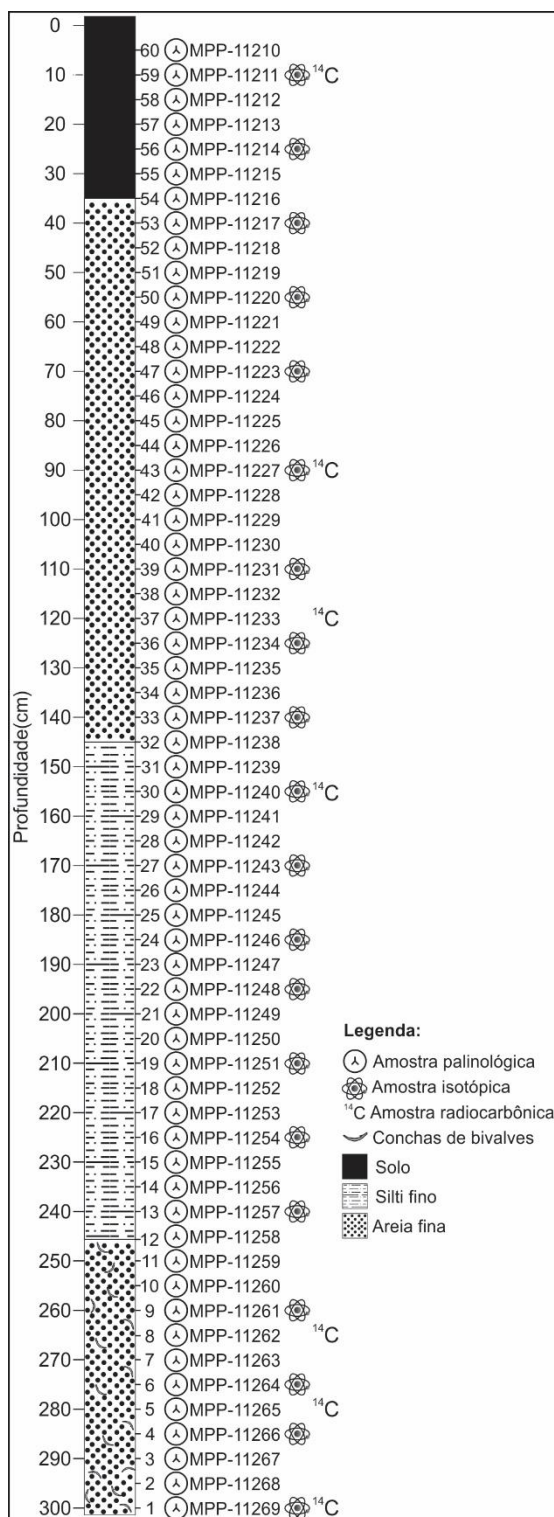
A soma total de palinóforos (100%) inclui táxos terrestres (grãos de pólen, esporos, esporos de fungos, algas dulciaquícolas) e marinhos (cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos). A porcentagem de cada grupo foi calculada a partir de sua frequência em relação à soma total de palinóforos. A análise de agrupamento foi realizada a partir da análise CONISS usando como coeficiente de dissimilitude Edwards & Cavalli-Sforza's distância curta.

### 3.4. Análises isotópicas

Vinte amostras foram selecionadas (Figura 5) e encaminhadas para análise de composição  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N no Laboratório CAIS (Universidade da Geórgia, EUA). A análise combinada desses isótopos permite diferenciar fontes de matéria orgânica que se acumulam em sequências deposicionais costeiras, sendo possível distinguir entre a vegetação  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , algas dulciaquícolas e marinhas. As quantidades isotópicas foram calculadas em relação aos valores *standard* de PDB para  $\delta^{13}\text{C}$  e concentração de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) atmosférico para  $\delta^{15}\text{N}$ , com erro inferior a 0,1‰.

### 3.5. Datações radiocarbônicas

A cronologia do poço PSC-03 é baseada em sete amostras selecionadas (Figura 5) encaminhadas para análises radiocarbônicas no Laboratório CAIS (Universidade da Geórgia, EUA), usando o Acelerador Espectrômetro de Massa (AMS). Para calibração das idades radiocarbônicas foi utilizado o *software* CALIB (*Radiocarbon Calibration 7.1*; Stuiver *et al.*, 2016), balizada pela curva *Southern Hemisphere SHCal13* (Hoog *et al.*, 2013). O modelo de idades por profundidade foi estabelecido através do método de interpolação linear utilizando *software* Tilia 1.7.16 (Grimm, 2011). As idades mencionadas neste trabalho estão em anos calendário antes do presente (cal anos AP) sendo o presente estabelecido como 1950.



**Figura 5.** Perfil estratigráfico do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina mostrando a posição das amostras palinológicas, isotópicas, datações radiocarbônicas, lâminas palinológicas e suas respectivas codificações (MP-P: depositadas na Palinoteca do LPMMT/IG/UFRGS).

## PARTE II – CORPO PRINCIPAL DA TESE

---

Nesta seção são apresentados os três artigos relacionados diretamente ao tema central da tese. Os artigos foram submetidos a periódicos com corpo editorial permanente e revisores independentes. Os trabalhos ainda não publicados são precedidos pela carta de aceite ou de recebimento do Editor do periódico científico.

Constituem a seção: **Artigo 1** - New insights on the systematic classification of certain palynological taxa (Tintinnomorphs) from Holocene deposits of the Coastal Plain of Southern Brazil; **Artigo 2** – Cistos de dinoflagelados do Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina (Poço PSC-03): descrições taxonômicas e implicações paleoambientais; **Artigo 3** – Paleoenvironmental Evolution of a Middle to Late Holocene section from the Coastal Plain of Southern Brazil: Palynofacies and stable isotopes analysis.

**ARTIGO 1: NEW INSIGHTS ON THE SYSTEMATIC CLASSIFICATION OF CERTAIN PALYNOLOGICAL TAXA (TINTINNOMORPHS) FROM HOLOCENE DEPOSITS OF THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL**

*Artigo publicado no periódico Revista Brasileira de Paleontologia 20(3): 321-332, 2017.*

## NEW INSIGHTS ON THE SYSTEMATIC CLASSIFICATION OF CERTAIN PALYNOLOGICAL TAXA (TINTINNOMORPHS) FROM HOLOCENE DEPOSITS OF THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL

WAGNER GUIMARÃES DA SILVA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS, Campus Osório. Rua Santos Dumont,  
 2127, 95.520-000, Osório, RS, Brazil. [wagner.guimaraes.silva@gmail.com](mailto:wagner.guimaraes.silva@gmail.com)

PAULO ALVES DE SOUZA

Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências,  
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.  
[paulo.alves.souza@ufrgs.br](mailto:paulo.alves.souza@ufrgs.br)

ISABEL VAN WAVEREN

Naturalis Biodiversity Center, P. O. Box 9517, RA Leiden, The Netherlands. [isabel.vanwaveren@naturalis.nl](mailto:isabel.vanwaveren@naturalis.nl)

**ABSTRACT** – Tintinnomorphs is a term used for the grouping of palynomorphs resembling organic remains of tintinnids, which are not always identifiable as true lorica, cysts or pouch, being able to correspond to other protozoans and may even represent others structures of distinct organisms, such as rotifers and turbellarians. This paper presents tintinnomorphs recorded in Holocene sediments of the well PSC-03, drilled in the Coastal Plain of Santa Catarina, southern Brazil. A total of six tintinnomorphs types is described and illustrated (SPHERO-1, ELELNO-14, ESABNO-6, HEXANO-2, RECTNO-1, AROBNO-3), some of which are compared with specimens previously reported from Quaternary deposits of southern Brazil, southern South America and other regions of the world. Although tintinnomorphs are associated to marine palynomorphs, they cannot be used as a conclusive paleoenvironmental evidence due to uncertainties about their biological affinity.

**Key words:** tintinnomorphs, tintinnids, Holocene, Coastal Plain of Santa Catarina.

**RESUMO** – Tintinomorfos é um termo usado no agrupamento de palinomorfos assemelhados a restos orgânicos de tintinídeos, os quais nem sempre são passíveis de serem identificados como verdadeiras lóricas, cistos ou bolsas, podendo corresponder a outros protozoários e até representar outras estruturas de organismos distintos, como rotíferos e turbelários. Este trabalho apresenta tintinomorfos registrados em sedimentos do Holoceno do poço PSC-03, perfurado na Planície Costeira de Santa Catarina, sul do Brasil. Um total de seis tipos de tintinomorfos é descrito e ilustrado (SPHERO-1, ELELNO-14, ESABNO-6, HEXANO-2, RECTNO-1, AROBNO-3), alguns dos quais comparados a espécimes previamente registrados em depósitos quaternários do sul do Brasil, sul da América do Sul e outras regiões do mundo. Embora estejam associados a palinomorfos marinhos, tintinomorfos não podem ser utilizados como indicadores paleoambientais conclusivos devido às incertezas sobre sua afinidade biológica.

**Palavras-chaves:** tintinomorfos, tintinídeos, Holoceno, Planície Costeira de Santa Catarina.

### INTRODUCTION

Tintinnids are unicellular, planktonic, heterotrophic, protist organisms of reduced size (20–200  $\mu\text{m}$ ), belonging to the phylum Ciliophora. The cell is always surrounded by a test named lorica, which is secreted by the organism, organic or agglutinated with biogenic and abiogenic particles attached to the wall (Barnes, 1990; Adamonis *et al.*, 2007; Agatha & Strüder-Kypke, 2013). The lorica presents distinct shapes at the intraspecific level, depending on the environmental conditions (*e.g.* temperature, salinity and particle availability) during its construction, thus influencing its size, shape and structure (Agatha & Strüder-Kypke, 2013).

Due to the chemical composition (proteins and polysaccharides) and the agglutinating property of the lorica, tintinnomorpha are a unique suborder of the Ciliophora likely to remain as fossil record (Canudo, 2004; Adamonis *et al.* 2007; Lipps *et al.*, 2013) as only two features make them assignable to the tintinnids: the shape and the composition (Lipps *et al.*, 2013).

Different approaches to the chemical composition (chitin, pseudochitin, cellulose, proteins and polysaccharides) and to the texture (delicate, gelatinous, membranous and firm) of the constitution of organic lorica are verified in the literature (Tappan & Loeblich, 1968; Van Waveren, 1994; Canudo, 2004; Lipps *et al.*, 2013). Recent studies have shown that

many of these unicellular organisms are able to construct several types of lorica, which can lead to classifications into divergent tintinnids families (Agatha & Strüder-Kypke, 2013).

Nevertheless, many loricae and cysts are recovered by palynological processing (Reid & John, 1978; Meckler *et al.*, 2008; Mudie *et al.*, 2010, 2011; Pienkowski *et al.*, 2011, 2013), being classified within the palynomorphs as zoomorphs (Traverse, 1994). In modern marine sediments, a large quantity and variety of tintinnid cysts and loricae is known (Reid, 1975; Reid & John, 1978; Van Waveren, 1994; Van Waveren & Visscher, 1994; Kawamura, 2004; Hardy & Wrenn, 2009; Lipps *et al.*, 2013; Pienkowski *et al.*, 2011, 2013; Matsuoka *et al.*, 2017).

Fossil tintinnids are almost exclusively marine, comprising few described taxa. During the fossilization, diagenetic processes can change the morphological characters of the ciliates specimens, limiting an accurate description. As a result, there are misconceptions in the descriptions and taxonomic assignments of several specimens attributed to the group, and molecular analysis is not adequate for taxonomic assignment of fossil taxa (Lipps *et al.*, 2013).

According to Canudo (2004), the ciliate fossil record is composed almost exclusively by loricae analogue to the tintinnids loricae, some of which belong to other groups. Due to the great difficulty in observing and interpreting the tintinnids fossils, Canudo (2004) defends the creation of a comprehensive term (*e.g.* tintinnoids or tintinnomorphs) to encompass the true tintinnid loricae and similar forms, thus minimizing the mistaken designations.

However, morphological studies on the organic remains attributed to tintinnids are needed. Van Waveren (1994) proposed an informal morphological system, with description and illustration of the cysts, loricae and the pouches in which the cysts were originally encapsulated, as well as considering their ontogenetic stages. As a result, 76 morphological types were presented, grouped under the term “tintinnomorphs”. This term is used to link organic remains found in palynological preparations resembling tintinnids, which are not always identifiable as true lorica, cysts or pouches, being able to correspond to other protozoans and may even represent structures of other distinct organisms, such as rotifers and turbellarians.

Certain specimens resembling tintinnomorphs were recorded from Quaternary deposits of the Brazilian Coastal Plain, especially from Rio Grande do Sul (CPRS) and Santa Catarina (CPSC), described as flatworm eggs (Neves & Bauermann, 2003; Cancelli *et al.*, 2012; Roth & Lorcheister, 2016). Many of them are comparable to some morphological types proposed by Van Waveren (1994).

The palynological analysis of a core sample taken from the Coastal Plain of Santa Catarina revealed the presence of tintinnomorphs at several levels. These were found associated with dinoflagellate cysts, foraminiferal linings, along with terrestrial nature taxa (spores, pollen grains, fungi and freshwater algae). The main goals of this paper are to describe, Brazilian Holocene tintinnomorphs using the Van Waveren (1994) descriptive system; compare them with specimens previously reported for the Quaternary of southern Brazil,

southern South America, and similar forms from other regions of the world; and discuss their environmental significance.

## ECOLOGICAL AND STRATIGRAPHIC CONSIDERATION OF TINTINNIDS

### Ecology

Tintinnids are one of the most important and abundant components of microzooplankton (Tappan & Loeblich, 1968; Tenenbaum & Gomes, 2006). Currently 1,200 species are known, allocated in 75 genera, most of them distributed in marine and brackish environments (Tappan & Loeblich, 1968; Tenenbaum & Gomes, 2006; Adamonis *et al.*, 2007; Lipps *et al.*, 2013). Among them, about 10 species are recorded from freshwater environments (Tappan & Loeblich, 1968; Lipps *et al.*, 2013).

In terms of biogeographical distribution, Dolan & Pierce (2013) compartmentalized them into five biotas: (i) cosmopolitan; (ii) neritic; (iii) warm-water; (iv) boreal; and (v) austral, each biota involving species with distinct morphologies. Although they have a wide geographical distribution, tintinnids are subject to ecological restrictions, which control their abundance and diversity. In cold waters, assemblages are low in diversity and high in abundance, while in tropical waters diversity is higher but cells are smaller and less numerous.

In modern oceans, blooms of tintinnids seem to be strongly seasonally influenced (Armstrong & Brasier, 2005; Dolan & Pierce, 2013). Tintinnids with agglutinated and organic lorica are common in open sea and neritic environments (Lipps *et al.*, 2013). Ecological studies have shown that many species of tintinnids are tolerant to large variations in salinity and water depth. Tintinnid species with agglutinated lorica preferentially inhabit the proximal environments and can serve as a good environmental indicator, suggesting brackish waters or, at least, a proximity to sites of freshwater discharge (Echols & Fowler, 1973).

### Stratigraphy

The stratigraphic record and phylogeny of this group still holds uncertainties and controversies. Possible occurrences of tintinnids in Proterozoic (Li *et al.*, 2009) and Paleozoic (Cuviller & Sacal, 1963) strata have been reported, but as these records were based on fragile evidence, they are questionable (Tappan & Loeblich, 1968; Lipps *et al.*, 2013). Remane (1971) proposed a phylogenetic relationship between tintinnids and calpionellids, due to the morphological similarity between the lorica of these two groups; but this hypothesis cannot be confirmed because no modern species of tintinnid is known to have a carbonate lorica (Lipps *et al.*, 2013). On the other hand, Reid & John (1981) suggested a relationship between tintinnids and chitinozoans, an *incertae sedis* organic microfossil recorded from the Ordovician to the Devonian. Adamonis *et al.* (2007) contested this relationship.

The oldest stratigraphic occurrence of tintinnids is dated to the Jurassic (Rüst, 1885), and based on the recognition and description of agglutinated loricae. According to Lipps

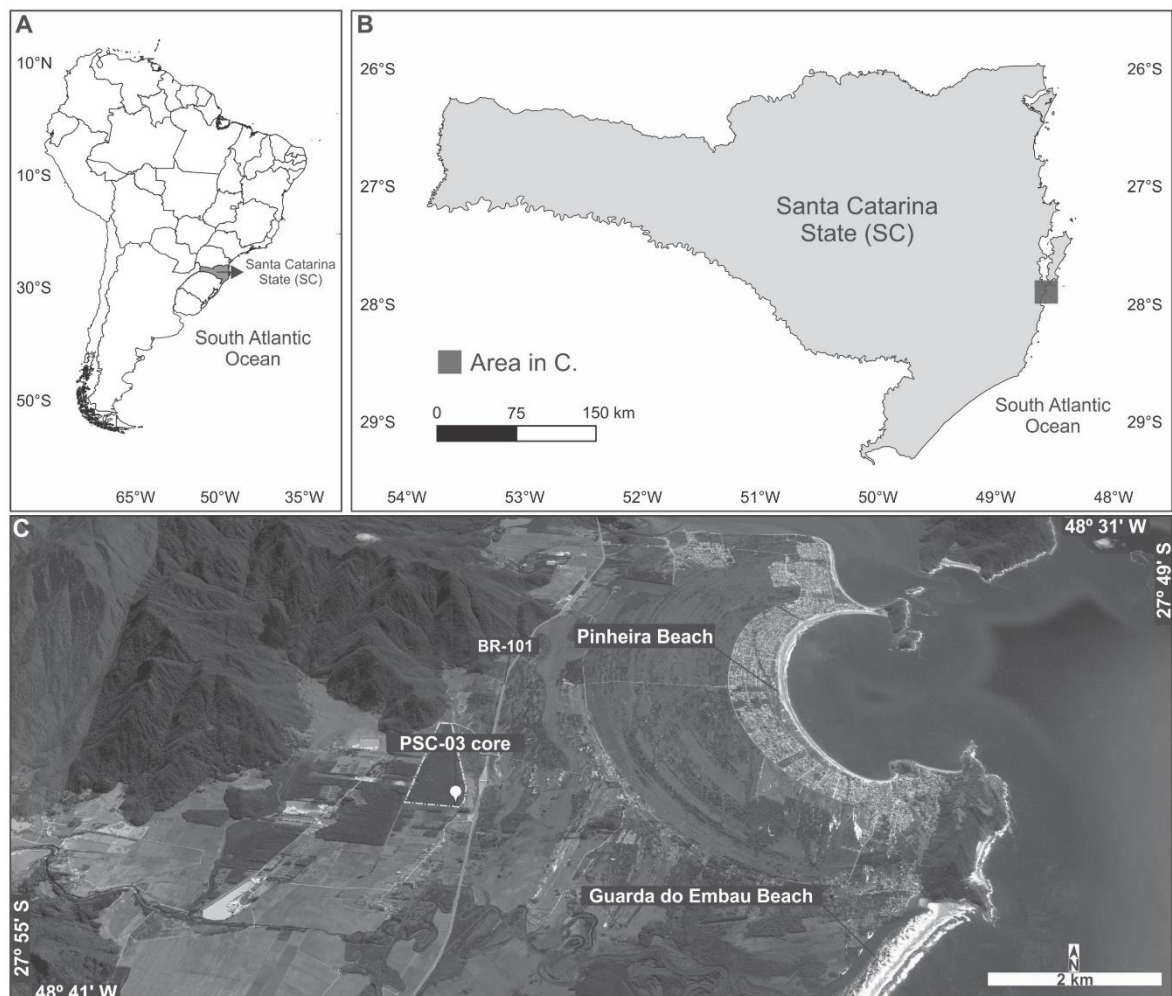


*et al.* (2013), agglutinated loricae are abundant in the shallow, neritic waters of the Cretaceous mid-continental seaway that flooded a central corridor through the center of North America, from the Gulf of Mexico to the Arctic Ocean. There is a gap in the geological record of agglutinated loricae, after the Cretaceous, having been found again in the Upper Pleistocene (Echols & Fowler, 1973; Lipps *et al.*, 2013).

Records of organic walled remains of tintinnids in Pre-Quaternary deposits are scarce. The earliest known occurrences are from the Lower Triassic of Ireland and Israel (Van Waveren, 1994) and the Lower Cretaceous of France (Gorin & Steffen, 1991). Although there are several gaps in the fossil record of this group, tintinnid organic remains are frequent only from Holocene marine deposits (Reid, 1975; Reid & John, 1978; Grill *et al.*, 2002; Roncaglia, 2004; Borromei & Quattrocchio, 2001, 2007; Meckler *et al.*, 2008; Mudie *et al.*, 2010; Pienkowski *et al.*, 2011, 2013), and may aid in understanding recent environmental changes (Grill *et al.*, 2002; Roncaglia, 2004; Borromei & Quattrocchio, 2001, 2007; Meckler *et al.*, 2008; Mudie *et al.*, 2010).

## STUDY AREA

This study was developed from samples collected from a core (PSC-03) carried out along of the BR 101 highway (km 243 – South, Lat. 27°53'22''S; Long. 48°39'04''W), in the Municipality of Palhoça, the State of Santa Catarina (SC), in southern Brazil. This core is located approximately 6 km from the modern coastline (Figure 1). The Municipality of Palhoça is inserted in the Central Sector of the CPSC, which is characterized by a Quaternary lagoon complex, comprising colluvial, alluvial, beach, paludal and eolian deposits (Horn Filho, 2003), mainly of Holocene age. In this sector, the coast presents South-North orientation (Figure 1). The CPSC comprises a series of geomorphological features and depositional facies represented by various sedimentary facies, under marine, transitional and continental influences. These controls are directly related to transgressive and regressive Quaternary sea-level cycles.



**Figure 1.** A–B, geographic localization of the studied core, in Santa Catarina, southern of Brazil. C, satellite image locating the core sample (PSC-03) site on the Coastal Plain of Santa Catarina (adapted from: Google Earth, 2017).

## MATERIAL AND METHODS

The 300 cm long of PSC-03 core consists of fine sand layers, intercalated with silt layers, bearing high organic content (Figure 2). Sixty palynological samples (3 cm<sup>3</sup> each) were selected along the core, spaced 5 cm apart, which were processed at the Marleni Marques Toigo Palynology Laboratory, Department of Paleontology and Stratigraphy, Geosciences Institute, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LPMMT/IG/UFRGS). Laboratorial procedures are according to conventional method described by Wood *et al.* (1996) and following the Dale (1976) proposal, where each sample is treated with cold acids (HCl, HF), without oxidation and acetolysis are applied in order to prevent the loss of more fragile protoperidiniacean cysts. One tablet of *Lycopodium clavatum* was added in each sample to allow calculation of palynomorphs concentration (Stockmarr, 1971). Final residues were obtained by sieving. Slides were mounted using the fraction between 10 and 250 µm. Slides are stored in the LPMMT/IG/UFRGS collection under code "MP-P" (Figure 2).

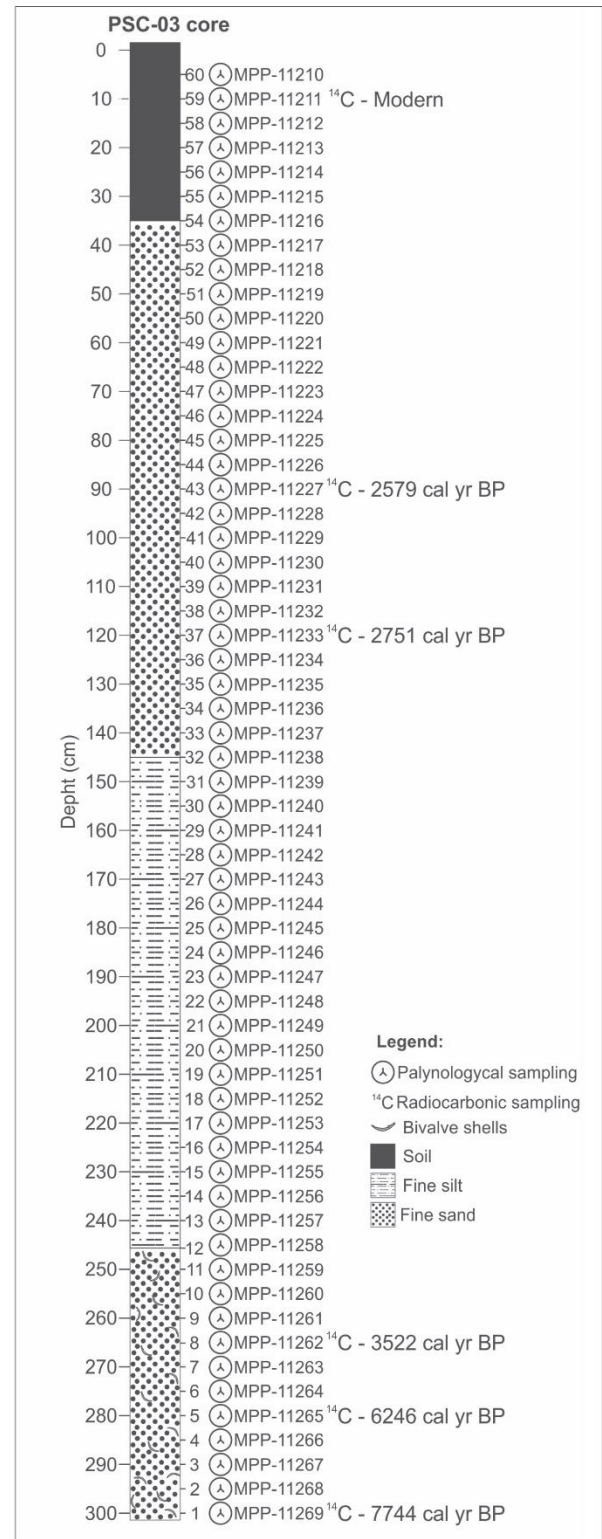
The material was studied and photomicrographs were taken under an Olympus BX61 optical light microscope. For each sample, percentages of the palynomorphs composition (spores, pollen grains, fungi, freshwater algae, dinoflagellate cysts, foraminiferal linings and tintinnomorphs) were calculated from the raw total counts (Table 1). Radiocarbon dating was obtained along the core, which was performed at the CAIS Laboratory (University of Georgia, USA), using Accelerator Mass Spectrometry (AMS). The program CALIB (Radiocarbon Calibration 7.1, Stuiver *et al.*, 2016) was used for the calibration of these datings, considering the SHCal13 radiocarbon calibration curve (Southern Hemisphere, Hoog *et al.*, 2013) (Table 2).

## RESULTS

Most specimens recorded from the PSC-03 core were well preserved, allowing for the use of the descriptive system proposed by Van Waveren (1994). Tintinnomorphs occur in the majority of samples between 275 cm to 175 cm of depth, in varying amounts (1 to 5 %), always subordinated to the other palynological groups (spores-pollen, fungi, freshwater algae, foraminiferal linings, dinoflagellate cysts), except at 245 cm of depth, where they reached 14% of the total palynomorphs (Table 1). Six tintinnomorphs types were recorded; only one or two distinct types are represented per stratigraphic level (where they occur). ESABONO-6 and HEXANO-2 are the most frequent types.

**Analysis of the descriptive system of tintinnomorphs types**

The three main morphological structures of tintinnids are: (i) a lorica; (ii) a pouch attached to the aboral (basal) side of the lorica; (iii) a cyst encapsulated in the pouch (Van Waveren, 1994) (Figure 3A). Ideally, the cyst is encapsulated in the pouch, which in turn is inserted in the aboral portion of the lorica. However, the remains recovered from the palynological slides are dissociated, and are often misinterpreted, generically designated as lorica or cyst.



**Figure 2.** Stratigraphic column of the PSC-03 core, Holocene of the Coastal Plain of Santa Catarina, showing the position of palynological sampling, radiocarbon ages and list of palynological slides and their codification (the abbreviation MP-P concerns the slide collection of the LPMMT/IG/UFRGS).

**Table 1.** Quantification of the palynomorphs recorded in the PCS-3 core (highlighted the levels where tintinnomorphs were found).  
**Abbreviations:** a, counts; %, relative frequencies.

Depth (cm)	Spores		Pollen grains		Fungi		Fresh algae		Dinoflagellate cysts		Foraminiferal linings		Tintinnomorphs		Total palynomorphs
	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	
5	153	58	67	25	44	17	1	0	0	0	0	0	0	0	265
10	144	53	92	34	34	13	0	0	0	0	0	0	0	0	270
15	153	52	108	37	32	11	0	0	0	0	0	0	0	0	293
20	116	32	157	43	74	20	20	5	0	0	0	0	0	0	367
25	103	33	50	16	136	44	23	7	0	0	0	0	0	0	312
30	69	24	22	8	183	63	17	6	0	0	0	0	0	0	291
35	68	22	99	31	133	42	15	5	0	0	0	0	0	0	315
40	40	12	199	61	78	24	8	2	0	0	0	0	0	0	325
45	39	11	246	66	80	22	6	2	0	0	0	0	0	0	371
50	79	21	173	46	118	31	5	1	0	0	0	0	0	0	375
55	81	25	129	39	114	35	5	2	0	0	0	0	0	0	329
60	116	41	96	34	40	14	29	10	0	0	0	0	0	0	281
65	99	41	57	23	41	17	47	19	0	0	0	0	0	0	244
70	103	45	45	19	39	17	44	19	0	0	0	0	0	0	231
75	77	35	51	23	65	30	26	12	0	0	0	0	0	0	219
80	42	14	34	12	208	71	7	2	0	0	0	0	0	0	291
85	82	26	16	5	170	54	44	14	0	0	0	0	0	0	312
90	32	12	10	4	188	69	41	15	0	0	0	0	0	0	271
95	36	25	21	15	58	40	29	20	0	0	0	0	0	0	144
100	26	21	24	19	41	33	34	27	0	0	0	0	0	0	125
105	73	32	34	15	78	34	45	20	0	0	0	0	0	0	230
110	45	29	17	11	64	42	28	18	0	0	0	0	0	0	154
115	24	20	6	5	57	47	34	28	0	0	0	0	0	0	121
120	31	21	14	9	60	41	43	29	0	0	0	0	0	0	148
125	24	16	14	10	39	27	69	47	0	0	0	0	0	0	146
130	30	13	14	6	77	34	107	47	0	0	0	0	0	0	228
135	54	28	32	17	47	25	57	30	0	0	0	0	0	0	190
140	44	27	26	16	63	38	33	20	0	0	0	0	0	0	166
145	69	42	13	8	83	50	0	0	0	0	0	0	0	0	165
150	38	44	15	17	32	37	0	0	1	1	1	1	0	0	87
155	43	59	5	7	19	26	1	1	4	5	1	1	0	0	73
160	46	62	1	1	4	5	0	0	21	28	2	3	0	0	74
165	21	36	5	8	22	37	1	2	8	14	2	3	0	0	59
170	44	54	16	20	5	6	0	0	15	18	2	2	0	0	82
175	55	51	5	5	13	12	2	2	26	24	2	2	5	5	108
180	41	71	3	5	7	12	0	0	3	5	2	3	2	3	58
185	38	40	10	11	5	5	5	5	22	23	10	11	4	4	94
190	19	46	2	5	3	7	0	0	16	39	1	2	0	0	41
195	31	45	5	7	10	14	3	4	15	22	5	7	0	0	69
200	24	44	4	7	11	20	0	0	11	20	2	4	3	5	55
205	96	48	17	8	76	38	1	0	5	2	3	1	3	1	201
210	51	51	14	14	12	12	0	0	16	16	2	2	5	5	100
215	31	52	3	5	5	8	0	0	14	23	6	10	1	2	60
220	24	28	18	21	20	23	1	1	20	23	3	3	0	0	86
225	31	48	8	12	14	22	0	0	5	8	5	8	2	3	65
230	31	58	4	8	8	15	0	0	4	8	4	8	2	4	53

Table 1. Cont.

Depth (cm)	Spores		Pollen grains		Fungi		Fresh algae		Dinoflagellate cysts		Foraminiferal linings		Tintinnomorphs		Total palynomorphs
	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	
235	27	47	2	4	10	18	0	0	14	25	3	5	1	2	57
240	13	52	1	4	4	16	0	0	4	16	3	12	0	0	25
245	17	39	7	16	4	9	0	0	6	14	4	9	6	14	44
250	30	61	7	14	3	6	0	0	3	6	5	10	1	2	49
255	25	44	10	18	7	12	0	0	5	9	10	18	0	0	57
260	17	26	18	27	10	15	1	2	14	21	3	5	3	5	66
265	35	40	21	24	18	20	2	2	4	5	6	7	2	2	88
270	24	32	19	25	9	12	1	1	17	22	5	7	1	1	76
275	15	56	3	11	5	19	0	0	0	0	3	11	1	4	27
280	15	27	12	22	2	4	0	0	23	42	3	5	0	0	55
285	21	36	10	17	11	19	0	0	14	24	2	3	0	0	58
290	11	48	5	22	3	13	0	0	2	9	2	9	0	0	23
295	19	36	7	13	11	21	0	0	14	26	2	4	0	0	53
300	12	32	14	38	10	27	0	0	1	3	0	0	0	0	37

**Table 2.** AMS  $^{14}\text{C}$  and calibrated ages of selected samples (using CALIB 7.1; Stuiver *et al.*, 2016) from the PSC-03 core. \*pMC is the percentage of modern carbon relative to the modern reference, is presented when the analyzed material has more  $^{14}\text{C}$  than the modern reference, this sample is indicating a post bomb (Modern).

Laboratory reference	Depth (cm)	$^{14}\text{C}$ age BP	Age (cal yr BP $2\sigma$ )	Mean calibrated age (cal yr. BP)	Material
UGAMS # 25848	10	100.85±0.30 *pMC	Modern	----	sediment
UGAMS # 26518	90	2520 ± 25	2426 – 2721	2579	wood
UGAMS # 26983	120	2660 ± 20	2723 – 2777	2751	sediment
UGAMS # 26517	265	3340 ± 25	3598 – 3607	3522	sediment
UGAMS # 26982	280	5490 ± 25	6195 – 6299	6246	sediment
UGAMS # 22214	300	6960 ± 30	7676 – 7832	7744	sediment

The descriptive key proposed by Van Waveren (1994) is based on the morphological characterization of tintinnid organs, but the proposed types are designated as tintinnomorphs. Moreover, these features are named with different terms from those used for tintinnids, in order to avoid a direct attribution to the latter. In this way, the six main features are: (i) a corolla enclosing a chamber; (ii) an opening (sometimes with operculum); (iii) a calyx (a hollow appendix); (iv) a stem (a massive appendix); (v) a horn (calyx plus stem) and (vi) a collar (Figure 3B). Variations in shape, surface structure (ornamentation), presence, number and type of stems, opening position, shape and ornamentation of collar are the parameters used in the classification criteria (Figures 3C–K).

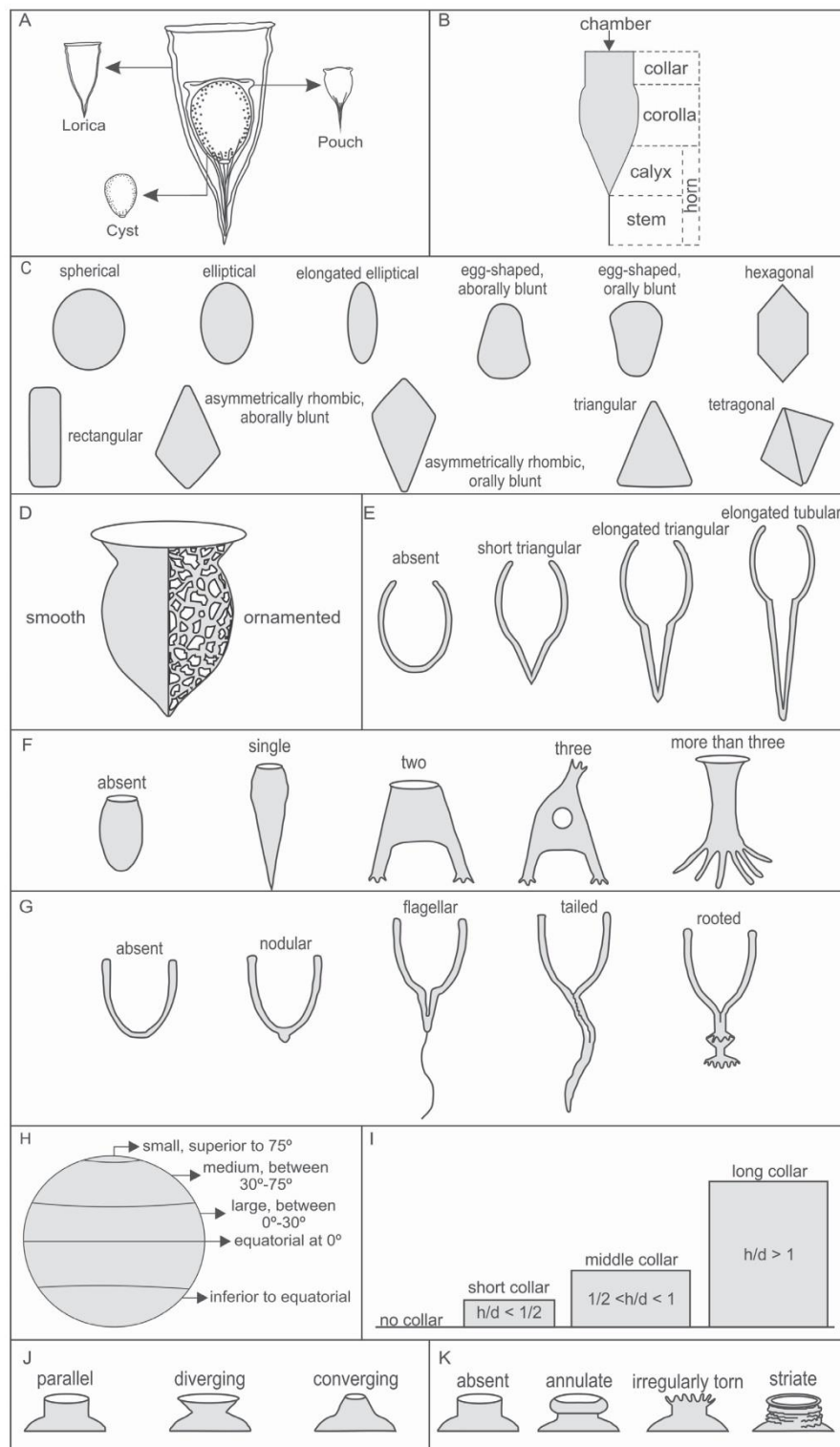
Because the thickness of the wall may reflect the organism's life cycle (Van Waveren, 1994), this characteristic was not used as a classification criterion. Size and color were not used as a classification criterion for tintinnomorphs either. A total of eleven main types of tintinnomorphs can be recognized by means of this description: (1) spherical ("SPHER"); (2) elliptical ("ELLIP"); (3) elongated elliptical

("ELEL"); (4) egg-shape, aborally blunt ("ESAB"); (5) egg-shape, orally blunt ("ESOB"); (6) hexagonal ("HEXA"); (7) rectangular ("RECT"); (8) asymmetrically rhombic, aborally blunt ("ARAB"); (9) asymmetrically rhombic, orally blunt ("AROB"); (10) triangular ("TRIA"); (11) tetragonal ("TETRA").

At the end of each coding, an indication for the presence (O) or the absence (NO) of ornamentation is given, as well as, a final number (1, 2, n...) identifying differences within the morphotypes.

#### SYSTEMATIC AND DESCRIPTION OF TINTINNOMORPHS TYPES

Six tintinnomorphs types were described according to their morphological features. The recognized types are SPHERO-1, ELELNO-14, ESABNO-6, HEXANO-2, RECTNO-1 and AROBNO-3 (Figure 4). Although the size of the tintinnomorphs is not a classification criterion, it is worth mentioning that these specimens presented average measurements of 170  $\mu\text{m}$  in length per 100  $\mu\text{m}$  wide.



**Figure 3.** General framework of classification criteria: **A**, three different categories of organic remains assignable to tintinnids: a lorica, a pouch attached to the aboral (basal) side of the lorica, a cyst encapsulated in the pouch; **B**, main features of tintinnomorphs: a corolla enclosing a chamber, an opening (sometimes with operculum), a calyx (a hollow appendix), a stem (a massive appendix), a horn (calyx plus stem), a collar; **C**, shapes of the corolla of tintinnomorphs; **D**, surface structures of tintinnomorphs; **E**, shapes of the calyx of tintinnomorphs; **F**, presence and number of stems of tintinnomorphs; **G** types of stems of tintinnomorphs; **H** distinct positions of the opening in tintinnomorphs; **I**, collar elongation of tintinnomorphs defined by the ratio between its height and its diameter ( $h/d$ ); **J**, collar shapes of tintinnomorphs; **K**, collar ornamentation of tintinnomorphs. All the figures have been modified from Van Waveren (1994).

SPHERO-1  
(Figure 4A)

**Description.** One specimen: tintinnomorph of spherical shape ornamented, without calyx, without stem, opening large (equatorial), no collar.

**Occurrence.** Depth of 265 cm.

**Comment.** Specimens of tintinnomorph type SPHERO were recorded from modern surface sediments of the Banda Sea, Indonesia (Van Waveren, 1994).

ELELNO-14  
(Figure 4B)

**Description.** One specimen: tintinnomorph elongated with triangular calyx, not ornamented, tailed stem, no collar, opening inferior to equatorial.

**Occurrence.** Depth of 250 cm.

**Comment.** Specimens of tintinnomorph type ELELNO were recorded from modern surface sediments of the Banda Sea, Indonesia (Van Waveren, 1994). Oliveira (2003) reported specimens similar to tintinnomorph type ELELNO, identified as worm eggs, from Pleistocene marine environment of Campos Basin (Brazil). Matsuoka *et al.* (2017) reported specimens assigned to the type ELELNO-13 *sensu* Van Waveren, 1994) from modern marine deposits in Asia.

ESABNO-6  
(Figures 4C–E)

**Description.** Six specimens: tintinnomorph egg-shaped, aborally blunt type, not ornamented, without calyx, without stem, rooted stem, opening medium (between 30°–75°).

**Occurrence.** Depth of 260, 255, 250, 200, 185 and 175 cm.

**Comment.** Specimens of tintinnomorph type ESABNO were recorded from modern surface sediments of the Banda Sea, Indonesia (Van Waveren, 1994). Stancliffe & Matsuoka (1991) reported a specimen similar to tintinnomorph type ESABNO. This specimen was identified as ? *Domasiella* sp. (acritarch), from Holocene marine sediments, off coast of northwestern Kyushu (Japan). Sparica *et al.* (2005) reported specimens similar to tintinnomorph type ESABNO, identified as tintinnid chitinous loricae, from Holocene shallow-marine environment of northern Dalmatia (Croatia).

RECTNO-1  
(Figure 4F)

**Description.** Two specimens: tintinnomorph rectangular type, not ornamented, without calyx, without stem, opening equatorial and no collar.

**Occurrence.** Depth of 225 and 185 cm.

**Comment.** Specimens of tintinnomorph type RECTNO were recorded from modern surface sediments of the Banda Sea, Indonesia (Van Waveren, 1994).

HEXANO-2  
(Figures 4G–H)

**Description.** Six specimens: tintinnomorph hexagonal type, not ornamented, with small calyx, without stem, opening large, no collar.

**Occurrence.** Depth of 275, 235, 215, 210 and 205 cm.

**Comment.** Similar specimens to tintinnomorphs included in type HEXA have been recorded from middle to late Holocene sediments with marine influence of CPRS in Capão do Leão (Neves & Bauermann, 2001, 2003); from Upper Pleistocene to Holocene sediments of Pirataba and Faxinal (Roth & Lorcheister, 2016); from Holocene brackish swamp deposits sediments of CPSC, in São João do Sul (Cancelli *et al.*, 2012), identified as remains of flatworm eggs. Holocene marine sediments from Lapatia Bay (Beagle Channel, Argentina), Borromei & Quatrocchio (2001) found a specimen similar to the tintinnomorph HEXANO-3 (*sensu* Van Waveren, 1994), identified as tintinnid lorica. Mudie *et al.* (2011) recorded specimens related to the tintinnomorph HEXANO-2 from Holocene marine deposits of the Marmara Sea (Turkey), identified as tintinnid lorica or Turbellaria Class worm egg capsule.

AROBNO-3  
(Figure 4I)

**Description.** One specimen: tintinnomorph asymmetrically rhombic, orally blunt, not ornamented, without calyx, without stem, with more than three tail-like stems, opening medium, middle to long diverging collar, no collar ornamentation.

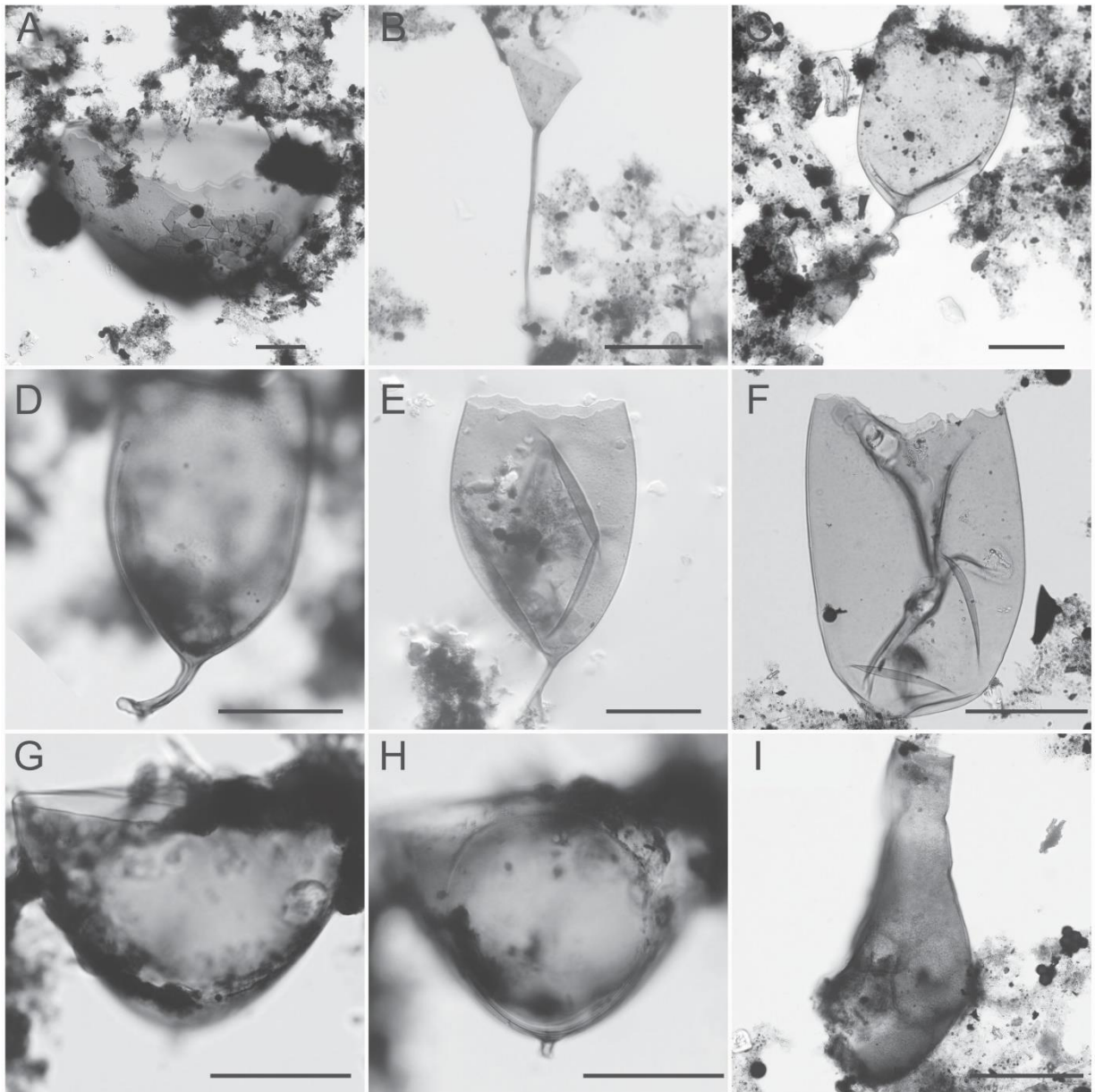
**Occurrence.** Depth of 265 cm.

**Comment.** Similar specimens to tintinnomorphs, included in type AROB, were recorded from marine fine-grained carbonates deposit of the Early Cretaceous (Berriasian) of France (Gorin & Steffen, 1991), identified as tintinnids (*sensu* Reid & John, 1981) or single chamber foraminiferal linings (*sensu* Stancliffe, 1989).

#### TINTINNOMORPHS: ENVIRONMENTAL SIGNATURE

In modern marine sediments, tintinnomorphs always are subordinated to others marine palynomorphs (dinoflagellate cysts, acritarchs, foraminifera linings and copepod eggs) (Kawamura, 2004; Hardy & Wrenn, 2009; Matsuoka *et al.*, 2017). Kawamura (2004) suggests that the concentration of the tintinnomorphs in sediments is inversely correlated to the depth of the water column.

Tintinnomorphs were found as an accessory element of the zooplankton component of palynomorph association from the outer shelf to lower continental slope of the Sunda Shelf, South China Sea. The tintinnomorphs were recorded in all sites of transect, but presented better concentrations from the inner shelf and slope palynological assemblage (Kawamura, 2004). The occurrences of tintinnomorphs in slope assemblages suggest a mixed signal of estuary high productivity species and oceanic low productivity species. This mixed signal is resulting by transport processes of the circulation of seafloor bottoms (Kawamura, 2004).



**Figure 4.** Photomicrographs of tintinnomorphs recorded from the PSC-03 core. **A**, SPHERO-1 (slide MPP: 11262, England Finder: K35); **B**, ELELNO-14 (11258, T46); **C–E**, ESABNO-6 (11245, G45-4), (11244, C57-4), (11249, W31-4); **F**, RECTNO-1 (11246, B52); **G–H**, HEXANO-2 (11251, D35-2); **I**, AROBNO-3 (11262, E37-2). Scale bars = 50  $\mu$ m.

Preservation of tintinnomorphs in sediments may be related to the combined effect of high productivity and high sedimentation rates in the depositional site (Van Waveren, 1994; Van Waveren & Visscher, 1994). Hardy & Wrenn (2009) studying the palynomorph distribution in modern deltaic and shelf sediments of the Mahakam delta (Borneo), recorded a low quantity and variety of tintinnomorphs, however this low concentration was also verified in dinoflagellate cysts.

In palynological assemblages in South America, where they were reported, paleoenvironmental interpretations are implying marginal marine conditions with high input

of continental organic matter (Grill *et al.*, 2002; Borromei & Quattrocchio, 2001, 2007). According to Roncaglia (2004), the increase of tintinnid loricae, dinoflagellate cysts concentration, planktonic crustacean eggs as well as structured brown phytoclasts, plant tissue and sporomorphs from Holocene sediments of the Skálafjord (Faroe Islands) were related to the increase of primary productivity in the waters of the fjord. For Mudie *et al.* (2010, 2011), in restricted marine basins, such as Black and Caspian Sea, the literature on living equivalents of the tintinnids suggests that nutrients are probably more important than salinity for the blooms.

During a combined optical and biomarker analysis of Holocene sediments of the Gulf of Mexico, Meckler *et al.* (2008) identified tintinnid loricae in excellent state of preservation, associated with chitinous crustacean remains and dinoflagellate cysts. In this case, the alternation of levels with marine palynomorphs (tintinnid loricae, crustacean remains and dinoflagellate cysts) with those ones of terrestrial palynomorphs (pollen grains and spores) was resulting from the interference of climatic and ecological oscillations.

#### FINAL REMARKS

The tintinnomorphs recorded in the PSC-03 core are associated with terrestrial (spores, pollen grains, fungi and freshwater algae) and marine (dinoflagellate cyst, foraminifera linings) palynomorphs. They become absent from levels where marine palynomorphs show a tendency of scarcity or are absent (Table 1).

Samples from the PSC-03 core where tintinnomorphs occur also bear dinoflagellate cysts of the genera *Brigantedinium*, *Lejeunecysta*, *Operculodinium*, *Spiniferites*, *Selenopemphix* besides foraminifera linings. All these taxa are reliable indicators of marine conditions, suggesting that the depositional site area was influenced by marine water.

The inference of marine incursion over Coastal Plains is supported by other studies on the coastal plain of Santa Catarina (Behling & Negrelli, 2001; Amaral *et al.*, 2012; Angulo *et al.*, 2006; Kuhn *et al.*, 2017), as well as in Coastal Plain of Rio Grande do Sul (Lorscheitter & Dillenburg, 1998; Meyer *et al.*, 2005; Medeanic *et al.*, 2009). Similarly, the Coastal Plain of the South Atlantic margin of South America offers further environmental proxies (Martínez & Rojas, 2013; Mourelle *et al.*, 2015; Candel & Borromei, 2016).

The scarcity of systematic studies on tintinnomorphs as well as the uncertainties on their biological affinity impairs the use of this organic-walled microfossil for paleoenvironmental interpretations; the analysis considering the total fossil association can elucidate this issue. The morphological system proposed by Van Waveren (1994) has proved to be effective in the initial characterization of these fossil organic structures, since it allows their characterization in an artificial grouping. This bars the controversial classification of palynomorphs as lorica, cyst or pouch that has been observed in previous studies.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the basic research project funding; the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS, proc. 1012119) for complementary funding; the support of the Instituto Federal do Rio Grande do Sul, through its Human Resources Training Program (IFRS proc. 233670022072015-50); and R. B. Braga for reviewing this manuscript and figures; editor M.J. Garcia and anonymous reviewers for revision, suggestions and comments the manuscript. This paper is an integral part of the doctoral thesis of the first author.

#### REFERENCES

- Adamonis, S.; Concheyro, A. & Alder, V. 2007. Protistas autótrofos y heterótrofos: silicoflagelados, ebridianos y tintinídeos. In: H.H. Camacho & M.I. Longobucco (eds.) *Los Invertebrados Fósiles Tomo I*, Fundación de Historia Natural Félix de Azara, p. 133–145.
- Agatha, S. & Strüder-Kypke, M.C. 2013. Systematics and evolution of tintinnid ciliates. In: J.R. Dolan; J.S.M. David; S. Agatha; D.C. Wayne & K.S. Diane (eds.) *The biology and ecology of tintinnid ciliates: models for marine plankton*, John Wiley & Sons, p. 42–84. doi:10.1002/9781118358092.ch3
- Amaral, P.G.C.; Giannini, P.C.F.; Sylvestre, F. & Pessenda, L.C.R. 2012. Paleoenvironmental reconstruction of a Late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multi-proxy analysis. *Journal of Quaternary Science*, 27:181–191. doi:10.1002/jqs.1531
- Angulo, R.J.; Lessa, G.C. & Souza, M.C. 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25:486–506. doi:10.1016/j.quascirev.2005.03.008
- Armstrong, H.A. & Brasier, M.D. 2005. *Microfossils*. 2<sup>a</sup> ed. Oxford, Blackwell, 296 p.
- Barnes, R.D. 1990. *Zoologia dos invertebrados*. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo, Roca, 1179 p.
- 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. doi:10.1006/qres.2001.2264
- Borromei, A.M. & Quattrocchio, M. 2001. Palynological study of Holocene marine sediments from Bahia Lapataia, Beagle channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 33:61–70.
- Borromei, A.M. & Quattrocchio, M. 2007. Holocene sea-level changes inferred from palynological data in the Beagle channel, Southern Tierra del Fuego, Argentina. *Ameghiniana*, 44:161–171.
- Cancelli, R.R.; Souza, P.A. & Neves, P.C.P. 2012. Fungos, criptógamas e outros palinómorfs holocênicos (7908±30 anos AP-actual) da Planície Costeira sul-catarinense, Brasil. *Acta Botanica Brasílica*, 26:20–37. doi:10.1590/S0102-33062012000100004
- Candel, M.S. & Borromei, A.M. 2016. Review of the paleoenvironmental reconstruction of Late Quaternary marine sequences, Tierra Del Fuego (Argentina) In: M. Martínez & D. Olivera (eds.) *Palinología del Meso-Cenozoico de Argentina*, Buenos Aires, Asociación Paleontológica Argentina, p. 184–201 (Publicación Electrónica 16) doi:10.5710/PEAPA.16.08.2016.112
- Canudo, J.I. 2004. Tintinídeos. In: E. Molina (ed.) *Micropaleotología*, Prensas Universitarias de Zaragoza, 293 p.
- Cuvillier, J. & Sacal, V. 1963. Presence de tintinnoidiens dans le Devoinian Supérieur du Sahara septentrional. *Revue de Micropaleontologie*, 6:73–75.
- Dale, B. 1976. Cyst formation, sedimentation and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trondheimsfjord, Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 22:39–60. doi:10.1016/0034-6667(76)90010-5
- Dolan, R.D. & Pierce, R.W. 2013. Diversity and distributions of tintinnids. In: J.R. Dolan; J.S.M. David; S. Agatha; D.C. Wayne & K.S. Diane (eds.) *The biology and ecology of tintinnid ciliates: models for marine plankton*, John Wiley & Sons, p. 214–243. doi:10.1002/9781118358092.ch10



- Echols, R.J. & Fowler, G.A. 1973. Agglutinated tintinnid loricae from some Recent and Late Pleistocene shelf sediments. *Micropaleontology*, **19**:431–443. doi:10.2307/1484906
- Gorin, G.E. & Steffen, D. 1991. Organic facies as a tool for recording eustatic variations in marine fine-grained carbonates example of the Berriasian stratotype at Berrias (Ardèche, SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **85**:303–320. doi:10.1016/0031-0182(91)90164-M
- Grill, S.; Borromei, A.M.; Quattrocchio, M.; Coronato, A.; Bujalesky, G. & Rabassa, J. 2002. Palynological and sedimentological analysis of recente sediments from Rio Varela, Beagle channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, **34**:145–161.
- Hardy, M.J. & Wrenn, J.H. 2009. Palynomorph distribution, deltaic and shelf sediments, Mahakam delta, Borneo, Indonesia. *Palynology*, **33**:19–42. doi:10.2113/gspalynol.33.2.19
- Hogg, A.G.; Hua, Q.; Blackwell, P.G.; Niu, M.; Buck, C.E.; Guilderson, T.P.; Heaton, T.J.; Palmer, J.G.; Reimer, P.J.; Reimer, R.W.; Turney, C.S.M. & Zimmerman, S.R.H. 2013. SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, **55**:1889–1903. doi:10.2458/azu\_js\_rc.55.16783
- Horn Filho, N.O. 2003. Setorização da província costeira de Santa Catarina, em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, **37**:45–78.
- Kawamura, H. 2004. Dinoflagellate cyst distribution along a shelf to slope transect of an oligotrophic tropical sea (Sunda Shelf, South China Sea). *Phycological Research*, **52**:355–375. doi:10.1111/j.1440-183.2004.00362.x
- Kuhn, L.A.; Souza, P.A.; Cancelli, R.R.; Silva, W.G. & Macedo, R.B. 2017. Paleoenvironmental evolution of the coastal plain of southern Brazil: palynological data from a Holocene core in Santa Catarina state. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **89**:2581–2595. doi:10.1590/0001-3765201720160895
- Li, Y.X.; Zhang, S.X. & Zhang, J. 2009. Mesoproterozoic calymnian tintinnids from central China. *The Open Paleontology Journal*, **2**:10–13. doi:10.2174/1874425700902010010
- Lipps, J.H.; Stoeck, T. & Dunthorn, M. 2013. Fossil tintinnids. In: J.R. Dolan; J.S.M. David; S. Agatha; D.C. Wayne & K.S. Diane (eds.) *The biology and ecology of tintinnid ciliates: models for marine plankton*, John Wiley & Sons, p. 186–197. doi:10.1002/9781118358092.ch8
- Lorscheitter, M.L. & Dillenburger, S.R. 1998. Holocene paleoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, **11**:73–97.
- Martínez, S. & Rojas, A. 2013. Relative sea level during the Holocene in Uruguay. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **374**:123–131. doi:10.1016/j.palaeo.2013.01.010
- Matsuoka, K.; Yurimoto, T.; Chong, V.C. & Man, A. 2017. Marine palynomorphs dominated, by heterotrophic organism remains in tropical coastal shallow-water sediment; the case of Selangor coast and the estuary of the Manjung river in Malaysia. *Paleontological Research*, **21**:14–26. doi:10.2517/2016PR006
- Meckler, A.N.; Schubert, C.J.; Hochuli, P.A.; Plessen, B.; Birgel, D.; Flower, B.P.; Hinrichs, K.U. & Haug, G.H. 2008. Glacial to Holocene terrigenous organic matter input to sediments from Orca Basin, Gulf of Mexico – A combined optical and biomarker approach. *Earth and Planetary Science Letters*, **272**:251–263. doi:10.1016/j.epsl.2008.04.046
- Medeanic, S.; Torgan, L.C.; Clerot, L.C.P. & Santos, C.B. 2009. Holocene marine transgression in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil: palynomorph and diatom evidence. *Journal of Coastal Research*, **25**:224–233. doi:10.2112/07-0935.1
- Meyer, K.E.B.; Mendonça Filho, J.G.; Ashraf, A.R.; Souza, P.A. & Reichart, K. 2005. Análise de palinofácies em sedimentos holocênicos da Lagoa dos Quadros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **8**:57–72.
- Mourelle, D.; Prieto, A.R.; Pérez, L.; García-Rodríguez, F. & Borel, M.C. 2015. Mid and late Holocene multiproxy analysis of environmental changes linked to sea-level fluctuation and climate variability of the Río de la Plata estuary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **421**:75–88. doi:10.1016/j.palaeo.2015.01.006
- Mudie, P.J.; Leroy, S.A.G.; Marret, F.; Gerasimenko, N.P.; Kholeif, S.E.A.; Sapelko, T. & Filipova-Marinova, M. 2011. Nonpollen palynomorphs: indicators of salinity and environmental change in the Caspian–Black Sea–Mediterranean corridor. In: I.V. Buynevich; V. Yanko-Hombach; A.S. Gilbert & R.E. Martin (eds.) *Geology and geoarchaeology of the Black Sea region: beyond the flood hypothesis*, Bolder, Geological Society of America, p. 89–115 (Special Paper 473). doi:10.1130/2011.2473(07)
- Mudie, P.J.; Marret, F.; Rochon, A. & Aksu, A.E. 2010. Non-pollen palynomorphs in the Black Sea corridor. *Vegetation History and Archaeobotany*, **19**:531–544. doi:10.1007/s00334-010-0268-9
- Neves, P.C.P. & Bauermann, S.G. 2001. Feições de uma mata de restinga em Capão do Leão, planície costeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas, Série Botânica*, **51**:73–86.
- Neves, P.C.P. & Bauermann, S.G. 2003. Catálogo palinológico de coberturas quaternárias do estado do Rio Grande do Sul (Guaíba e Capão do Leão), Brasil. Descrições taxonômicas Parte - I: fungos, algas, palinómorfs outros e fragmentos de invertebrados. *Pesquisas, Série Botânica*, **53**:121–149.
- Oliveira, A.D. 2003. *Reconstrução paleoambiental com base nas assembleias de dinoflagelados presentes nos sedimentos do Holoceno e Pleistoceno do talude continental brasileiro da Bacia de Campos, RJ-Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação Mestrado, 198 p.
- Pienkowski, A.J.; Marret, F.; Scourse, J.D. & Thomas, D.N. 2013. Organic-walled microfossils from the north-west Weddell Sea, Antarctica: records from surface sediments after the collapse of the Larsen-A and Prince Gustav Channel ice shelves. *Antarctic Science*, **25**:565–574. doi:10.1017/S0954102012001186
- Pienkowski, A.J.; Mudie, P.J.; England, J.H.; Smith, J.N. & Furze, M.F. 2011. Late Holocene environmental conditions in Coronation Gulf, southwestern Canadian Arctic Archipelago: evidence from dinoflagellate cysts, other non-pollen palynomorphs, and pollen. *Journal of Quaternary Science*, **26**:839–853. doi:10.1002/jqs.1503
- Reid, P.C. 1975. A regional sub-division of dinoflagellate cysts around the British Isles. *New Phytologist*, **75**:589–603. doi:10.1111/j.1469-8137.1975.tb01425.x
- Reid, P.C. & John, A.W.G. 1978. Tintinnid cysts. *Marine Biological Association of the United Kingdom*, **58**:551–557. doi:10.1017/S0025315400041205
- Reid, P.C. & John, A.W.G. 1981. A possible relationship between chitinozoa and tintinnids. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **34**:251–262. doi:10.1016/0034-6667(81)90043-9
- Remane, J. 1971. Les Calpionelles Protozoaires planctoniques des mers mésogéennes de l'époque secondaire. *Annales Guebhard Neuchatel*, **47**:370–393.

- Roncaglia, L. 2004. Palynofacies analysis and organic-walled dinoflagellate cysts as indicators of palaeo-hydrographic changes: an example from Holocene sediments in Skálafjörd, Faroe Islands. *Marine Micropaleontology*, **50**:21–42. doi:10.1016/S0377-8398(03)00065-3
- Roth, L. & Lorscheitter, M.L. 2016. Fungi, algae, and other palynomorphs in sedimentary profiles collected from two forests in the northernmost coastal plain from Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Brazilian Journal of Botany* **34**:1135–1143. doi:10.1007/s40415-016-0326-3
- Rüst, D. 1885. Beiträge zur Kenntniss der fossilen Radiolieren aus Gesteinen de Jura. *Palaeontographica*, **11**:273–321.
- Sparica, M.; Koch, G.; Belak, M.; Miko, S.; Sparica-Miko, M.; Vilicic, D.; Dolenc, T.; Bergant, S.; Lojen, S.; Vreca, P.; Dolenc, M.; Ogrinc, N. & Ibrahimasic, H. 2005. Recent sediments of Makirina Cove (Northern Dalmatia, Croatia): their origin viewed through a multidisciplinary approach. *Geologia Croatica*, **58**:21–72.
- Stancliffe, R.P.W. 1989. Microforaminiferal linings: their classification, biostratigraphy and paleoecology, with special reference to specimens from British Oxfordian sediments. *Micropaleontology*, **35**:337–352. doi:10.2307/1485676
- Stancliffe, R.P.W. & Matsuoka, K. 1991. Marine palynomorphs found in Holocene sediments of the coast of northwestern Kyushu, Japan. *Bulletin Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University (Natural Science)*, **31**:661–681.
- Stockmarr, J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, **13**:615–621.
- Stuiver, M.; Reimer, P.J. & Reimer, R.W. 2016. *CALIB 7.1*. Available at <http://calib.org/calib/calib.html>; accessed on 12/12/2017.
- Tappan, H. & Loeblich, A.R.J.R. 1968. Lorica composition of modern and fossil tintinida (ciliate Protozoa), systematic, geologic distribution and some new tertiary taxa. *Journal of Paleontology*, **42**:1378–1394.
- Tenenbaum, D.R. & Gomes, E.A.T. 2006. *Dinoflagelados e Tintinídeos da região central da Zona Econômica Exclusiva Brasileira: guia de identificação*. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 288 p.
- Traverse, A. 1994. Sedimentation of palynomorphs and palynodebris: an introduction. In: A. Traverse (ed.) *Sedimentation of organic particles*, Cambridge University Press, p. 1–8.
- Van Waveren, I.M. 1994. Tintinnomorphs from deep-sea sediments of the Banda Sea (Indonesia). *Scripta Geologica*, **105**:27–51.
- Van Waveren, I.M. & Visscher, H. 1994. Analysis of the composition and selective preservation of organic matter in surficial deep-sea sediments from a high-productivity area (Banda Sea, Indonesia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **112**:85–111. doi:10.1016/0031-0182(94)90135-X
- Wood, G.D.; Gabriel, A.M. & Lawson, J.C. 1996. Palynological techniques-processing and microscopy. In: J. Jansonius & D.C. McGregor (eds.) *Palynology: principles and applications*, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 29–50.

Received in March, 2017; accepted in December, 2017.

**ARTIGO 2: CISTOS DE DINOFLAGELADOS DO HOLOCENO DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SANTA CATARINA (POÇO PSC-03): DESCRIÇÕES TAXONÔMICAS E IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS:**

*Artigo submetido ao periódico Geociências.*

Wagner Guimarães da Silva <[wagner.guimaraes.silva@gmail.com](mailto:wagner.guimaraes.silva@gmail.com)>

---

**[Geociencias] Agradecimento pela Submissão**

1 mensagem

**Prof. Dr. Norberto Morales** <[revigeoc@rc.unesp.br](mailto:revigeoc@rc.unesp.br)>

25 de julho de 2017 12:05

Para: "Sr. Wagner Guimarães da Silva" <[wagner.guimaraes.silva@gmail.com](mailto:wagner.guimaraes.silva@gmail.com)>

Sr. Wagner Guimarães da Silva,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "CISTOS DE DINOFLAGELADOS DO HOLOCENO DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SANTA CATARINA (POÇO PSC-03): DESCRIÇÕES TAXONÔMICAS E IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS" para Geosciences = Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/author/submission/12563>Login: [wagner\\_g\\_silva](#)

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Prof. Dr. Norberto Morales  
Geosciences = Geociências

---

Geosciences = Geociências<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias>

**CISTOS DE DINOFLAGELADOS DO HOLOCENO DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SANTA CATARINA (POÇO PSC-03): DESCRIÇÕES TAXONÔMICAS E IMPLICAÇÕES**

**PALEOAMBIENTAIS**

**INTRODUÇÃO  
ÁREA DE ESTUDO  
MATERIAIS E MÉTODOS  
RESULTADOS**

**IDADES RADIOCARBÔNICAS**

**CONTEÚDO MICROPALÉONTOLOGICO**

**DESCRIÇÃO TAXONÔMICA (CISTOS DE DINOFLAGELADOS)**

**DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

**CONSIDERAÇÕES PALEOAMBIENTAIS**

**O REGISTRO DE CISTOS DE DINOFLAGELADOS EM SEDIMENTOS HOLOCENOS DA ZONA COSTEIRA SUL DO BRASIL**

**CONCLUSÕES  
AGRADECIMENTOS  
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**RESUMO:**

Estudos palinológicos de detalhe abordando cistos de dinoflagelados quaternários de depósitos sedimentares brasileiros são relativamente escassos. A análise palinológica de sedimentos do Holoceno do poço PSC-03 (27°53'22"S; 48°39'04" W) perfurado na Planície Costeira de Santa Catarina, sul do Brasil, revelou associações palinológicas abundantes e diversificadas que incluem palinomorfos terrestres (esporos, grãos de pólen, fungos, algas de água doce) e marinhos (cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos). A não exposição das amostras a métodos agressivos, tais como oxidação e acetólise, durante o processamento laboratorial permitiu a recuperação de cistos da Família Protoperidiniaceae. Três gêneros (*Brigantedinium*, *Lejeunecysta*, *Spiniferites*.) e quatro espécies (*Brigantedinium simplex*, *Selenopemphix nephroides*, *S. quanta*, *Operculodinium centrocarpum*) de cistos de dinoflagelados são descritos e ilustrados aqui, constituindo uma das associações fósseis mais diversificadas do grupo para o Holoceno brasileiro. A associação de cistos de dinoflagelados sugere ambiente marinho marginal, com águas superficiais susceptíveis a variação de salinidade e alta concentração de nutrientes.

**Palavras-chaves:** cistos de dinoflagelados, Holoceno, Planície Costeira de Santa Catarina.

## ABSTRACT:

Detailed palynological studies on dinoflagellate cysts from Brazilian Quaternary deposits are relatively scarce. The palynological analysis performed from Holocene sediment of the core PSC-03 (27°53'22"S; 48°39'04" W), drilled on the Coastal Plain of Santa Catarina, southern Brazil, revealed diverse and abundant palynological associations, including terrestrial (spores, pollen grains, fungi, freshwater algae) and marine (dinoflagellate cysts and foraminiferal linings) palynomorphs. The non-exposure of the samples to aggressive techniques, such as oxidation and acetolysis, during the laboratorial processing allowed the recovery of cysts from the family Protoperidiniaceae. Three genera (*Brigantedinium*, *Lejeunecysta*, *Spiniferites*) and four species (*Brigantedinium simplex*, *Selenopemphix nephroides*, *S. quanta*, *Operculodinium centrocarpum*) of dinoflagellate cysts are described and illustrated herein, constituting one of the most diverse fossil associations of the group for the Brazilian Holocene. The dinoflagellate cysts association suggest marginal marine environments, with susceptible to salinity variation and high concentration of nutrients in the surface waters.

**Key words:** dinoflagellate cysts, Holocene, Coastal Plain of Santa Catarina.

## INTRODUÇÃO

A zona costeira do Brasil, assim como as demais áreas litorâneas mundiais, foi afetada pelas variações do nível do mar durante o Quaternário. Diversas investigações, ao longo do litoral brasileiro, constataram a existência de distintos conjuntos de fácies sedimentares, descontínuas no tempo e no espaço, resultantes do deslocamento dos processos e dos ambientes de sedimentação (e.g. Kowsmann *et al.*, 1977; Suguio *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1993, 2003; Villwock & Tomazalli, 1995; Corrêa & Villwock, 1996; Corrêa *et al.*, 1996).

Trabalhos de cunho palinológico foram desenvolvidos em diferentes setores da costa brasileira com o objetivo de reconstruir a vegetação, o clima e as condições ambientais relacionadas às flutuações do nível do mar (e.g. Lorscheitter & Romero, 1985; Behling, 1996; Behling & Negrelle, 2001; Ybert *et al.*, 2001; Amaral *et al.*, 2006, 2012; Cancelli, 2012; Lorente *et al.*, 2014). Entretanto, a maioria dessas análises privilegiam os palinómorfos terrestres (grãos de pólen e esporos), com pouco aprofundamento taxonômico e de análise dos representantes marinhos (cistos de dinoflagelados, acritarcos, palinoforaminíferos, ovos de copépodes). Contribuições enfocando cistos de dinoflagelados e suas aplicações nas interpretações das mudanças ambientais no

Quaternário brasileiro são conhecidas para a Bacia de Campos, embora ainda inéditas (Oliveira, 2003, 2011; Noronha, 2011; Souza, 2012).

Com relação aos cistos de dinoflagelados, sua abundância e distribuição estão diretamente relacionadas à produção primária e às condições físico-químicas da água de superfície, na zona fótica dos mares e oceanos (Prauss, 2000; de Vernal & Marret, 2007; de Vernal *et al.*, 2013). Segundo de Vernal & Giroux (1991), cistos de dinoflagelados associados a grãos de pólen, esporos e outros microfósseis de parede orgânica podem ser utilizados como excelentes descritores para quantificar e qualificar o influxo de matéria orgânica nos depósitos sedimentares. Além disso, podem ser aplicados no estabelecimento de diferentes parâmetros d'água do mar, tais como salinidade, disponibilidade de nutrientes, produtividade primária, profundidade da coluna d'água e alterações das correntes marinhas (Wall *et al.*, 1977; Edwards & Andrie, 1992; Dale, 1996, 2009; Mudie & Harland, 1996; Rochon *et al.*, 1999; Marret & Zonneveld, 2003; Matthiessen *et al.*, 2005; Radi & de Vernal, 2008; Zonneveld *et al.*, 2013).

O objetivo deste trabalho é apresentar os cistos de dinoflagelados identificados no poço PSC-03 no setor central do litoral de Santa Catarina, sul do Brasil, com descrições, bem como suas implicações paleoecológicas e paleoambientais. Além disso, são apresentadas ocorrências quaternárias conhecidas do sul do Brasil, na tentativa de elucidar as causas da recuperação de associações de palinórfos geralmente com pouca diversidade e quantidade de cistos de dinoflagelados.

## ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido a partir de amostras coletadas ao longo do poço PSC-03 perfurado no interior de uma mata à margem da rodovia BR 101 (km 243 - Sul, coordenadas 27°53'22"S; 48°39'04" W), município de Palhoça, estado de Santa Catarina, sul do Brasil, distante cerca de 6 km da linha de costa atual (Figura 1). A Planície Costeira de Santa Catarina (PCSC) compreende uma série de feições geomorfológicas e sistemas representados por depósitos sedimentares formados sob influência marinha, transicional e continental, diretamente relacionados às variações relativas do nível do mar durante o Quaternário. O município de Palhoça está inserido no Setor Central da PCSC, o qual é caracterizado por um complexo lagunar, composto por depósitos coluviais, aluviais, paludais e eólicos holocênicos (Horn Filho, 2003).

**Inserir Figura 1**

## MATERIAIS E MÉTODOS

O poço PSC-03 atingiu uma profundidade de 300 cm, é constituído por níveis de areia fina, intercalados com silte, com grande teor de matéria orgânica. Sessenta amostras com 3 cm<sup>3</sup> cada, espaçadas a cada 5 cm entre si, foram extraídas para análise palinológica (Figura 2), processadas no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LPMMT/UFRGS), conforme metodologia de Wood *et al.* (1996), incluindo particularidades propostas por Dale (1976). As amostras foram tratadas com ácidos (clorídrico e fluorídrico) a frio, não sendo submetidas a processos oxidativos ou acetólise, visando a preservação de cistos de dinoflagelados da Família Protoperidiniaceae. Em cada amostra foi adicionada uma pastilha de *Lycopodium clavatum* (Stockmarr, 1971) para fim de análise de concentração. Após a etapa de digestão ácida, o material resultante foi peneirado para concentração do resíduo palinológico entre 10 µm e 250 µm. Como resultado, uma lâmina foi confeccionada por amostra, as quais estão depositadas na Palinoteca do LPMMT/UFRGS, sob codificação MP-P (Figura 2).

### Inserir Figura 2

Idades radiocarbônicas foram obtidas ao longo do poço, a partir de amostras selecionadas e analisadas no Laboratório CAIS (Universidade da Georgia, EUA), usando o Acelerador Espectrômetro de Massa (AMS). Para calibração das idades radiocarbônicas foi utilizado o *software* CALIB (*RadiocarbonCalibration* 7.1, Stuiver *et al.*, 2016), levando em consideração a curva SHCal13 (*Southern Hemisphere*, Hoog *et al.*, 2013).

A análise da frequência foi realizada a partir da contagem dos grupos constituintes dos palinomorfos (esporos, grãos de pólen, esporos de fungos, algas de água doce, cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos, tintinomorfos). Contagens foram obtidas a partir da leitura total de cada lâmina, *i.e.* considerando todos os palinomorfos registrados. Frequências relativas (%) foram estabelecidas sobre o total de palinomorfos contados. O reconhecimento das características morfológicas e morfométricas dos microfósseis de parede orgânica foi realizado sob microscopia ótica de luz transmitida e luz azul incidente (luz fluorescente) em aumento de 1000 vezes.

Para a atribuição taxonômica dos cistos de dinoflagelados foram consultados os trabalhos de Edwards & Andrieu (1992), Dale (1996), Rochon *et al.* (1999), Marret & Zonneveld (2003), Zonneveld & Pospelova (2015), ordenados segundo Fensome & Williams (2004). O significado paleoecológico e paleoambiental foi extraído de Wall *et al.* (1977), Harland (1983), Edwards & Andrieu (1992), Dale (1996), Mudie & Harland (1996),



Rochon *et al.* (1999), Marret & Zonneveld (2003), de Vernal *et al.* (2013) e Zonneveld *et al.* (2013), dentre outros.

## RESULTADOS

### IDADES RADIOCARBÔNICAS

As idades radiocarbônicas obtidas para as amostras selecionadas são apresentadas na tabela 1 e figura 2. Os resultados mostram que a deposição do poço ocorreu entre o Holoceno médio e tardio. A amostra basal foi datada em 7744 cal AP (300 cm); as outras idades obtidas são respectivamente, 6246 cal AP (280 cm), 3522 cal AP (265 cm), 2751 cal AP (120 cm), 2579 cal AP (90 cm); a amostra mais superior foi considerada moderna. Particularmente, a amostra a 155 cm de profundidade apresentou idade controversa em relação aos níveis superiores (Tabela 1), o que pode refletir evento de retrabalhamento de sedimentos mais antigos e mistura com os mais novos; dessa forma, a idade indicada neste nível não foi utilizada para o controle cronológico.

**Inserir Tabela 1**

### CONTEÚDO MICROPALÉONTOLOGICO

Três categorias de palinórfos foram recuperadas: esporórfos (esporos, grãos de pólen, fungos), fitoplâncton (algas de água doce e cistos de dinoflagelados) e zoomórfos (palinoforaminíferos e tintinórfos), distribuídas em distintas quantidades ao longo do poço. Em termos gerais, esporos são predominantes (27%-71%, percentagens mínimas e máximas, respectivamente em todo o poço), ao lado de fungos (1%-69%), grãos de pólen (4%-66%), algas de água doce (1%-47%), cistos de dinoflagelados (1%-42%), palinoforaminíferos (1%-18%) e tintinórfos (1%-14%). A listagem taxonômica e os dados de quantificação (contagem bruta e frequência relativa) são apresentados nas tabelas 2 e 3, respectivamente. A preservação dos palinórfos é boa, com diferenças ao longo da seção, principalmente nos níveis basais, onde aqueles com parede rompida ou amassada são mais comuns; cristais de pirita aderidos à parede de determinados espécimes foram observados em diversos níveis.

**Inserir Tabela 2**

**Inserir Tabela 3**

A maioria dos cistos de dinoflagelados ocorre em meio à matéria orgânica amorfa, principalmente aqueles representantes dos gêneros *Operculodinium* e *Spiniferites*. Por essa razão, a observação em microscópio óptico foi potencialmente facilitada com o auxílio de contraste de fase (DIC) e luz fluorescente.

Todos os gêneros e espécies de cistos de dinoflagelados identificados são descritos, com ilustrações apresentadas na figura 3, incluindo quatro espécies (*Brigantedinium simplex*, *Selenopemphix nephroides*, *Selenopemphix quanta*, *Operculodinium centrocarpum*) e designações abertas de três gêneros (*Brigantedinium* spp., *Lejeunecysta* spp., *Spiniferites* spp.). Os gêneros *Spiniferites* e *Operculodinium* são mais comuns e frequentes, registrados entre 300 – 150 cm de profundidade; subordinadamente foram reconhecidos os gêneros *Brigantedinium*, *Selenopemphix* e *Lejeunecysta* entre 295 – 175 cm. A distribuição estratigráfica detalhada desses táxons é apresentada na figura 4. As descrições dos cistos de dinoflagelados são complementadas por informações ecológicas, paleoecológicas, paleoambientais e paleobiogeográficas, baseadas na compilação de dados da literatura, advinda de análogos modernos e ocorrências quaternárias dos respectivos táxons no Brasil e no exterior.

## DESCRIÇÃO TAXONÔMICA (CISTOS DE DINOFLAGELADOS)

Divisão DINOFLAGELLATA (Bütschli 1885) Fensome *et al.* 1993

Classe DINOPHYCEAE Pascher 1914

Subclasse PERIDINIPHYCIDAE Fensome *et al.* 1993

Ordem PERIDINIALES Haeckel 1894

Subordem PERIDININEAE (autonímia)

Família CONGRUENTIDIACEAE Schiller 1935

Subfamília CONGRUENTIDIODEAE (autonímia)

**Gênero *Brigantedinium*** Reid 1977 ex Lentin & William 1993

***Brigantedinium simplex*** Wall 1965 ex Lentin & William 1993

(Fig 3. A-B)

**Descrição:** cisto esferoidal de parede lisa, cor castanha; arqueopilo intercalar (2a), de forma hexagonal assimétrica, com lados aproximadamente equidimensionais.

**Dimensões (1 espécime):** diâmetro do corpo central 42 µm.

**Representante moderno:** *Protoperidinium conicoides* (Paulsen 1905) Balech 1974.

**Observações:** registrado em sedimentos modernos de fácies nerítica interna do Atlântico Norte ao Ártico, abundante em latitudes maiores que 55°, em áreas onde a temperatura superficial d'água oscila entre 9° a 14°C (Edwards & Andrieu, 1992; Matthiessen, 1995; Matthiessen *et al.*, 2005). O estágio móvel de *B. simplex* (*P. conicoides*) foi identificado em amostras da coluna d'água da plataforma e talude da Província de Buenos Aires e Terra do Fogo (Akselman, 1987). Considerada uma espécie cosmopolita e ocorrente em ambiente nerítico a oceânico (de Vernal *et al.*, 2013). Na América do Sul, *B. simplex* foi identificada em amostras de plâncton, em sedimentos (modernos e do Holoceno) de diversas localidades da Argentina (Vilanova *et al.*, 2008; Candel *et al.*, 2009, 2012, 2013), geralmente apresentando frequência relativamente baixa em relação aos demais componentes do microfítolâncton. No Canal de Beagle, Candel *et al.* (2009) registraram *B. simplex* em amostras interpretadas sob condições de ambiente nerítico interno a marinho marginal, com salinidade baixa a moderada, temperatura da água de temperada a fria e rica em nutrientes.

### ***Brigantedinium* spp.**

(Fig 3. C)

**Descrição:** cistos esféricos a subsféricos; parede lisa sem tabulação e de cor marrom a castanha; arqueopilo intercalar.

**Dimensões (2 espécimes):** diâmetro maior 25 µm.

**Observações:** nos dois espécimes registrados, o arqueopilo é de difícil identificação; a má preservação impediu uma designação específica para os espécimes registrados.

**Representante moderno:** *Protoperidinium* Bergh 1881.

**Observações:** espécie cosmopolita, com distribuição em ambientes estuarinos, costeiros e oceânicos modernos, de distintas zonas climáticas (Wall *et al.*, 1977; Rochon *et al.*, 1999; de Vernal *et al.*, 2001; Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013; Price *et al.*, 2016); considerada oportunista, sem fatores físico-químicos limitantes expressivos (Rochon *et al.*, 1999; de Vernal *et al.*, 2001; Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013). Abundante no litoral leste do Japão devido à grande produtividade primária da região (Matsuoka, 1992). Espécimes de *Brigantedinium* foram registrados em amostras

(aflorantes e testemunhos) das margens do Canal de Beagle (sul da América do Sul), interpretadas como de ambiente nerítico interno a externo (Grill *et al.*, 2002; Borromei & Quattrocchio, 2007) e ambiente nerítico interno a marinho marginal (Candel *et al.*, 2009, 2011), com salinidade baixa a variável, temperatura da água de temperada a fria, concentração elevada de nutriente devido ao aporte d'água doce oriunda do derretimento das geleiras. Oliveira (2011) registrou o gênero em amostras da Bacia de Campos, Brasil, relacionado a condições ambientais transicionais, entre nerítico externo a oceânico. Na mesma bacia, Souza (2012) documentou o gênero *Brigantedinium* em assembleia de cistos de dinoflagelados típicas de ambiente marinho de alta produtividade.

**Gênero *Selenopemphix*** Benedek 1972 *emend.* Head 1993

***Selenopemphix nephroides*** Benedek 1972 *emend.* Benedek & Sarjeant 1981

(Fig 3. D)

**Descrição:** cisto peridinioide de formato ovoide em vista polar, compressão apical e antapical; autofragma de cor marrom, de superfície lisa; epicisto cônico, com contorno ligeiramente côncavo na secção dorsoventral, suportando uma saliência apical larga; epicisto cônico, com extremidade posterior truncada e sem chifres antapicais; paracíngulo estreito, bem definido por entalhe profundo; sulco largo e curto, bem indicado pela indentação do autofragma; arqueopilo grande, intercalar (2a), deslocado lateralmente à esquerda do eixo longitudinal.

**Dimensões (2 espécimes):** diâmetro maior 55 µm, 59 µm.

**Representante moderno:** *Protoperidinium subinermis* (Paulsen 1904) Loeblich 1970.

**Observações:** espécie restrita a áreas costeiras das zonas equatorial e temperada; porém, pode constituir parte proeminente das associações de mar aberto, especialmente nas proximidades da frente subtropical do Hemisfério Sul, em áreas oceânicas influenciadas pela pluma de sedimentos do Rio Amazonas no Atlântico Equatorial e porção central do Atlântico Norte (Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013). Frequentemente registrada próxima das células de ressurgência do noroeste e sudoeste da África, comum nos mares Mediterrâneo, Meridional da China, de Okhotsk (noroeste do Pacífico) e de Bering (Pacífico Norte). Apresenta amplos parâmetros ambientais, temperatura d'água -0,8° a 29,8° C e salinidade 27,6‰ a 39,4‰, é heterotrófica, correlacionada com alto influxo de carbono orgânico e sílica biogênica (Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013), também encontrada em áreas polares (Mudie & Rochon, 2001; Radi *et al.* 2001). *S. nephroides* foi recuperada em depósitos da costa norte do Canal de Beagle, interpretada como de ambiente nerítico interno a externo, com

salinidade baixa a variável, temperatura d'água de temperada a fria, com alta concentração de nutriente devido ao aporte d'água doce de derretimento das geleiras (Grill *et al.*, 2002; Borromei & Quattrocchio, 2007; Candel *et al.*, 2009, 2011). No Brasil, a espécie foi encontrada em seções da Bacia de Campos, relacionadas a condições ambientais transicionais de nerítico externo a oceânico (Oliveira, 2011); Souza (2012) identificou as espécies em associações de cistos representativas de ambiente marinho de alta produtividade.

***Selenopemphix quanta*** Bradford 1975 *emend.* Matsuoka 1985

(Fig 3. E)

**Descrição:** cisto próximo-condensado com corpo subsférico, compressão apical e antapical, ornamentado por inúmeros processos; processos sólidos, com terminações afiadas ou sem corte, ocorrendo ao longo das margens singulares e em filas no epicisto e hipocisto; arqueopilo intercalar (2a), alongado, com ângulos arredondados.

**Dimensões (1 espécime):** diâmetro maior 60 µm; comprimento dos processos variando de 8 a 10 µm.

**Representante moderno:** *Protoperidinium conicum* (Gran 1900) Balech 1974.

**Observações:** espécie cosmopolita, de zonas costeiras, com distribuição delimitada pelos sistemas frontal Polar e Equatorial, porém pode ser registrada em águas oceânicas (Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013). *S. quanta* é indicadora de enriquecimento de nutriente e alta produtividade das áreas costeiras (Pospelova *et al.*, 2002, 2005), com condições preferenciais de temperatura (8° a 14° C) e salinidade (23‰ a 31‰), presente desde a zona polar do Norte à zona temperada do Sul (Rochon *et al.*, 1999; de Vernal *et al.*, 2001; Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013; de Vernal *et al.*, 2013). Apesar de ter condições preferenciais para sua proliferação, é um táxon resiliente, pois tolera uma ampla variação nos parâmetros ambientais, temperatura (-2,1° a 29,8° C) e salinidade (16,8‰ a 39,2‰), com maior abundância relativa em regiões mesotróficas a eutróficas, onde as águas de fundo são anóxicas a óxicas (Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013). No estuário de Bahía Blanca, Argentina, a forma móvel de *S. quanta* (*P. conicum*) foi identificada em amostras de plâncton coletadas no Porto Cuatros (Borel *et al.*, 2006). A espécie foi registrada em amostras d'água do mar da plataforma continental da Província de Buenos Aires (Vilanova *et al.*, 2008). Na área do Canal de Beagle, Candel *et al.* (2009, 2011) caracterizaram os depósitos em que o táxon foi identificado como de ambiente nerítico interno a marinho marginal, com salinidade de baixa a moderada, temperatura d'água de temperada a fria e rica em

nutrientes. No Brasil, o táxon foi recuperado em seções da Bacia de Campos, relacionadas a condições ambientais transicional de nerítico externo a oceânico (Oliveira, 2011) e de ambiente marinho de alta produtividade (Souza, 2012).

**Gênero *Lejeunecysta*** Artzner & Dörhöfer 1978 *emend.* Letin & Williams 1976

*Lejeunecysta* spp.

(Fig 3. F-H)

**Descrição:** cisto peridinioide, compressão dorso ventral; comprimento do epicisto e hipocisto aproximadamente igual; epicisto de forma cônica, com os lados retos; hipocisto com formato trapezoidal, com lados levemente côncavos; dois chifres antapicais curtos e um chifre apical curto arredondado; paratabulação indicada a partir do arqueopilo e do paracíngulo; paracíngulo marcado por uma depressão rasa; arqueopilo (2a).

**Dimensões (3 espécimes):** comprimento 39 µm, 60 µm e 89 µm.

**Observações:** a má preservação impediu uma designação específica para os espécimes registrados.

**Representante moderno:** *Protoperidinium* Bergh 1881.

**Observações:** o gênero é identificado em sedimentos estuarinos modernos (Price *et al.*, 2016). Conforme de Vernal *et al.* (2013), *Lejeunecysta* é indicativo de fácies nerítica, tolerante à variação de salinidade, entre 20‰ a 35‰, reconhecido nas zonas climáticas tropical a subpolar. Vilanova *et al.* (2008) registraram este táxon em sedimentos do Holoceno da plataforma continental da Província de Buenos Aires, interpretados como transicional costeiro a nerítico.

Subclasse PERIDINIPHYCIDAE Fensome *et al.* 1993

Ordem GONYAULACALES Taylor 1980

Subordem GONYAULACINEAE (autonímia)

Família GONYAULACACEAE Lindemann 1928

Subfamília CRIBROPERIDINIOIDEAE Fensome *et al.* 1993

**Gênero *Operculodinium*** Wall 1967 *emend.* Matsuola *et al.* 1997

***Operculodinium centrocarpum*** (Deflandre & Cookson 1955) Wall 1967

(Fig 3. I)

**Descrição:** cisto próximo-condensado, corpo central esférico, parede com superfície microreticular, espessada na base dos processos; processos atabulares com eixo sólido, de espessura fina e comprimento variável (entre 1/5 e 1/4 do diâmetro do corpo central) e

extremidade capitada; paracíngulo e parassulco indistintos; arqueopilo pré-cingular (3<sup>o</sup>); opérculo livre.

**Dimensões (em 4 espécimes):** diâmetro do corpo central 38 a 40 µm, comprimento dos processos 8,5 a 12 µm.

**Representante moderno:** *Protoceratium reticulatum* (Clararède & Lachmann 1859) Bütschli 1885.

**Observações:** presente em fácies sedimentares estuarina a oceânica de baixas a altas latitudes (Wall *et al.*, 1977; Harland, 1983; Edwards & Andrieu, 1992; Rochon *et al.*, 1999; Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013; de Vernal *et al.*, 2013; Price, 2016). Apresenta ampla distribuição por distintos parâmetros ambientais, temperatura da d'água -2,1° a 29,8° C e salinidade 9,8‰ a 39,4‰ (Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013). Espécie considerada cosmopolita (Wall *et al.*, 1977; Marret & Zonneveld, 2003; Zonneveld *et al.*, 2013; de Vernal *et al.*, 2013), porém não é registrada em águas permanentemente cobertas por gelo (Mudie, 1992). O táxon foi recuperado em sedimentos modernos e do Holoceno da plataforma argentina (Wall *et al.*, 1977; Grill & Guerin, 1995; Grill & Quattrocchio, 1996; Gómez *et al.*, 2005; Borel *et al.*, 2006; Borel & Gómez, 2006; Vilanova *et al.*, 2008), em sedimentos do Holoceno do Canal de Beagle (Borromei & Quattrocchio, 2001, 2007; Grill *et al.*, 2002; Candel *et al.*, 2009, 2012). No sul do Brasil, a espécie tem sido identificada em sedimentos do Holoceno da planície costeira e plataforma continental do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Lorscheitter & Romero, 1985; Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter & Dillenburg, 1998; Medeanic *et al.*, 2000, 2009; Meyer *et al.*, 2005ab, Macedo *et al.*, 2007; Kuhn *et al.*, 2017), interpretados como de ambiente lagunar, sendo utilizado como descritores das ingressões marinhas do Holoceno.

Subfamília GONYAULACOIDEAE (autonímia)

**Gênero *Spiniferites*** Mantel 1850 emend. Sarjeant 1970

***Spiniferites* spp.**

(Fig 3. J-L)

**Descrição:** cisto próximo-condensado a condensado; corpo central esférico a oval; parede acavada, superfície lisa ou microgranular; processos sólidos ou ocos, simples, ramificado ou ramificado de forma complexa, podem ser gonais ou suturais; arqueopilo pré-cingular (3<sup>o</sup>); opérculo livre.

**Dimensões (em 3 espécimes):** tamanho do corpo central 49,5 a 56 µm, comprimento dos processos variando de 10 a 15 µm.

**Observações:** quando ocorre, a ligação entre os processos se dá por membranas que os unem a partir de sua base; espécie representada por diversos espécimes ao longo da seção, geralmente mal preservados e/ou associados à matéria orgânica amorfa, o que impediu uma designação específica.

**Representante moderno:** *Gonyaulax* Diesing 1866.

**Observações:** *Spiniferites* é registrado numa grande gama de ambientes, desde nerítico interno até oceano aberto, amplamente distribuído em todas as zonas climáticas, com tolerância às variações físico-químicas d'água (nutriente, salinidade, luminosidade), distribuído em áreas com distintos parâmetros ambientais (Wall *et al.*, 1977; Harland, 1983; de Vernal *et al.*, 2001; Zonneveld *et al.*, 2013). Espécies do gênero têm sido identificadas em depósitos do Holoceno da planície costeira e plataforma continental Sul do Brasil, interpretadas como representativas de ambientes lagunares, também utilizadas como um dos descritores das ingressões marinhas do Holoceno (Lorscheitter & Romero, 1985; Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter & Dillenburg, 1998; Medeanic *et al.*, 2000, 2009; Meyer *et al.*, 2005a; Kuhn *et al.*, 2017).

**Inserir Figura 3**

**Inserir Figura 4**

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### CONSIDERAÇÕES PALEOAMBIENTAIS

Os táxons de cistos de dinoflagelados *B. simplex*, *Brigantedinium* spp., *Lejeunecysta* spp., *S. nephroides*, *S. quanta*, *O. centrocarpum* e *Spiniferites* spp. podem ser relacionados diretamente a espécies viventes nos mares e oceanos modernos; como resultado, os parâmetros sobre distribuição (zonas climáticas), ambientes e salinidade são compiladas com base na literatura (Figura 5).

**Inserir Figura 5**

Palinoforaminíferos foram registrados nos mesmos níveis das assembleias de cistos de dinoflagelados (Figura 3. M-O, Figura 4). Palinoforaminíferos são relacionados a foraminíferos bentônicos (de Vernal & Giroux, 1991; de Vernal *et al.*, 1992; Mudie *et al.*, 2011; Ní Fhlaithearta *et al.*, 2013).

Com base na distribuição biogeográfica dos táxons identificados apresentada na figura 5, e sua associação com palinoforaminíferos, inferências paleoambientais podem ser realizadas. A assembleia de cistos de dinoflagelados apresenta ampla distribuição em diferentes zonas climáticas, de subpolar a tropical. O conjunto de cistos de dinoflagelados reflete condição ambiental nerítica, com águas superficiais susceptíveis a variação de



salinidade e alta concentração de nutrientes, provavelmente devido à contribuição de água doce oriunda dos rios existentes nas adjacências do sítio deposicional. O maior número de táxons peridinióide (*Brigantedinium*, *Lejeunecysta* e *Selenopemphix*) sobre os gonyaulacóides (*Spiniferites* e *Operculodinium*) aponta para regime nerítico interno (de Vernal & Giroux, 1991).

Palinoforaminíferos podem indicar alto influxo de carbono orgânico (de Vernal, 2009) e constituem excelentes marcadores ambientais de influência ou conexão marinha com o sítio deposicional (Batten, 1996; de Vernal, 2009; Mudie *et al.*, 2011). A alta frequência de grãos de pólen, esporos e fungos (Tabela 3) revela grande contribuição continental.

A baixa diversidade das associações de cistos de dinoflagelados indica condições restritas e estressantes, tais como grandes variações na salinidade (Figura 5) (Wall *et al.*, 1977; Gorin & Steffen, 1991; Tyson, 1995; Prauss, 2000). A ocorrência de cistos peridinióides associados aos gonyaulacóides sugere que a área do sítio deposicional esteve sob influência de águas marinhas costeiras com grande aporte de nutrientes de origem continental (Wall *et al.*, 1977; Dale, 1996).

## **O REGISTRO DE CISTOS DE DINOFLAGELADOS EM SEDIMENTOS HOLOCENOS DA ZONA COSTEIRA SUL DO BRASIL**

Nos últimos anos diversos estudos palinológicos foram desenvolvidos na zona costeira do sul do Brasil (RS e SC) (e.g. Lorscheitter & Romero, 1985; Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Neves, 1998; Lorscheitter & Dillenburg, 1998; Behling & Negrelle, 2001; Medeanic *et al.*, 2000, 2009; Meyer *et al.*, 2005ab; Macedo *et al.*, 2007; Cancelli, 2012; Kuhn *et al.*, 2017). O principal objetivo da maioria desses estudos foi a identificação de grãos de pólen e esporos de plantas continentais para a avaliação das mudanças paleovegetacionais e paleoclimáticas ocorridas na zona costeira e suas relações com as variações do nível relativo do mar durante o Holoceno.

Associados aos esporomorfos (grãos de pólen e esporos), em alguns desses trabalhos, foram registrados cistos de dinoflagelados, acritarcos, zigósporos e cenóbios de algas verdes. A transgressão marinha do Holoceno médio (7000–5000 cal AP) foi identificada a partir do reconhecimento de gêneros de cistos de dinoflagelados (*Operculodinium* e *Spiniferites*), associados ou não a outros palinomorfos marinhos (e.g. acritarcos e palinoforaminíferos).

Nos trabalhos citados, os cistos de dinoflagelados são representados por apenas dois gêneros; contudo, dinoflagelados, diatomáceas, cianofíceas e outras algas flageladas

constituem a maior parte do fitoplâncton das águas costeiras modernas (Dale, 2009). Além da baixa diversidade de gêneros identificados até então, a representatividade quantitativa dos cistos de dinoflagelados em relação à assembleia de palinómorfos também é bastante reduzida, não ultrapassando valores de 5% da assembleia palinológica (Neves, 1998; Lorscheitter & Dillenburg, 1998; Medeanic *et al.*, 2009; Meyer *et al.*, 2005ab; Macedo *et al.*, 2007; Kuhn *et al.*, 2017).

Na análise palinológica desenvolvida em um poço perfurado em ambiente marinho de águas profundas na porção média do Cone do Rio Grande, extremo sul do Brasil, Lorscheitter & Romero (1985) registraram amostras nas quais cistos de dinoflagelados constituem até 99,8% da associação palinológicas. *Operculodinium centrocarpum* e *Spiniferites mirabilis* foram identificados, e a taxonomia dos demais espécimes ficou em aberto sob a designação “cistos de dinoflagelados indeterminados”. Ao longo das quatro fases ecológicas identificadas no poço, os cistos de dinoflagelados mostraram variações em frequência; na primeira fase, *O. centrocarpum* e *S. mirabilis* constituíram ~10% de frequência da assembleia, em proporções semelhantes entre si, e aqueles indeterminados frequência < 10%; durante a segunda fase, os cistos de dinoflagelados atingiram ~65% da assembleia, com *O. centrocarpum* (60%) prevalecendo sobre *S. mirabilis* (5%), e cistos de dinoflagelados indeterminados com 11,8%; na terceira fase, ocorrem decréscimo na frequência de *O. centrocarpum* e *S. mirabilis* (~15%), porém há uma inversão entre a frequência entre as espécies *S. mirabilis* (~12%) e *O. centrocarpum* (~3%), e aqueles indeterminados (~5%); na última fase, a soma de *O. centrocarpum*, *S. mirabilis* e cistos de dinoflagelados indeterminados atingem 99,8%, sendo *O. centrocarpum* a espécie dominante.

A contribuição de Lorscheitter & Romero (1985) mostra grande participação de táxons marinhos, o que está diretamente relacionado à procedência da amostragem, circunscrita à área com cobertura do mar durante no intervalo entre o final do Pleistoceno e início do Holoceno.

Por outro lado, a baixa recuperação de espécies de cistos de dinoflagelados em depósitos do Holoceno da zona costeira sul do Brasil pode ser resultado de outros fatores. Geralmente, a maior atenção é empregada na identificação detalhada dos esporómorfos a fim de obter resultados sobre a dinâmica da vegetação de cada área; palinómorfos de natureza marinha são taxonomicamente subestimados.

Eventos pós-deposicionais podem afetar a preservação dos cistos de dinoflagelados incorporados aos depósitos sedimentares. Estudos experimentais têm demonstrado que cistos de dinoflagelados são mais suscetíveis à degradação nas etapas

em que estejam expostos à oxidação, tanto em eventos pós-deposicionais, bem como em etapas do processamento palinológico de sedimentos e rochas sedimentares (Prauss, 2000; Hopkins & McCarthy, 2002; Zonneveld *et al.*, 2008).

Dale (1976) demonstrou que algumas etapas do processamento, com o uso de ácidos fortes e aquecidos, a acetólise, ou exposição à oxidação com KOH, têm efeitos cruciais para determinadas espécies de cistos de dinoflagelados, podendo eliminá-las, caso estejam presentes nos materiais. Tais procedimentos não foram evitados na maior parte dos trabalhos desenvolvidos na zona costeira do sul do Brasil (e.g., Lorscheitter & Romero, 1985; Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Neves, 1998; Lorscheitter & Dillenburg, 1998; Medeanic *et al.*, 2000, 2009; Meyer *et al.*, 2005b; Macedo *et al.*, 2007; Kuhn *et al.*, 2017). Nestes, a metodologia padrão adotada é a de recuperação palinológica para sedimentos turfosos, com vistas à análise sobre a paleovegetação representada e reconstituição dos paleoclimas (Faegri & Iversen, 1975; Ybert *et al.*, 1992).

Desde a publicação de Dale (1976), importantes avanços foram realizados no conhecimento sobre o potencial de preservação de palinomorfos marinhos e estuarinos e os métodos de processamento mais adequado para sua recuperação (Head, 1996; Zonneveld *et al.*, 1997, 2008; Oliveira *et al.*, 2004; Mudie *et al.*, 2011).

Em Zonneveld *et al.* (2001), táxons de dinoflagelados foram classificados de acordo com sua sensibilidade em relação à variação de oxigênio no sedimento de fundo. Nesse aspecto, dinoflagelados protoperidinioides são os mais sensíveis à degradação seletiva (Tabela 4). Estes elementos são heterotróficos, alimentam-se preferencialmente de diatomáceas e são excelentes descritores da paleoprodutividade do corpo d'água (Zonneveld *et al.*, 2001; Mudie *et al.*, 2011).

#### **Inserir Tabela 4**

Conforme Mudie *et al.* (2011), embora a composição química da parede de cistos de dinoflagelados e acritarcos seja similar a dos esporomorfos, não é constituída de esporopolenina, composto muito resistente à oxidação. Os biopolímeros que compõem a parede dos cistos de dinoflagelados e ficomas das clorofíceas são mais lábeis e podem ser afetados por influência oxidativas (de Vernal & Marret, 2007). Segundo Prauss (2000), durante os eventos de variação do nível do mar, as associações depositadas na interface água-sedimento são expostas a vários processos dinâmicos, tais como erosão, remobilização e mistura de diferentes massas d'água, que afetam as associações do microplâncton na coluna d'água e no sedimento, em escalas local e regional.

Devido à intensa dinâmica dos processos sedimentares, as associações palinológicas incorporadas aos depósitos sedimentares podem sofrer profundas

alterações pós-deposicionais, muitas vezes refletidas na má preservação dos palinórfos ou em insuficiência amostral (esterilidade e/ou baixa recuperação), como observado em materiais descritos da planície costeira e plataforma continental argentina (Vilanova *et al.*, 2006, 2008; Prieto, 2016).

Como resultado da análise desses dados da literatura, verifica-se que diferentes parâmetros podem afetar a natureza das associações palinológicas recuperadas em depósitos sedimentares quaternários costeiros, sejam naturais ou induzidos por força do tipo de processamento laboratorial. No caso do material aqui apresentado, a maior quantidade de espécies registradas de cistos de dinoflagelados está diretamente relacionada ao tratamento não oxidativo empregado, bem como ao detalhamento taxonômico adotado, na tentativa de melhor atribuição específica.

## CONCLUSÕES

A quase totalidade dos estudos palinológicos desenvolvidos nos depósitos costeiros do sul do Brasil é concentrada na análise dos esporórfos. Neste trabalho foi demonstrado o potencial dos cistos de dinoflagelados na interpretação paleoambiental em depósitos costeiros do Holoceno de Santa Catarina, baseando em amostras de testemunho (poço PSC-03). Estes grupos de microfósseis de parede orgânica foram recuperados dos sedimentos turfosos a partir de processamento laboratorial particular, evitando-se sua exposição à oxidação, resultando em um maior número de táxons descritos.

A comparação dos táxons de dinoflagelados do testemunho e seus análogos modernos permitiu inferir condições de deposição plataformais para grande parte do intervalo estudado. A presença de palinoforaminíferos corrobora a ideia, bem como a ação direta de águas marinhas costeiras sobre a área do sítio deposicional durante parte de seu período de preenchimento sedimentar.

*Brigantedinium* spp., *Brigantedinium simplex*, *Lejeunecysta* spp., *Selenopemphix nephroides* e *Selenopemphix quanta* constituem táxons de dinoflagelados registrados pela primeira vez em sedimentos do Holoceno da planície costeira brasileira. Essas ocorrências no material estudado e sua ausência em trabalhos anteriores devem estar relacionadas, se não à natureza do sítio deposicional, aos métodos de recuperação palinológica empregados em cada laboratório, os quais, em sua maioria, são relativos a tratamentos oxidativos, tais como a acetólise, exposição à oxidação (eg. KOH), muitas vezes como processos catalizadores nas reações de eliminação da matéria orgânica distinta daquela dos esporórfos. Tais procedimentos são amplamente utilizados em

depósitos turfosos para fins de análise da paleovegetação e respectivos paleoclimas, para os quais os esporos e grãos de pólen constituem ferramenta micropaleontológica singular. Contudo, para depósitos da interface continente/oceano, o tipo de recuperação dos palinomorfos deve contemplar a possibilidade do registro de outros palinomorfos, tais como os cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos. Dessa forma, recomenda-se a introdução de métodos alternativos, muitos dos quais já conhecidos, para depósitos mais antigos e/ou de outras regiões do mundo, mas não aplicados para a planície costeira do sul do Brasil, bem como a designação taxonômica detalhada dos cistos de dinoflagelados e sua comparação com os análogos modernos.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo período de concessão de bolsa de doutorado de WGS (2013-2015), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa de PAS (proc. 310727/2014-6), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS proc. 1012119) por recursos financeiros por meio de projeto de pesquisa e ao Programa de Capacitação dos Servidores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS proc. 233670022072015-50). Esta contribuição é parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS. Os autores também agradecem ao revisor do manuscrito pela leitura crítica e sugestões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKSELMAN, R. Quistes planctonicos de dinoficeas en areas de plataforma del atlantico sudoccidental, I, reporte taxonomico de la Fasmilia Peridiniaceae Ehrenber. **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 35, n. 1, p. 17-32, 1987.
2. AMARAL, P.G.C.; GIANNINI, P.C.F.; SYLVESTRE, F.; PESSEDA, L.C.R. Palaeoenvironmental reconstruction of a Late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multi-proxy analysis. **Journal of Quaternary Science**, v. 27, n.2, p. 181-191, 2012.
3. AMARAL, P.G.C.; LEDRU, M.; BRANCO, F.R.; GIANNINI, P.C.F. Late Holocene development of a mangrove ecosystem in southeastern Brazil (Itanhaém, state of São Paulo). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 241, n. 3-4, p. 608-620, 2006.
4. BATTEN, D.J. Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. In: JANSONIUS, J.; MCGREGOR, D.C. (Editores). *Palynology: principles and applications*, v. 3. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 29-50, 1996.
5. BEHLING, H. First report on new evidence for the occurrence of *Podocarpus* and possible human presence at the mouth of the Amazon during the Late-glacial. **Vegetation History and Archaeobotany**, v. 5, n. 3, p. 241-246, 1996.
6. BEHLING, H. & NEGRELLE, R.R.B. Tropical rain forest and climate dynamics of the atlantic lowland, Southern Brazil, during the Late Quaternary. **Quaternary Research** v. 56, n. 3, p. 383-389, 2001.
7. BOREL, C.M. & GÓMEZ, E.A. Palinología del Holoceno del Canal del Medio, estuario de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina). **Ameghiniana**, v. 43, n. 2, p. 399-412, 2006.
8. BOREL, C.M.; CERVELLINI, P.M.; GUERSTEIN, G.R. Quistes de dinoflagelados de sedimentos holocenos y dinoflagelados modernos del estuário de Bahía Blanca, Argentina. **Geoacta**, v. 31, p. 23-31, 2006.
9. BORROMEI, A.M. & QUATTROCCHIO, M. Palynological study of Holocene marine sediments from Bahía Lapataia, Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. **Revista Española de Micropaleontología**, v. 33, n. 1, p. 61-70, 2001.
10. BORROMEI, A.M. & QUATTROCCHIO, M. Holocene sea-level change and marine palynology of the Beagle Channel, southern Tierra del Fuego, Argentina. **Ameghiniana**, v. 44, n. 1, p.161-171, 2007.

11. CANCELLI, R.R. Evolução paleoambiental da Planície Costeira sul-catarinense (Lagoa do Sombrio) durante o Holoceno, com base em dados palinológicos. Porto Alegre, 2012. 159 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
12. CANDEL, M.S.; BORROMEI, A.M.; MARTÍNEZ, M.A.; GORDILLO, S.; QUATTROCCHIO, M.; RABASSA, J. Middle–Late Holocene palynology and marine mollusks from Archipiélago Cormoranes area, Beagle Channel, southern Tierra del Fuego, Argentina. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 273, n. 1-2, p.111-122, 2009.
13. CANDEL, M.S.; RADI, T.; de VERNAL, A.; BUJALESKY, G. Distribution of dinoflagellate cysts and other aquatic palynomorphs in surface sediments from the Beagle Channel, Southern Argentina, **Marine Micropaleontology**, v. 96-97, p. 1-12, 2012.
14. CANDEL, M.S.; BORROMEI, A.M.; MARTÍNEZ, M.A.; BUJALESKY, G. Palynofacies analysis of surface sediments from the Beagle Channel and its application as modern analogues for Holocene records of Tierra del Fuego, Argentina. **Palynology**, v. 37, n. 1, p. 62-76, 2013.
15. CANDEL, M.S.; MARTÍNEZ, M.A.; BORROMEI, A.M. Palinología y palinofacies de una secuencia marina del Holoceno medio-tardío: Albufera Lanushuaia, Canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 14, n. 3, p. 297-310, 2011.
16. CORDEIRO, S.H. & LORSCHETTER, M.L. Palynology of Lagoa dos Patos sediments, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Paleolimnology**, v. 10, n. 1, p. 35-42, 1994.
17. CORRÊA, I.C.S. & VILLWOCK, J.A. Continental Shelf and Coastal Plain Sediments of the EDITORES Southeast and South Coast of Brazil. In: CORRÊA, I.C.S. & MARTINS, L.R. (Editores). Exploratory text of Atlas: Morphology and Sedimentology of the Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Peninsula Valdés (Argentina). CECO. p. 41-54, 1996.
18. CORRÊA, I.C.S.; MARTINS, L.R.; KETZER, J.M.M.; ELIAS, A.R.D.; MARTINS, R. Evolução Sedimentológica e Paleogeográfica da Plataforma Continental Sul e Sudeste do Brasil. **Notas Técnicas**, n. 9, p. 51-61, 1996.
19. DALE, B. Cyst formation, sedimentation and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trondheimsfjord, Norway. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 22, n. 1, p. 39-60, 1976.

20. DALE, B. Dinoflagellate cyst ecology: modeling and geological applications. In: JANSONIUS, J. & MCGREGOR, D.C. (Editores), *Palynology: Principles and applications*, v. 3. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 1249-1275, 1996.
21. DALE, B. Eutrophication signals in the sedimentary record of dinoflagellate cysts in coastal waters. **Journal of Sea Research**, v 61, n. 1, p. 103-113, 2009.
22. de VERNAL, A. Marine palynology and its use for studying nearshore environments. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, v. 5, n. 1, p. 1-13, 2009. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/5/1/012002>. Acessado em: 09out2016.
23. de VERNAL, A. & GIROUX, L. Distribution of organic walled microfossils in Recent sediments from the estuary and Gulf of St. Lawrence: some aspects of the organic matter fluxes. In: THERRIAULT, J.C. (Editor), *The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 113, p. 189-199, 1991.
24. de VERNAL, A.; BILODEAU, G.; HILLAIRES-MARCEL, C.; KASSOU, N. Quantitative assessment of carbonate dissolution in marine sediments from foraminifer linings vs. shell ratios: Davis Strait, northwest North Atlantic. **Geology**, v. 20, n. 6, p. 527-530, 1992.
25. de VERNAL, A.; HENRY, M.; MATTHIESSEN, J.; MUDIE, P.J.; ROCHON, A., BOESSENKOOL, K.P.; EYNAUD F.; GRØSFJELD, K.; GUIOT, J., HAMEL, D., HARLAND, R. HEAD, M.J.; KUNZ-PIRRUNG, M.; LEVAC, E.; LOUCHEUR, V.; PEYRON, O.; POSPELOVA, V.; RADI, T.; TURON, J.-L.; VORONINA, E. Dinoflagellate cyst assemblages as tracers of sea-surface conditions in the northern North Atlantic, Arctic and sub-Arctic seas: the new 'n = 677' data base and its application for quantitative palaeoceanographic reconstruction. **Journal of Quaternary Science**, v. 16, n. 7, p. 681-698, 2001.
26. de VERNAL, A. & MARRET, F. Organic-Walled Dinoflagellate Cysts: Tracers of Sea-Surface Conditions. In: HILLARIE-MARCEL, C. & de VERNAL, A. (Editores), *Developments in Marine Geology*, Elsevier, v.1, p. 371-408, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572548007010147>. Acessado em: 27nov2014.
27. de VERNAL, A.; ROCHON, A.; RADI T. DINOFLAGELLATES. In: ELIAS, S.A. (Editor), *The Encyclopedia of Quaternary Science*, Elsevier, v. 2, p. 800-815, 2013.



28. EDWARDS, L.E. & ANDRLE, V.A.S. Distribution of selected dinoflagellate cysts in modern marine sediments. In: HEAD M.J. & WRENN J.H. (Editores), Neogene and quaternary dinoflagellate cysts and acritarchs, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 259-288, 1992.
29. FAEGRI, K.; IVERSEN, J. Textbook of pollen analysis. 3 rd. Edition, Hafner Press, 295p., 1975.
30. FENSOME, R.A. & WILLIAMS, G.L. The Lentin and Williams index of fossil dinoflagellates 2004 edition. **American Association of Stratigraphic Palynologists, Contribution Series 42**, p. 1-909, 2004.
31. GORIN, G.E. & STEFFEN, D. Organic facies as a tool for recording eustatic variations in marine fine-grained carbonates-example of the Berriasian stratotype at Berrias (Ardèche, SE France). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 85, n. 3-4, p. 303-320, 1991.
32. GÓMEZ, E.A.; MARTÍNEZ, D.E.; BOREL, C.M.; GUERSTEIN, G.R. CUSMINSKY, G.C. Submarine evidence of Holocene sea level fluctuations in the Bahía Blanca estuary, Argentina. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 20, n. 1-2, p. 139-155, 2005.
33. GRILL, S. & GUERSTEIN, G.R. Estudio palinológico de sedimentos superficiales en el estuario de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, Argentina. **Polen**, v. 7, p. 41-49, 1995.
34. GRILL, S. & QUATTROCCHIO, M. Fluctuaciones eustáticas durante el Holoceno a partir del análisis de palinomorfos. Localidad: Grümbein. Sur de la provincia de Buenos Aires. **Ameghiniana**, v. 33, n. 4, p.435-442, 1996.
35. GRILL, S.; BORROMEI, A.M.; QUATTROCCHIO, M.; CORONATO, A.; BUJALESKY, G.; RABASSA, J. Palynological and sedimentological analysis of Recent sediments from Río Varela, Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. **Revista Española de Micropaleontología**, v. 34, n. 2, p. 145-161, 2002.
36. HARLAND, R. Distribution maps of recent dinoflagellate cysts in bottom sediments from the North-Atlantic Ocean and adjacent seas. **Palaeontology**, v. 26, n. 2, p. 321-387, 1983.
37. HEAD, M.J. Modern dinoflagellate cysts and their biological affinities. In: JANSONIUS, J.; MCGREGOR, D.C. (Editores). Palynology: principles and applications, v. 3. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 1197-1248, 1996.

38. HOGG, A.G.; HUA, Q.; BLACKWELL, P.G.; NIU, M.; BUCK, C.E.; GUILDERSON, T.P.; HEATON, T.J.; PALMER, J.G.; REIMER, P.J.; REIMER, R.W.; TURNEY, C.S.M.; ZIMMERMAN, S.R.H. SHCAL13 SOUTHERN HEMISPHERE CALIBRATION, 0–50,000 YEARS CAL BP. **Radiocarbon**, v. 55, n. 4, p.1889-1903, 2013.
39. HOPKINS, J.A. & MCCARTHY, F. Post-Depositional Palynomorph Degradation in Quaternary Shelf Sediments: A Laboratory Experiment Studying the Effects of Progressive Oxidation. **Palynology**, v. 26, p.167-184, 2002.
40. HORN FILHO, N.O. Setorização da província costeira de Santa Catarina, em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. **Geosul**, v. 18, n. 35, p. 71-98, 2003.
41. KOWSMANN, R.O.; COSTA, M.P.A.; VICALVI, M.A.; COUTINHO, M.G.N.; GAMBOA, S.A.P. Modelo de sedimentação holocênica na plataforma continental sul brasileira. **PROJETO REMAC**, n. 2, p. 7-26, 1977.
42. KUHN, L.A.; SOUZA, P.A.; CANCELLI, R.R.; SILVA, W.G.; MACEDO, R.B. Paleoenvironmental evolution of the coastal plain of Southern Brazil: palynological data from a Holocene core in Santa Catarina State. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 2581-2595, 2017.
43. LORENTE, F.L.; PESSENDA, L.C.R.; OBOH-IKUENOBE, F.; BUSO JR, A.A.; COHEN, M.C.L.; MEYER, K.E.B.; GIANNINI, P.C.F.; de OLIVEIRA, P.E.; ROSSETTI, D.F.; FILHO, M.A.B.; FRANÇA, M.C.; CASTRO, D.F.; BENDASSOLLI, J.A.; MACARIO, K. Palynofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco (Linhares, Espírito Santo, southeastern Brazil): Depositional settings and palaeoenvironmental evolution. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, n. 1, p. 69-82, 2014.
44. LORSCHETTER, M.L. & DILLENBURG, S.R. Holocene paleoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, v.11, n.1, p. 73-97, 1998.
45. LORSCHETTER, M.L. & ROMERO, E.J. Palynology of Quaternary sediments of the core T15, Rio Grande Cone, South Atlantic, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, v. 3, n.1, p. 55-92, 1985.
46. MACEDO, R.B.; CANCELLI, R.R.; BAUERMANN, S.G.; BORDIGNON, S.A.L.; NEVES, P.C.P. Palinologia de níveis do Holoceno da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Localidade de Passinhos), Brasil. **Gaea**, v. 3, n.2, p. 68-74, 2007.

47. MARRET, F. & ZONNEVELD, K.A.F. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 125, n. 1-2, p. 1-200, 2003.
48. MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. As flutuações do nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. **Boletim IG-USP, Publicação Especial** v.15, p.1-186, 1993.
49. MARTIN, L.; DOMINGUEZ, M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. Fluctuating Holocene Sea Levels in Eastern and Southeastern Brazil: Evidence from Multiple Fossil and Geometric Indicators. **Journal of Coastal Research**, v. 19, n.1, p. 101-124, 2003.
50. MATSUOKA, K. Species diversity of modern dinoflagellate cysts in surface sediments around the Japanese islands. In: HEAD M.J. & WRENN J.H. (Editores), Neogene and quaternary dinoflagellate cysts and acritarchs, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 33-53, 1992.
51. MATTHIESSEN, J. Distribution Patterns of dinoflagellate cysts and other organic-walled microfossils in recent Norwegian-Greenland Sea sediments. **Marine Micropaleontology**, v. 24, n. 3-4, p. 307-334, 1995.
52. MATTHIESSEN, J.; de VERNAL, A.; HEAD, M.J.; OKOLODKOV, Y.B.; ZONNEVELD, K.A.F.; HARLAND, R. Modern organic-walled dinoflagellate cysts in Arctic marine environments and their (paleo) environmental significance. **Paläontologische Zeitschrift**, v. 79, n. 1, p. 3-51, 2005.
53. MEDEANIC, S.; TOLDOJUNIOR E.E.; DILLENBURG, S.R. Palynological evidence of marine ingression in the lagoa dos Patos Lagoon during the late Holocene. **Geociências**, n. especial, p.141-145, 2000.
54. MEDEANIC, S.; TORGAN, L.C.; CLEROT, L.C.P.; SANTOS, C.B. Holocene marine transgression in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil: palynomorph and diatom evidence. **Journal of Coastal Research**, v. 25, n. 1, p. 224-233, 2009.
55. MEYER, K.E.B.; MENDONÇA FILHO, J.G.; ASHRAF, A.R.; SOUZA, P.A.; REICHHART, K. Análise de palinofácies em sedimentos holocênicos da Lagoa dos Quadros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 8, n. 1, p. 57-72, 2005a.
56. MEYER, K.E.B.; REICHHART, K.; ASHRAF, A.R.; MARQUES-TOIGO, M.; MOSBRUGGER, V. Holocene Evolution of Itapeva lake, Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorphs and Corg, N, S Records. **Journal of South American Earth Sciences**, v.19, n. 2, p 181-192, 2005b.

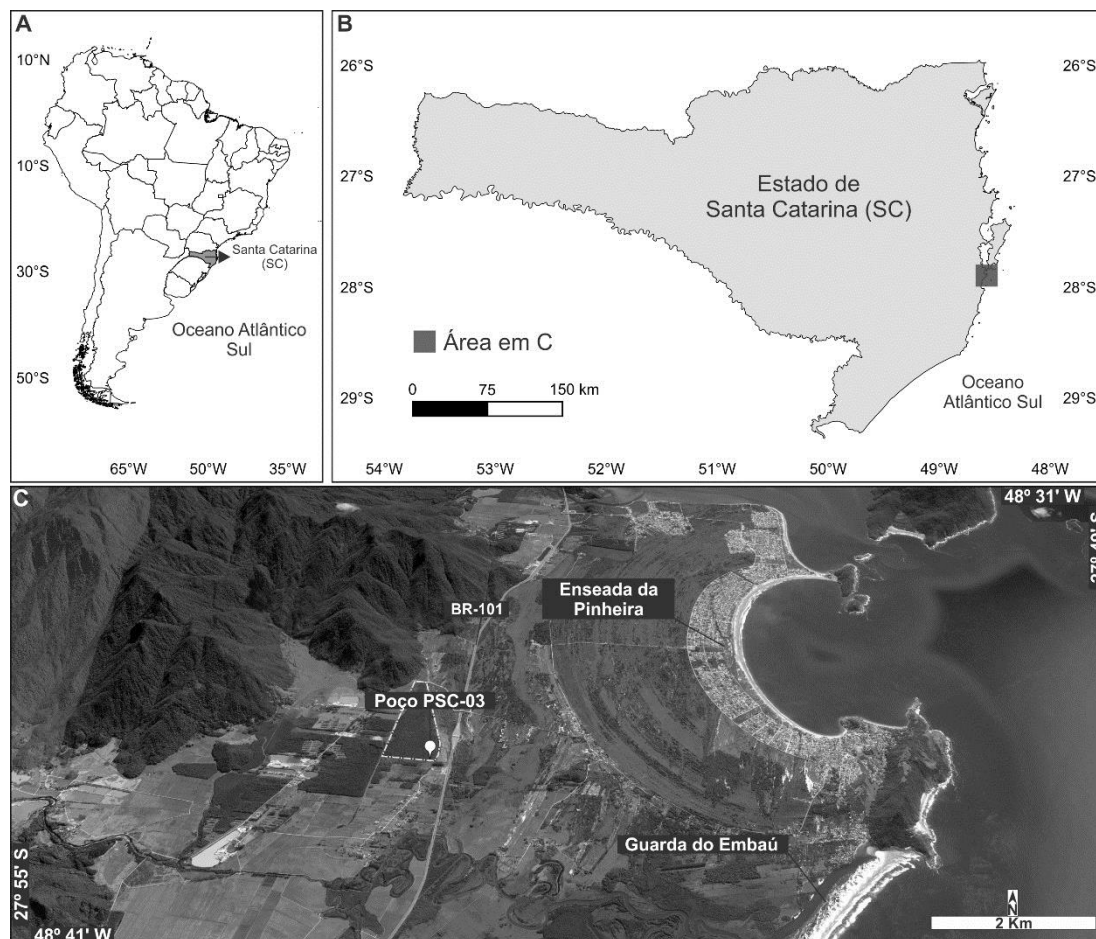
57. MUDIE, P.J. Circum-Arctic Quaternary and Neogene marine palynofloras: paleoecology and statistical analysis. In: HEAD M.J. & WRENN J.H. (Editores), Neogene and quaternary dinoflagellate cysts and acritarchs, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 347-390, 1992.
58. MUDIE, P.J. & HARLAND, R. Aquatic Quaternary. In: JANSONIUS, J. & MCGREGOR, D.C. (Editores), Palynology: Principles and applications, v. 2. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 843–878, 1996.
59. MUDIE, P.J.; LEROY, S.A.G.; MARRET, F.; GERASIMENKO, N.P.; KHOLEIF, S.E.A.; SAPELKO, T.; FILIPOVA-MARINOVA, M. 2011. Nonpollen palynomorphs: indicators of salinity and environmental change in the Caspian–Black Sea–Mediterranean corridor, in: Buynevich, I.V., Yanko-Hombach, V., Gilbert, A.S., Martin, R.E. (Editores.), *Geology and Geoarchaeology of the Black Sea Region: Beyond the Flood Hypothesis: **Geological Society of America Special Paper***, v. 473, p. 89–115, 2011.
60. MUDIE, P.J. & ROCHON, A. Distribution of dinoflagellate cysts in the Canadian Arctic marine region. **Journal of Quaternary Science**, v. 16, n. 7, p. 603-620, 2001.
61. NEVES, P.C.P. Palinologia de sedimentos quaternários no estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Guaíba e Capão do Leão. Porto Alegre, 1998. 513 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
62. NÍ FHLAITHEARTA, S.; ERNST, S.R.; NIEROP, K.G.J.; DE LANGE, G.J.; REICHART, G.-J. Molecular and isotopic composition of foraminiferal organic linings. **Marine Micropaleontology**, v. 102, p. 69-78, 2013
63. NORONHA, B.T. Alterações paleoambientais inferidas por associações de dinoflagelados e outros palinómorfs recuperados em um testemunho quaternário da Bacia de Campos. Porto Alegre, 2011. 91 p. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
64. OLIVEIRA, A.D.; MENDONÇA FILHO, J.G.; CARVALHO, M.A.; MENEZES, T.R.; LANA, C.C.; BRENNER, W.W. Novo método de preparação para aumentar a recuperação de dinoflagelados. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v.7, n. 2, p. 169-175, 2004.
65. OLIVEIRA, A.D. Reconstrução paleoambiental com base nas assembleias de dinoflagelados presentes nos sedimentos do Holoceno e Pleistoceno do talude continental brasileiro da Bacia de Campos, RJ-Brasil. Rio de Janeiro, 2003. 198 p.

Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

66. OLIVEIRA, A.D. Estudo integrado de palinofácies com cistos de dinoflagelados fósseis (dinocistos) de zona climática tropical em sedimentos quaternários de águas profundas da Bacia de Campos, RJ-Brasil. Rio de Janeiro, 2011. 257 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
67. POSPELOVA, V.; CHMURA, G.L.; BOOTHMAN, W.S.; LATIMER, J.S. Dinoflagellate cyst records and human disturbance in two neighboring estuaries, New Bedford Harbor and Apponagansett Bay, Massachusetts (USA). **The Science of the Total Environment**, v. 298, n. 1-3, p.81-102, 2002.
68. POSPELOVA, V.; CHMURA, G.L.; BOOTHMAN, W.S.; LATIMER, J.S. Spatial distribution of modern dinoflagellate cysts in polluted estuarine sediments from Buzzards Bay (Massachusetts, USA) embayments. **Marine Ecology Progress Series**, v. 292, p. 23–40, 2005.
69. PRAUSS, M. The oceanographic and climatic interpretation of marine palynomorph phytoplankton distribution from Mesozoic, Cenozoic and Recent sections. **Göttinger Arbeiten Geologie Paläontologie**, n.76, p. 3-235, 2000.
70. PRICE, A.M.; POSPELOVA, V.; COFFIN, M.R.S.; LATIMER, J.S.; CHMURA, G.L. Biogeography of dinoflagellate cysts in northwest Atlantic estuaries. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 16. p. 5648-5662, 2016. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.2262/full>. Acessado em: 19mar2017.
71. PRIETO, A.R. Análisis e interpretación de registros palinológicos de sucesiones aluviales de la region pampeana: revision de la vegetación y el clima durante el Pleistoceno Tardío – Holoceno. In: MARTÍNEZ, M. & OLIVEIRA, D. (Editores), Palinología del Meso-Cenozoico de Argentina-Volumen en homenaje a Mirta Elena Quattrocchio. **Publicación Eletónica de la Asociación Paleontológica Argentina**, v. 16, n. 2, p. 148-167, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.27.09.2016.114>. Acessado em: 09jan2017.
72. RADI, T. & de VERNAL, A. Dinocysts as proxy of primary productivity in mid-high latitudes of the Northern Hemisphere. **Marine Micropaleontology**, v. 68, n. 1-2, p. 84-114, 2008.
73. RADI, T.; de VERNAL, A.; PEYRON, O. Relationships between dinoflagellate cyst assemblages in surface sediment and hydrographic conditions in the Bering and Chukchi seas. **Journal of Quaternary Science**, v. 16, n. 7, p. 667-680, 2001.

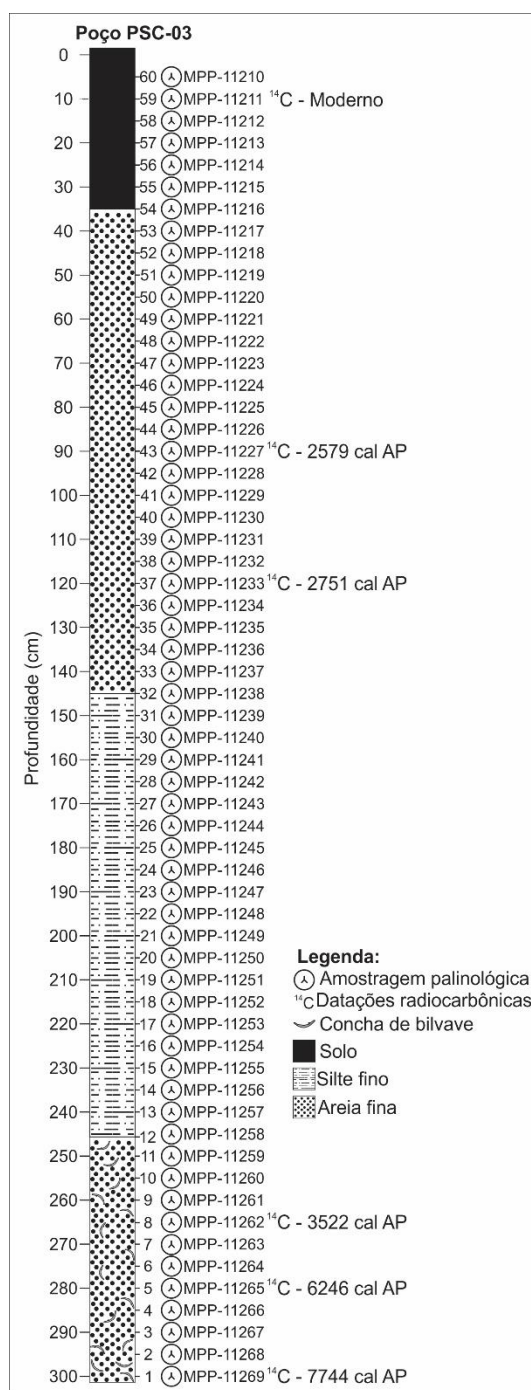
74. ROCHON, A.; de VERNAL, A.; TURON, J-L.; MATTHIESSEN, J.; HEAD, M.J. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. **Special Contribution Series of the American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation**, v. 35, p. 1-152, 1999.
75. SOUZA, J.T. Integração dos estudos de palinofácies e palinologia com ênfase em dinocistos (cistos de dinoflagelados) em dois testemunhos do Quaternário da região de Cabo Frio – RJ/Brasil. Rio de Janeiro, 2012. 199 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
76. STOCKMARR, J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. **Pollen et Spores**, v. 13, p. 615–621, 1971.
77. STUIVER, M.; REIMER, P.J.; REIMER, R.W. CALIB 7.1 [WWW program]. Belfast: 14CHRONO Centre, Queen's University Belfast, 2016. Disponível em: <http://calib.org/calib/>. Acessado em: 30nov2016.
78. SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J-M.; AZEVEDO, A.E.G. 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**, v. 15, n. 4, p. 273-286, 1985.
79. TYSON, R.V. Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies. Chapman and Hall, p. 615, 1995.
80. VILANOVA, I.; PRIETO, A.R.; STUTZ, S. Historia de la vegetación en relación con la evolución geomorfológica de las llanuras costeras del Este de la provincia de Buenos Aires durante el Holoceno. **Ameghiniana**, v. 43, n. 1, p. 147–159, 2006.
81. VILANOVA, I.; GUERSTEIN, G.R.; AKSELMAN, R.; PRIETO, A.R. Mid- to Late Holocene organic-walled dinoflagellate cysts from the northern Argentine shelf. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 152, n 1-2, p. 11-20, 2008.
82. VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, n. 8, p. 1-45, 1995.
83. YBERT, J-P.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; BARTH, O.M.; LORSCHETTER M.L.; BARROS, M.A.DE.; CHAVES, S.A.DE.M.; LUZ, C.F.P.DA.; RIBEIRO, M.; SCHEEL R.; VICENTINI, K.F. Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos palinológicos do Quaternário. **Revista Instituto de Geociências**, v. 13, n 2, p. 47-49, 1992.

84. YBERT, J-P.; BISSA, W.M.; KUTNER, M. Relative sea level variations and climatic evolution in southeastern and southern Brazil during the Late Holocene. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 75-83, 2001.
85. WALL, D.; DALE, B.; LOHMAN, G.P.; SMITH, W.K. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern sediments from regions in the North and South Atlantic oceans and adjacent seas. **Marine Micropaleontology**, v. 2, p. 121-200, 1977.
86. WOOD, G.D.; GABRIEL, A.M.; LAWSON, J.C.; BATTEN, D.J. Palynological techniques-processing and microscopy. In: JANSONIUS, J.; MCGREGOR, D.C. (Editores). *Palynology: principles and applications*, v. 1. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 29-50, 1996.
87. ZONNEVELD, K.A.F.; MARRET, F.; VERSTEEGH, G.J.M.; BOGUS, K.B.S.; BOUIMETARHAN, I.; CROUCH, E.; DE VERNAL, A.; ELSHANAWANY, R.; EDWARDS, L.; ESPER, O.; FORKE, S.; GRØSFJELD, K.; HENRY, M.; HOLZWARH, U.; KIELT, J-F.; KIM, S-Y.; LADOUCEUR, S.; LEDU, D.; CHEN, L.; LIMOGES, A.; LONDEIX, L.; LU, S-H.; MAHMOUD, M.S.; MARINO, G.; MATSOUKA, K.; MATTHIESSEN, J.; MILDENHAL, D.C.; MUDIE, P.J.; NEIL, H.L.; POSPELOVA, V.; QI, Y.; RADI, T.; RICHEROL, T.; ROCHON, A.; SANGIORGI, F.; SOLIGNAC, S.; TURON, J-L.; VERLEYE, T.; WANG, Y.; WANG, Z.; YOUNG, M. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 191, p. 1-197, 2013.
88. ZONNEVELD, K.A.F. & POSPELOVA, V. A. Determination Key for Modern Dinoflagellate Cysts. **Palynology**, v. 39, n. 3, p. 387-409, 2015.
89. ZONNEVELD, K.A.F.; VERSTEEGH, G.; KODRANS-NSIAH, M. Preservation and organic chemistry of Late Cenozoic organic-walled dinoflagellate cysts: A review. **Marine Micropaleontology**, v. 68, n. 1-2, p. 179-197, 2008.
90. ZONNEVELD, K.A.F.; VERSTEEGH, G.J.M.; DE LANGE, G.J. Palaeoproductivity and post-depositional aerobic organic matter decay reflected by dinoflagellate cyst assemblages of the Eastern Mediterranean S1 sapropel. **Marine Geology**, v. 172, n. 3-4, p. 181-195, 2001.
91. ZONNEVELD, K.A.F.; VERSTEEGH, G.J.M.; DE LANGE, G.J. Preservation of organic walled dinoflagellate cysts in different oxygen regimes: a 10,000 years natural experiment. **Marine Micropaleontology**, v. 29, n. 3-4, p. 393-405, 1997.

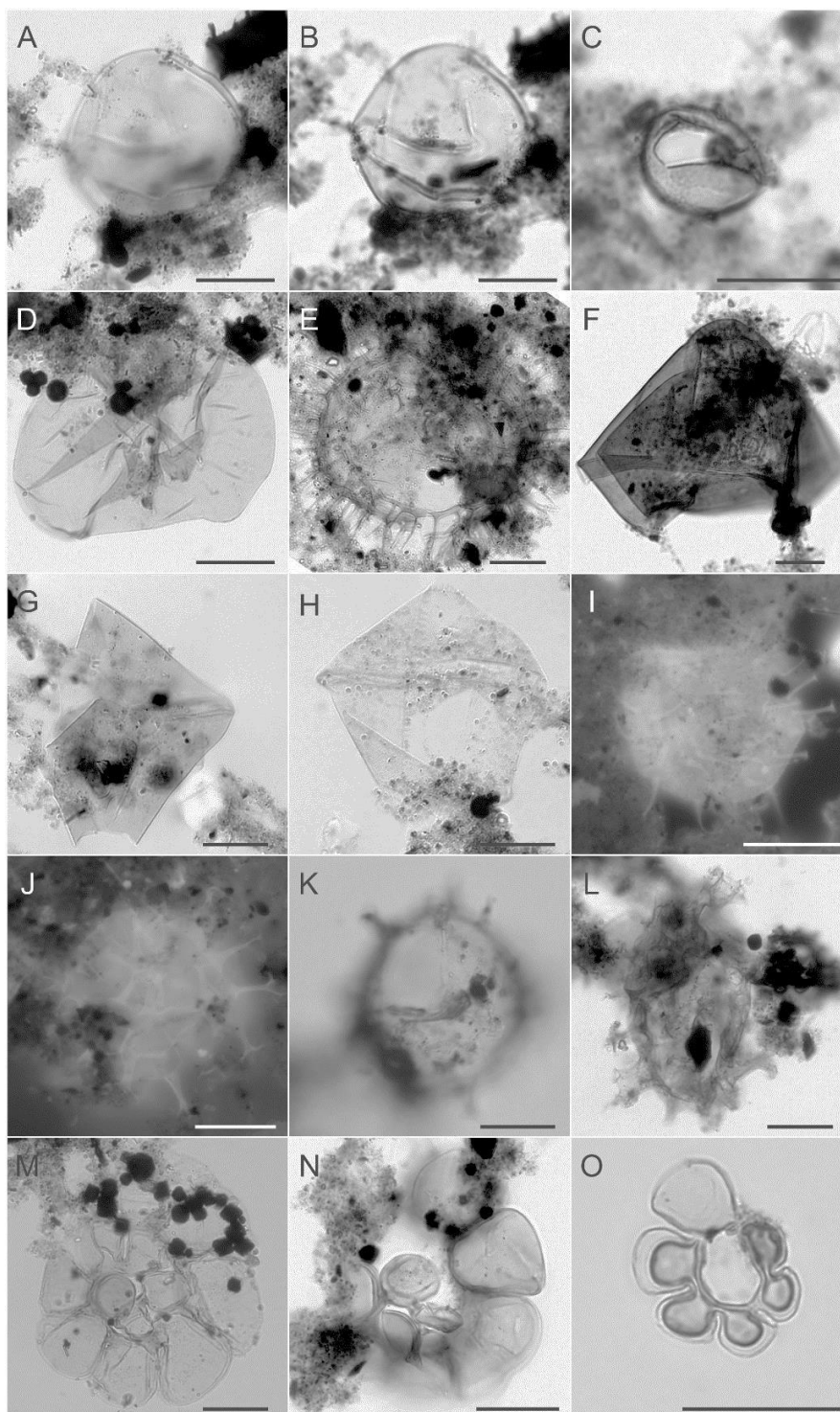


**Figura 1.** Localização da área de estudo na Planície Costeira de Santa Catarina (AB) e imagem de satélite com indicação do poço PSC-03 (C) (Fonte: *Google Earth*).





**Figura 2.** Perfil estratigráfico do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina mostrando a posição das amostras palinológicas, datações radiocarbônicas, lâminas palinológicas e suas respectivas codificações (MP-P: depositadas na Palinoteca do LPMMT/IG/UFRGS).



**Figura 3.** Fotomicrografias dos cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos registrados no poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina. **A-B.** *Brigantedinium simplex* (lâmina MPP: 11253, England Finder: B60-4); **C.** *Brigantedinium* sp. (11266, X54-4); **D.** *Selenopemphix nephroides* (11260, E61-4); **E.** *Selenopemphix quanta* (11256, J49); **F-H.** *Lejeunecysta* spp. (11254, D42-2; 11262, Y33-2; 11244, N53-3); **I.** *Operculodinium centrocarpum* (fotomicrografia com luz florescente; 11268, C48); **J-L.** *Spiniferites* spp. (**J.** fotomicrografia com luz florescente; 11250, W55; 11254, F63-3; 11257, X53-4); **M-O.** Palinoforaminíferos (11250, B62-3; 11264, G58-3; 11265, O43). Escala gráfica 20 µm.

Palinomorfos marinhos								
Prof. (cm)	<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Spiniferites</i> spp.	<i>Brigantedinium</i> spp.	<i>Lejeunecysta</i> spp.	<i>Selenopemphix nephroides</i>	<i>Selenopemphix quanta</i>	<i>Brigantedinium simplex</i>	Palinoforaminíferos
150	x	x		x				x
155	x	x						x
160	x	x		x				x
165	x	x						x
170	x	x						x
175	x	x						x
180	x	x						x
185	x	x						x
190	x	x						x
195	x	x			x			x
200	x	x						x
205	x	x						x
210	x	x		x				x
215	x	x						x
220	x	x						x
225	x	x					x	x
230	x	x		x				x
235	x	x				x		x
240	x	x						x
245	x	x						x
250	x	x						x
255	x	x						x
3522 cal AP	260	x	x		x	x		x
↳	265	x	x		x	x		x
6246 cal AP	270	x	x		x	x		x
↳	275	x	x					x
↳	280	x	x					x
↳	285	x	x	x	x			x
7744 cal AP	290	x	x					x
↳	295	x	x	x				x
↳	300	x						x

**Figura 4.** Distribuição estratigráfica dos cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos no poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa Catarina.

Cistos de dinoflagelados	Zonas Climáticas Oceânicas						Ambientes			Salinidade (‰)
	Polar	Subpolar	Temperado	Subtropical	Tropical	Equatorial	Estuarino	Nerítico	Oceânico	< 20 25 30 35 >
<i>Brigantedinium</i> spp.	_____						_____			_____
<i>Brigantedinium simplex</i>	_____						_____			_____
<i>Lejeunecysta</i> spp.	_____						_____			_____
<i>Selenopemphix nephroides</i>	_____						_____			_____
<i>Selenopemphix quanta</i>	_____						_____			_____
<i>Operculodinium centrocarpum</i>	_____						_____			_____
<i>Spiniferites</i> spp.	_____						_____			_____

**Figura 5.** Distribuição de determinadas espécies de cistos de dinoflagelados nos sedimentos superficiais nos mares modernos e suas respectivas indicações em termos de zonas climáticas, ambiente e salinidade (compilado de Wall *et al.*, 1977; Marret & Zonneveld, 2003; de Vernal *et al.*, 2013; Zonneveld *et al.*, 2013).

**Tabela 1.** Idades radiocarbônicas (AMS  $^{14}\text{C}$ ) das amostras selecionadas do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa e respectiva calibração. \*O pMC (porcentagem de carbono moderno) é apresentado quando o material analisado tem mais  $^{14}\text{C}$  que o padrão de referência moderno, assim esta amostra é considerada recente, ou seja, pós 1950.

Número do Laboratório	Profundidade (cm)	Idade $^{14}\text{C}$ AP	Idade $^{14}\text{C}$ AP (cal AP $2\sigma$ )	Idade calibrada AP (média da probabilidade)	Material
UGAMS # 25848	10	100,85 $\pm$ 0,3 pMC*	Moderno	-----	Sedimento
UGAMS # 26518	90	2520 $\pm$ 25	2380 – 2721	2579	Madeira
UGAMS # 26983	120	2660 $\pm$ 20	2723 – 2777	2751	Sedimento
UGAMS # 23610	155	2230 $\pm$ 250	1606 – 2761	2198	Sedimento
UGAMS # 26517	265	3340 $\pm$ 25	3450 – 3607	3522	Sedimento
UGAMS # 26982	280	5490 $\pm$ 25	6195 – 6299	6246	Sedimento
UGAMS # 22214	300	6960 $\pm$ 30	7676 – 7832	7744	Sedimento

**Tabela 2.** Lista taxonômica dos palinomorfos identificados no poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.

<b>Esporos</b>
<b>Briófitas:</b> <i>Phaeoceros</i> Prosk.
<b>Pteridófitas:</b> <i>Adiantum</i> L.; <i>Alsophila</i> R. Br.; <i>Anograma</i> ; <i>Blechnum</i> L.; Cyatheaceae; Polypodiaceae;
<b>Não determinados:</b> sp. 1 a sp. 6
<b>Grãos de pólen</b>
<b>Gimnospermas:</b> <i>Podocarpus</i> L' Hér. Ex Pers;
<b>Angiospermas:</b> <i>Alchornea</i> Sw.; <i>Alnus</i> Mill.; <i>Amaranthus</i> /Chenopodiaceae; Asteraceae Subf. Asteroidade; Cucurbitaceae; Cyperaceae; <i>Drymis brasiliensis</i> Miers; <i>Ephedra</i> ; <i>Eryngium</i> L.; <i>Gomphrena</i> L.; <i>Gunnera</i> ; <i>Ilex</i> L. <i>Ludwigia</i> L.; <i>Myrtaceae</i> ; <i>Oxalidaceae</i> ; <i>Poaceae</i> ; <i>Sebastiania</i> Spreng.; <i>Tripodanthus acutifolius</i> Thieg.; <i>Utricularia</i> L
<b>Não determinados:</b> sp. 1 a sp. 9
<b>Fungos</b>
<b>Esporos:</b> <i>Brachysporisporites</i> sp.; <i>Dicellaesporites</i> sp.; <i>Dicellaesporites obnixus</i> Norris 1986; <i>Diporicellaesporites</i> sp.; <i>Diporicellaesporites</i> sp. C em Parsons & Norris 1999; <i>Exesisporites</i> sp. B em Parsons & Norris 1999; <i>Foveodiporites</i> sp.; <i>Frasnacritetrus</i> sp.; <i>Fusiformisporites</i> sp.; <i>Glomus</i> sp.; <i>Inapertisporites</i> sp.; <i>Hypoxylonites</i> sp.; <i>Involutisporonites</i> sp.; <i>Mediaverrunites</i> sp.; <i>Monoporisporites</i> sp.; <i>Multicellaesporites</i> sp.; <i>Paramicrothallites</i> sp. A em Parsons & Norris 1999; <i>Pluricellaesporites</i> spp.; <i>Polyadosporites</i> sp.; <i>Punctodiporites</i> cf. <i>granulatus</i> ; <i>Scolecospores</i> sp.; <i>Spirotremesporites</i> sp.;
<b>Hifas e corpos frutíferos:</b> <i>Callimothallus pertusus</i> Dilcher 1965; <i>Fungites capillaris</i> (Caspary & Klebs) em Caspary 1907; <i>Microthallites</i> sp.; <i>Paramicrothallites</i> sp.; <i>Parmathyrites</i> sp.; <i>Phragmothyrites</i> sp.
<b>Algas de água doce</b>
<b>Classe Chlorophyceae:</b> <i>Botryococcus</i> sp.; <i>Mougeotia</i> sp.; <i>Spirogyra</i> sp.; <i>Zygnema</i> sp.
<b>Classe Cyanobacteria:</b> <i>Gleotrichia</i> sp.
<b>Incertae sedis:</b> <i>Pseudoschizaea rubina</i> Rossignol ex Christopher 1976
<b>Cistos de dinoflagelados</b>
<b>Gonyaulacoides:</b> <i>Operculodinium centrocarpum</i> (Deflandre & Cookson 1955) Wall 1967; <i>Spiniferites</i> spp.
<b>Peridinioides:</b> <i>Brigantedinium</i> spp.; <i>Brigantedinium simplex</i> Wall 1965 ex Lentin & William 1993; <i>Lejeunecysta</i> spp.; <i>Selenopemphix nephroides</i> Benedek 1972 emend. Benedek & Sarjeant 1981; <i>Selenopemphix quanta</i> Bradford 1975 emend. Matsuoka 1985
<b>Zoomorfos</b>
Palinoforaminíferos
Tintinomorfos: SPHERO-1, ELELNO-14, ESABNO-6, RECTNO-1, HEXANO-2, AROBNO-3

**Tabela 3.** Quantificação dos palinomorfos registrados no poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa. Contagem bruta (a) e frequência relativa (%).

Profundidade (cm)	Esporomorfos						Fitoplâncton				Zoomorfos				Total de Palinomorfos
	Esporos		Grãos de pólen		Fungos		Algas de água doce		Cistos de dinoflagelados		Palinoforaminíferos		Tintinomorfos		
	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	(a)	(%)	
5	153	58	67	25	44	17	1	0	0	0	0	0	0	0	265
10	144	53	92	34	34	13	0	0	0	0	0	0	0	0	270
15	153	52	108	37	32	11	0	0	0	0	0	0	0	0	293
20	116	32	157	43	74	20	20	5	0	0	0	0	0	0	367
25	103	33	50	16	136	44	23	7	0	0	0	0	0	0	312
30	69	24	22	8	183	63	17	6	0	0	0	0	0	0	291
35	68	22	99	31	133	42	15	5	0	0	0	0	0	0	315
40	40	12	199	61	78	24	8	2	0	0	0	0	0	0	325
45	39	11	246	66	80	22	6	2	0	0	0	0	0	0	371
50	79	21	173	46	118	31	5	1	0	0	0	0	0	0	375
55	81	25	129	39	114	35	5	2	0	0	0	0	0	0	329
60	116	41	96	34	40	14	29	10	0	0	0	0	0	0	281
65	99	41	57	23	41	17	47	19	0	0	0	0	0	0	244
70	103	45	45	19	39	17	44	19	0	0	0	0	0	0	231
75	77	35	51	23	65	30	26	12	0	0	0	0	0	0	219
80	42	14	34	12	208	71	7	2	0	0	0	0	0	0	291
85	82	26	16	5	170	54	44	14	0	0	0	0	0	0	312
90	32	12	10	4	188	69	41	15	0	0	0	0	0	0	271
95	36	25	21	15	58	40	29	20	0	0	0	0	0	0	144
100	26	21	24	19	41	33	34	27	0	0	0	0	0	0	125
105	73	32	34	15	78	34	45	20	0	0	0	0	0	0	230
110	45	29	17	11	64	42	28	18	0	0	0	0	0	0	154
115	24	20	6	5	57	47	34	28	0	0	0	0	0	0	121
120	31	21	14	9	60	41	43	29	0	0	0	0	0	0	148
125	24	16	14	10	39	27	69	47	0	0	0	0	0	0	146
130	30	13	14	6	77	34	107	47	0	0	0	0	0	0	228
135	54	28	32	17	47	25	57	30	0	0	0	0	0	0	190
140	44	27	26	16	63	38	33	20	0	0	0	0	0	0	166
145	69	42	13	8	83	50	0	0	0	0	0	0	0	0	165
150	38	44	15	17	32	37	0	0	1	1	1	1	0	0	87
155	43	59	5	7	19	26	1	1	4	5	1	1	0	0	73
160	46	62	1	1	4	5	0	0	21	28	2	3	0	0	74
165	21	36	5	8	22	37	1	2	8	14	2	3	0	0	59
170	44	54	16	20	5	6	0	0	15	18	2	2	0	0	82
175	55	51	5	5	13	12	2	2	26	24	2	2	5	5	108
180	41	71	3	5	7	12	0	0	3	5	2	3	2	3	58
185	38	40	10	11	5	5	5	5	22	23	10	11	4	4	94
190	19	46	2	5	3	7	0	0	16	39	1	2	0	0	41
195	31	45	5	7	10	14	3	4	15	22	5	7	0	0	69
200	24	44	4	7	11	20	0	0	11	20	2	4	3	5	55
205	96	48	17	8	76	38	1	0	5	2	3	1	3	1	201
210	51	51	14	14	12	12	0	0	16	16	2	2	5	5	100
215	31	52	3	5	5	8	0	0	14	23	6	10	1	2	60
220	24	28	18	21	20	23	1	1	20	23	3	3	0	0	86
225	31	48	8	12	14	22	0	0	5	8	5	8	2	3	65
230	31	58	4	8	8	15	0	0	4	8	4	8	2	4	53
235	27	47	2	4	10	18	0	0	14	25	3	5	1	2	57
240	13	52	1	4	4	16	0	0	4	16	3	12	0	0	25
245	17	39	7	16	4	9	0	0	6	14	4	9	6	14	44
250	30	61	7	14	3	6	0	0	3	6	5	10	1	2	49
255	25	44	10	18	7	12	0	0	5	9	10	18	0	0	57
260	17	26	18	27	10	15	1	2	14	21	3	5	3	5	66
265	35	40	21	24	18	20	2	2	4	5	6	7	2	2	88
270	24	32	19	25	9	12	1	1	17	22	5	7	1	1	76
275	15	56	3	11	5	19	0	0	0	0	3	11	1	4	27
280	15	27	12	22	2	4	0	0	23	42	3	5	0	0	55
285	21	36	10	17	11	19	0	0	14	24	2	3	0	0	58
290	11	48	5	22	3	13	0	0	2	9	2	9	0	0	23
295	19	36	7	13	11	21	0	0	14	26	2	4	0	0	53
300	12	32	14	38	10	27	0	0	1	3	0	0	0	0	37

**Tabela 4.** Espécies de cistos de dinoflagelados agrupadas em relação à sua sensibilidade ao oxigênio disponível no sedimento de fundo (modificado de Zonneveld *et al.*, 2001).

<b>Extremamente sensíveis</b>	Protopteridinioides (e.g. <i>Brigantidium</i> spp.) e espécies de <i>Echinidium</i>
<b>Moderadamente sensíveis</b>	<i>Lingulodinium machaerophorum</i> , <i>Protoceratium reticulatum</i> , <i>Pyxidinoopsis reticulatum</i> , espécies de <i>Spiniferites</i> (incluindo <i>S. bentori</i> , <i>S. mirabilis</i> , <i>S. pachyderma</i> e <i>S. ramosus</i> )
<b>Resistentes</b>	<i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i> , <i>Impagidium aculeatum</i> , <i>I. paradoxum</i> , <i>I. patulum</i> , <i>I. plicatum</i> , <i>I. sphaericum</i> , <i>Operculodinium israelianum</i> , <i>Pentapharsodinium dalei</i> e <i>Polysphaeridium zoharyi</i>

**ARTIGO 3: PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF A MIDDLE TO LATE HOLOCENE SECTION FROM THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: PALYNOFACIES AND STABLE ISOTOPES ANALYSIS**

*Artigo submetido ao periódico Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.*



Wagner Guimarães da Silva <[wagner.guimaraes.silva@gmail.com](mailto:wagner.guimaraes.silva@gmail.com)>

---

**Successfully received: submission PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF A MIDDLE TO LATE HOLOCENE SECTION FROM THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: ANALYSIS OF PALYNOFACIES AND STABLE ISOTOPES for Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**

1 mensagem

---

**Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** <[EvisSupport@elsevier.com](mailto:EvisSupport@elsevier.com)> 16 de novembro de 2018 01:02Responder a: [palaeo-eo@elsevier.com](mailto:palaeo-eo@elsevier.com)Para: [wagner.guimaraes.silva@gmail.com](mailto:wagner.guimaraes.silva@gmail.com)

*This message was sent automatically. Please do not reply.*

Ref: PALAEO\_2018\_782

Title: PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF A MIDDLE TO LATE HOLOCENE SECTION FROM THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: ANALYSIS OF PALYNOFACIES AND STABLE ISOTOPES

Journal: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology

Dear Professor Guimarães da Silva,

Thank you for submitting your manuscript for consideration for publication in Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Your submission was received in good order.

To track the status of your manuscript, please log into EVISE® at: [http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRNL\\_ACR=PALAEO](http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRNL_ACR=PALAEO) and locate your submission under the header 'My Submissions with Journal' on your 'My Author Tasks' view.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology

**Have questions or need assistance?**

For further assistance, please visit our [Customer Support](#) site. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about EVISE® via interactive tutorials. You can also talk 24/5 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

---

Copyright © 2018 Elsevier B.V. | [Privacy Policy](#)

Elsevier B.V., Radarweg 29, 1043 NX Amsterdam, The Netherlands, Reg. No. 33156677.

**PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF A MIDDLE TO LATE HOLOCENE SECTION FROM THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: ANALYSIS OF PALYNOFACIES AND STABLE ISOTOPES**

**Wagner Guimarães da SILVA<sup>a, b, \*</sup> and Paulo A. SOUZA<sup>b</sup>**

Wagner Guimarães da Silva:

(a) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS, Campus Osório, Rua Santos Dumont, 2127, CEP 95520-000, Osório, RS, Brasil.

(b) Programa de Pós-graduação em Geociências, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

\* Corresponding author

E-mail: wagner.guimaraes.silva@gmail.com; Phone: 55 (51) 3308-7386.

Paulo A. Souza:

(b) Programa de Pós-graduação em Geociências, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

E-mail: paulo.alves.souza@ufrgs.br; Phone: 55 (51) 3308-7386.

**Abstract:**

This work presents the integration of stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$  and C/N) and palynofacies analyses of the Holocene PSC-03 core sample (between 7,744 cal yr BP and the present), drilled in the coastal plain of Santa Catarina, southern Brazil. Palynological and palynofacies analyses revealed abundant and diversified palynological associations, including terrestrial palynomorphs (spores, pollen grains, fungi, and freshwater algae), marine elements (dinoflagellate cysts and foraminifera linings) and three distinct palynofacies (I, II and III). Based on the combined analysis of  $\delta^{13}\text{C}$  isotopes (-20.77‰ to -29.66‰) and the C/N ratio (15.55 to 68.03) of the selected samples, it was possible to infer that the organic matter comes from two distinct sources: marine phytoplankton and terrestrial  $\text{C}_3$  plants. The integrated approach of palynofacies and stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  and C/N) analyses allowed us to infer three environmental conditions that represent the sedimentary evolution of core sample PSC-03: Palynofacies I (7,744 to 2,884 cal yr BP), characterizing the marginal marine environment; Palynofacies II (2,857 to 2,276 cal yr BP), characterizing a shallow water environment - wetlands or soggy soils; and Palynofacies III (2,124 cal yr BP to the present), characterizing a depositional area that was colonized by arboreal forms, constituting the Atlantic Forest.

**Key words:** Holocene, Coastal Plain, Palynology, Palynofacies, Stable isotopes, Palaeoenvironmental changes.

## 1. Introduction

The Brazilian coastal zone was intensely affected by sea level variations during the Quaternary and was responsible for the generation of distinct and complex sedimentary facies, discontinuous in time and space, which resulted from the displacement of processes and environments, as recorded in previous works (e.g., Kowsmann et al., 1977; Suguio et al., 1985; Martin et al., 1993, 2003; Villwock and Tomazelli, 1995; Corrêa and Villwock, 1996; Corrêa et al., 1996).

The biotic components enclosed in the sedimentary deposits represent important sources of information for the understanding of the transformations suffered by the coastal zone during the Quaternary transgression and regression events. The study of particulate organic matter recovered in sediments and sedimentary rocks, including pollen grains, spores, algae, fungi and other parts or microorganisms of animals and plants make up the palynofacies analysis (Combaz, 1964), allowing for inferences of the sediment deposits. Large-scale events, such as transgressions and regressions, can be identified with some of these elements, such as dinoflagellate and foraminifera linings.

In addition, the isotopic analysis of organic carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) contained in sediments and sedimentary rocks may provide clues as to changes in the relative sea level (Meyers, 1994, 1997, 2003; Wilson et al., 2005a, 2005b; Khan et al., 2015). In sedimentary deposits of coastal areas, the integrated analysis of the stable isotope ratios of  $\delta^{13}\text{C}$  and the carbon and total nitrogen (C/N) ratio contained in the sediments has been successfully applied to infer the marine versus terrestrial influence of the organic matter deposited in these environments (Lamb et al., 2006, 2007; Bergamino et al., 2017).

This integrated approach has been used to understand Quaternary deposits from various parts of the world to assess environmental changes in Holocene and modern sediments. Namely, the assessment of San Francisco Bay (Cloren et al., 2002; Malamund-Roam and Ingram, 2004; Ogrinc et al., 2005), the Pleistocene stratigraphy of the Holocene estuarine sequences from England (Wilson et al., 2005a, 2005b; Lamb et al., 2007; Allen et al., 2007), the Holocene sequence from southeastern Brazil (Pessenda et al., 2012, Lorente et al., 2014, França et al., 2016) and modern sediments of the Rio de la Plata Estuary (Bergamino et al., 2017) are most noteworthy. In southern Brazil, this approach focused mostly on biotic components that are related to the Rio Grande do Sul Coastal Plain (**RSCP**). For the Santa Catarina coastline, which presents a large amount of rocky outcrops and

diverse geological nature, similar studies are scarce. To this end, the work done by Amaral et al. (2012) is noteworthy, although in recent years, new palynological data (Behling and Negrelle, 2001; Cancelli et al., 2012a, 2012b; Kuhn et al., 2017; Gu et al., 2017; Silva et al., 2017) have contributed to the knowledge base.

Thus, the objective of this work is to present the results of the analysis of palynofacies and the isotopic data ( $\delta^{13}\text{C}$  and C/N), in order to reconstruct the environmental evolution of the PSC-03 core sample between the middle and late Holocene. Based on this integrated study of the organic matter, we account for the identification of the individual particulate components, the determination of their relative proportions and the respective states of preservation. In general, these parameters represent dispersion tendencies for each component and are controlled by environmental factors, such as: depositional processes, hydrodynamics, fluvial inflow, and variations of relative sea level. The results are compared with other paleoenvironmental records of the Atlantic portion of southeastern South America, more specifically Uruguay, Argentina and the southernmost states of Brazil - Santa Catarina (SC) and Rio Grande do Sul (RS).

## **2. Study area**

The work was developed from samples collected from the PSC-03 core sample drilled in a forest along the BR 101 highway (km 243 - South, coordinates 27°53'22" S; 48°39'04" W), in the municipality of Palhoça, Santa Catarina (SC), approximately 6 km from the current coastline (Fig. 1).

### **2.1. Geology and geomorphology**

The Santa Catarina Coastal Plain (**SCCP**) comprises a series of geomorphological features and natural systems and is comprised of sedimentary deposits formed under marine, transitional and continental influence, directly related to the relative variations of sea level during the Quaternary. Along the more internalized portion, the SCCP presents basalt rocks of the Serra Geral Formation and the Serra do Mar granites. Geomorphologically, the SCCP is a rocky scarp and embayment system coastline, presenting many barriers, strandplains, pocket beaches and infrequent estuarine systems (Hesp et al., 2009). This coastline also presents a great deal of colluvial, alluvial, wetland and eolic depositional environments (Horn Filho, 2003) (Fig. 1).

There are two hydrographic basins in the region. Both are meandering rivers: the Maciambu River, to the north, and the Madre River, to the south (Figure 1). The Maciambu River Basin covers an area of 137 km<sup>2</sup>, with approximately 80% on the granite basement and 20% on the coastal plain, while the Madre River Basin occupies an area of 305 km<sup>2</sup>, 70% of which is located on the coastal plain (Amin Jr. and Dillenburg, 2010).

### **Insert Fig. 1**

## **2.2. Climate and vegetation**

Santa Catarina state is situated in the subtropical zone, transitioning from a tropical to a temperate climate. According to Köppen's classification (1948), Santa Catarina presents two distinct climate types: subtropical warm summers (*Cfa*), covering most of the Santa Catarina territory, and the subtropical humid summers (*Cfb*), restricted to the plateau area (Alvares et al., 2013). The *Cfa* climate is also observed across the Santa Catarina coast, and the altitudes up to 500 and 600 m (Alvares et al., 2013) present temperatures above 10°C in the warmest month and above 0°C in the coldest month, but below 18°C. In the last decades, the precipitation has presented characteristics of seasonality, and the influences of the relief and the occurrence of different atmospheric systems have favored the existence of dry and rainy quarters for region (Viana, 2009).

Three air masses influence the SC coastal environment: the Atlantic Tropical Air Mass (ATM), Atlantic Polar Air Mass (APM) and Continental Equatorial Air Mass (CEM). In summer, the latter favors the convergence of winds from the Atlantic Ocean, elevating the relative humidity of the air and resulting in abundant rainfall. The ATM, generated over Atlantic waters, is a warm and humid air mass and is active throughout the year, mainly on the coast, where the topography promotes considerable orographic precipitation throughout the year (Hasenack and Ferraro, 1989; Tomazelli, 1993; Grimm, 2009). The APM has its origin over the Atlantic Ocean, in the center-south of Patagonia, with cold and humid characteristics (Mendonça and Danni-Oliveira, 2007). In addition, it is associated with the ATM, generating frontal rainfall (Mendonça and Danni-Oliveira, 2007).

The atmospheric systems of oceanic origin, ATM, MPA and CEM, boast high regional rainfall (1,200-1,950 mm), over the Serra Geral highlands, the coastal zone and the associated Atlantic Forest slopes of the Serra do Mar (Mendonça and Danni-Oliveira, 2007). The Atlantic Ocean's moderating action is also an important

component on thermal and pluviometric regulation of this sector, since the Brazilian Current significantly influences regional humidity and temperature from the tropics to the southern latitudes (Grimm, 2009).

In general, the climate of Santa Catarina offers optimal environmental conditions to sustain the rich biodiversity of the tropical and subtropical moist broadleaf forests comprising the Atlantic Forest Domain (IBGE, 2004, 2012). Alternatively, the area encompassing this study may also be defined by two phytoecological formations: (i) Dense Ombrophilous Lowland Forest and (ii) the sandy coastal plain environment (regionally called *restinga*) (Tonhasca Jr. 2005; IBGE, 2012; Coutinho, 2016).

### **3. Materials and methods**

#### **3.1. PSC-03 core sample**

The core sample PSC-03 was collected inside a forest along the BR 101 highway (27°53'22" S / 48°39'04" W) (Fig. 1). At the depth of 300 cm, the sedimentary section consists of fine sand layers interspersed with silt and a high content of organic matter. The interval between 300-245 cm presents a fine dark-gray sand matrix with fragmented and whole shells; between 245-145 cm, the core was composed of fine-dark gray homogeneous silt; between 145-35 cm, the core presented a fine black sand matrix and some plant fragments; in the upper range (35-0 cm), the predominant sediment consists of organic rich black soil, with fragments of leaves and roots (Fig. 2).

#### **3.2. Palynology and Palynofacies**

Sixty samples of 3 cm<sup>3</sup> each, spaced 5 cm apart, were extracted for palynological and palynofacies analyses (Fig. 3) and were processed at the Marleni Marques Toigo Palynology Laboratory, Geosciences Institute, Federal University of Rio Grande do Sul (LPMMT / UFRGS), according to the methods established by Wood et al. (1996). The samples were treated with cold acids (HCl and HF) and were not subjected to oxidative processes. In each sample, we added a *Lycopodium clavatum* tablet (Stockmarr, 1971). After the acid digestion step, the resulting material was sieved to the concentration of palynological residue, between 10 µm and 250 µm, resulting in one slide for each segment sample. This set was then cataloged in the LPMMT / UFRGS palynological collection under MP-P coding (Fig. 2).

The morphological and morphometric characteristics of the organic wall microfossils was performed by optical microscopy (Olympus BX 61) of transmitted light and incident blue light (fluorescent light) and magnified 1000x, followed by the respective taxonomic identification. According to Traverse (1994) and Tyson (1995), particulate organic matter was classified into four large groups: palynomorphs, zooclasts, phytoclasts and amorphous organic matter (Table 1).

To quantify the relative proportions of the main groups of the particulate organic matter, a minimum of 500 particles were counted on each slide (Tyson, 1995). The count was performed under 40x magnification.

The constituents estimated the relative frequency (%) of the palynological organic matter, which was calculated over the total number of particles counted per slide (500 particles). To identify distinct palynofacies, the quantification of the organic matter was submitted to a cluster analysis. The Tilia 1.7.16 software was employed to obtain the relative frequency, as well as the cluster analysis (Grimm, 2011).

**Insert Table 1**

**Insert Fig. 2**

### **3.3. Isotopes of $\delta^{13}\text{C}$ and C/N**

Twenty samples were selected (Fig. 3) and forwarded for the analysis of  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N composition at the CAIS Laboratory (University of Georgia, USA). The combined analysis of these isotopes allowed for the distinction of sources of organic matter, which accumulated in coastal depositional sequences. It is possible to distinguish between  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  vegetation and freshwater and marine algae. The isotopic quantities were calculated in relation to the standard values of PDB for  $\delta^{13}\text{C}$  and the atmospheric nitrogen ( $\text{N}_2$ ) concentration for  $\delta^{15}\text{N}$ , with an error lower than 0.1‰.

### **3.4. Chronology**

The chronology of the PSC-03 core sample is based on seven selected samples (Fig. 2) and forwarded to the CAIS Laboratory for radiocarbon analysis, Mass Spectrometer Accelerator (AMS). For radiocarbon dating calibration, we employed the CALIB software (RadiocarbonCalibration 7.1; Stuiver et al., 2016), based on the Southern Hemisphere SHCal13 curve (Hoog et al., 2013). The age-by-depth model was established using the linear interpolation method, employing the



Tilia 1.7.16 software (Grimm, 2011). The dating described in this work are in calendar years before the present (cal yr BP), and the present is defined as 1950.

## 4. Results

### 4.1. Chronology

The radiocarbon ages obtained are presented in Table 2 and Fig. 2 present a temporal amplitude between the middle and late Holocene, with a baseline age of 7,744 cal yr BP. In particular, the sample at 155 cm depth presented controversial dating with respect to the above and underlying dating (Table 1); its greater error spectrum limits its use for geochronological control. This type of occurrence is not unique to the southern Brazilian coast (e.g., Behling and Negrelle, 2001; Hein et al., 2013) and has generally been interpreted as a result of mixing detrital components of different ages.

**Insert Table 2**

### 4.2. Geochemical analyzes of $\delta^{13}\text{C}$ and C/N

The concentration of  $\delta^{13}\text{C}$  along the core sample shows considerable variation between -20.77‰ and -29.66‰ (Fig. 3A), with higher values (between -20.77‰ and -23.51‰) interspersed between 300 and 140 cm depths (samples 1 to 33). The concentration of  $\delta^{13}\text{C}$  tends to decrease towards the top, from -27.11 at a depth of 125 cm (sample 36) to -29.20 ‰ at a depth of 70 cm (sample 47). In the interval close to the top of the core sample, the concentration of  $\delta^{13}\text{C}$  presents the smallest variations, from -28.53‰ to -29.63‰.

Likewise, the C/N isotope ratio also showed great variation along the core sample, between 15.55 and 68.03 (Fig. 3B), with lower values between 15.55 and 29.44 at between 300 (sample 1) and 140 (sample 33) cm in depth. Between 125 (sample 36) and 70 (sample 47) cm in depth, the ratio ranges from 50.11 to 68.03. In the top samples (55 to 05 cm) the C/N variations were more abrupt, between 35.90 and 65.63.

**Insert Fig. 3**

### 4.3. Palynology and Palynofacies

The analyzed samples contain an abundant amount of organic matter, except for sample 3 (290 cm depth), in which 500 particles could not be reached. However, it was possible to count 300 particles minimally. Within the four large groups of

particulate organic matter, it was possible to distinguish 20 categories representing the total palynological assembly.

The identification, biological and constituent origin of each category is synthesized in Table 1, and a taxonomic list, identifying the palynomorphs groups, is presented in Table 3. Detailed information on the taxonomy of dinoflagellate cysts and tintinnomorphs is presented in Silva et al. (2017) and Silva and Souza (in press).

### **Insert Table 3**

The preservation of the palynological assembly is satisfactory, with differences along the core sample. At the basal levels, the palynomorphs with ruptured or dented walls are common; pyrite crystals adhered to certain specimens, and phytoclasts were observed at several levels. Selected palynomorphs taxa are shown in Fig. 4 and 5.

### **Insert Fig. 4**

### **Insert Fig. 5**

Based on the cluster analysis (CONISS), three palynofacies associations (I, II and III) were revealed (Fig. 6). Using the linear interpolation method, an age-by-depth model was established for each of the identified palynofacies (Table 4).

### **Insert Fig. 6**

### **Insert Table 4**

## **5. Discussion of results**

### **5.1 Isotopic data**

Isotopes of  $\delta^{13}\text{C}$  and the C/N ratio preserved in sediments are important sources of information on variations in relative sea level for coastal areas (Wilson et al., 2005a, 2005b; Khan et al., 2015). Meyers (1994) proposes the joint application of  $\delta^{13}\text{C}$  and the C/N ratio to distinguish the origin of the organic matter preserved in the sediments derived from several sources, such as vascular plants ( $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$ ) and marine or freshwater phytoplankton (Meyers, 1994, 1997, 2003, Wilson et al., 2005a, 2005b; Lamb et al., 2006, 2007, Khan et al., 2015).

Thus, as a result of the physiological and biochemical characteristics of the plants during the photosynthetic cycle, the organic matter that originated from  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  plants have concentrations of  $\delta^{13}\text{C}$  from -32 to -21‰ and -17 and -9‰, respectively. Using the physiological and biochemical criteria for photosynthesis and the concentration of  $\text{CO}_2$  dissolved in the water column, depending on the temperature of the water body, organic matter from marine phytoplankton exhibits a

$\delta^{13}\text{C}$  concentration between -24 and -18‰ (Meyers, 1994, 1997, 2003; Lamb et al., 2006).

Algae usually present a C/N ratio between 4 and 10, while vascular terrestrial plants have a ratio above 20 (Meyers, 1994; Tyson, 1995). This difference results from the absence of cellulose in the composition of the former and the abundance of this compound in the latter; additionally, algae are richer in proteins (Meyers, 1994, 1997, 2003).

Based on the combined  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N analysis of the selected samples, it is possible to infer that organic matter originates from two distinct sources: marine phytoplankton and terrestrial  $\text{C}_3$  plants (Fig. 7). According to Meyers (1994, 1997, 2003), the advantage of the combined use of the  $\delta^{13}\text{C}$  concentration and C/N ratio is that these parameters represent the entire mixture of components making up the organic matter contained in the sedimentary deposit.

Considering the relationship between  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N shown in Fig. 8, three samples (9, 22 and 33) present predominantly marine organic matter, while eight (39, 36, 43, 47, 50, 53, 56 and 59) are derived from  $\text{C}_3$  plants. Nine samples (1, 4, 6, 13, 16, 19, 24, 27 and 30) are positioned very close to the mixing area between the two sources but are located in the  $\text{C}_3$  plant domain (Fig. 7).

**Insert Fig. 7**

## 5.2 Palynofacies and paleoenvironments

The paleoenvironmental interpretation of the studied section is based on the integration of the palynofacies and isotopic data (Fig. 8). From the cluster analysis, the section was subdivided into three palynofacies mainly based on the ratio of the marine palynomorphs (dinoflagellate cysts and foraminifera linings) and continental (sporomorphs and freshwater algae) species, which present inversely proportional distributions (Fig. 6). The changes in the relative frequency of the distinct constituents of the palynological organic matter are related to the last transgressive maximum of the Holocene.

The palynofacies are described as follows, along with the relative frequency values corresponding to the groups of the particulate organic matter, which are expressed with their maxima and minima.

### 5.2.1 Palynofacies I (300 to 145 cm depth; 7,744 to 2,884 cal yr BP)

Palynofacies characterized by the predominance of amorphous organic matter (AOM) (38.73% to 73.85%), followed by spores (25.37% to 75%), with fungi (3.45% to 50%) and Gonyaulacoid dinoflagellate cysts (2, 44% -36.36%). Variations in the constitution of the marine palynomorphs allowed dividing this palynofacies into Palynofacies Ia (samples 1 to 27) and Palynofacies Ib (samples 28 to 32). All occurrences of marine palynomorphs (dinoflagellate cysts, foraminifera linings) are restricted to this palynofacies (Fig. 6).

#### **Palynofacies Ia (300 to 170 cm depth)**

Consisting of 27 samples, where all four major groups of organic matter are identified. The most abundant group is AOM, with a relative frequency between 38.73% and 73.85%. Within the palynomorph group, spores are the most representative, with a relative frequency varying from 25.37% to 64.06%. Fungi are recorded at 3.45% to 37.44% frequency, freshwater algae occur with a maximum of 8.16% frequency. Angiosperm grains occur frequently between 2.27% and 34.15%, and gymnosperms have a relative frequency of less than 3% (Fig. 6).

Among the marine palynomorphs, Gonyaulacoid dinoflagellate cysts are the most frequent at 2.44% to 36.36%; cysts of the order Peridinioid present low relative frequency, 0.88% to 3.49%; foraminifera linings are recorded with a frequency of 1.48% to 17.54%. Tintinnomorphs present a relative frequency of 1.48% to 13.33% (Fig. 6).

The other components of the palynological organic matter are characterized by corroded opaque phytoclasts at 5.75% to 20.81%, elongated opaque phytoclasts are 1.39% to 7.28%, opaque phytoclasts are 0.34% to 8.21%, translucent nonbiostructured phytoclasts are 4.79% to 18.08%, hyphae are 0.18% to 5.81%, tracheids are 0.17% to 9.66% and zooclasts are 0.88% to 9.76% (Fig. 6). It is common to record clusters of pyrite crystals on phytoclasts or, more rarely, inside palynomorphs.

#### **Palynofacies Ib (165 to 145 cm depth)**

Composed of 5 samples, the dominant group continues to be OAM with 60.87% to 52.72% relative frequency. Among continental palynomorphs, spores are the best represented (34.43% to 75%), followed by fungi (4.55% to 50%). Angiosperm pollen grains are frequently recorded between 1.14% and 16%, and gymnosperms and freshwater algae present representativeness <5% (Fig. 6).

Among the marine palynomorphs, there are Gonyaulacoid dinoflagellate cysts (1.15% to 13.11%) and foraminifera linings (<3.5%). Peridinioid dinoflagellate cysts

and tintinnomorphs are not recorded in this subdivision. The other constituents of particulate organic matter are translucent phytoclasts (1% to 24.90%), opaque phytoclasts (1% to ~5.5%) and zooclasts (<2.5%) (Fig. 6).

In general, in this palynofacies, the most abundant group of the particulate organic matter is the MOA, followed by the spores. However, the presence of marine palynomorphs (dinoflagellate cysts, foraminifera linings) allows us to infer marine conditions (Fig. 8). The isotopic data indicate the contributions of marine and terrestrial organic matter (Fig. 7).

The abundance of AOM suggests low oxygen conditions. High levels of MOA are deposited in areas away from fluvial activity, indicating anoxic conditions and low energy in the depositional system (Tyson, 1995). Among the opaque phytoclasts, corroded are represented the best, suggesting a greater transport time and distance from the source area to the depositional site (Tyson, 1993), while translucent phytoclasts, usually deposited near the source area (Carvalho et al., 2005), are subordinate. It is not difficult to find clusters of pyrite crystals on the translucent phytoclasts or on the walls of the palynomorphs (Fig. 4J-K and 5M).

Spores have an excellent state of preservation, presenting very few specimens with damaged walls, indicating proximity to the source area, under wet conditions, in proximal facies (Tyson, 1995; Batten, 1996). Pollen grains of angiosperms and freshwater algae present low relative frequency and poor preservation status, since they commonly are corroded or dented wall specimens, making taxonomic recognition difficult, indicating an effective sediment transport performance.

The marine influence is identified based on the recognition of dinoflagellate cysts and foraminifera linings. Between 285-175 cm in depth (~6,621 - ~3,043 cal yr BP) there is the following association of dinoflagellate cysts: *Brigantedinium simplex*, *Brigantedinium* spp., *Lejeunecysta* spp., *Selenopemphix nephroides*, *Selenopemphix quanta*, *Operculodinium centrocarpum* and *Spiniferites* spp. (Fig. 4A-I). The largest number of peridinioid taxa (*Brigantedinium*, *Lejeunecysta* and *Selenopemphix*) on the gonyaulacoid (*Spiniferites* and *Operculodinium*) points to internal neritic regime (de Vernal and Giroux, 1991). Foraminifera linings (Fig. 4J-K) are excellent environmental markers of influence or marine connection with the depositional site (Tyson, 1995; Batten, 1996; de Vernal, 2009; Mudie et al., 2011).

Van Waveren (1994) proposed the use of the term "Tintinnomorphs" (Fig. 4O-T) to group organic wall microfossils resembling organic remains of tintinnids but with

insufficient characteristics to be identified as true lorica, cysts or pouch. Other protozoa or parts of other organisms, such as rotifers and turbellarians. The scarcity of systematic studies as well as the uncertainty of biological affinity limits their use for paleoenvironmental purposes. However, in modern marine sediments, these palynomorphs are always associated, albeit subordinate, to other marine elements, such as dinoflagellate cysts, foraminifera linings, acritarchs and copepod eggs (Kawamura, 2004; Hardy and Wrenn, 2009; Matsuoka et al., 2017). The tintinnomorphs recorded in core sample PSC-03 occur with terrestrial palynomorphs (spores, pollen grains, fungi and freshwater algae) and marine elements (dinoflagellate cysts and foraminifera linings) and become absent at those levels where marine palynomorphs are scarce or absent (Fig. 9). Holocene palynological records show their occurrence in marginal marine deposits with large nutrient inputs (Grill et al., 2002, Borromei and Quattrocchio, 2001, 2007; Sparica et al., 2005; Roncaglia, 2004; Mudie et al., 2010, 2011).

The low diversity of dinoflagellate cysts associations indicates restricted and stressful conditions, such as large variations in salinity (Wall et al., 1977; Gorin and Steffen, 1991; Tyson, 1995; Prauss, 2000). The occurrence of pyrite crystals adhered to phytoclasts and palynomorphs suggests reducing conditions associated with marginal marine environments (Candel et al., 2011, 2013).

The values of  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N show that the sources of organic matter present a mixture of marine and terrestrial origin, corroborating the palynofacies data. Samples 1 to 30 presented values of  $\delta^{13}\text{C}$  between -20.77‰ and -23.51‰, and C/N ratio between 15.55 and 29.44 (Fig. 7). With the relationship between  $\delta^{13}\text{C}$  and the C/N ratio (Fig. 7), two samples (9 and 22) predominantly present a marine organic matter source and nine samples (1, 4, 6, 13, 16, 19, 24, 27 and 30) present a source from  $\text{C}_3$  plants (Meyer, 1994; Wilson et al., 2005a; Lamb, 2006; Khan et al., 2015).

Palinofácies and palynological data allow us to infer marginal marine environmental conditions. This interpretation corroborates the geochemical data of the  $\delta^{13}\text{C}$  ratio and the C/N ratio, which show a mixture of marine and terrestrial  $\text{C}_3$  plant sources (Fig. 7).

### **5.2.2 Palynofacies II (140 to 80 cm depth; 2,857 to 2,276 cal yr BP)**

This palynofacies is represented by 13 samples, in which fungi are relatively abundant (24.48% to 71.48%); spores (11.76% to 31.74%), freshwater algae (2.41% to 46.29%), and pollen grains of angiosperms (3.68% to 19.05%) present varying

frequencies, and pollen grains of gymnosperms are rare (<1%). Marine palynomorphs (dinoflagellate and foraminifera linings) are no longer found in the sedimentary record (Fig. 6).

In relation to Palynofacies I, AOM shows a reduction in its representation; however, it is still one of the constituent groups of particulate organic matter with the highest relative frequency (10.53% to 38.38%). Among the translucent phytoclasts, the nonbiostructured ones are represented the best (10.10% to 45.03%), followed by tracheids with 1% to 13.77%, and cuticles and fungal hyphae present frequencies between 1% and 5%. Opaque phospholipids have an expressive reduction in their frequency: corroded with <9%, elongated with <5% and angled with <4%. Zooclasts occur with a relative maximum frequency of 2% (Fig. 6).

Fungi are responsible for the degradation of upper plant tissues and indicative of moisture in the environment (Muller, 1959; Elsik, 1996; Batten, 1996; Mudie et al., 2011). The great participation of fungi suggests the formation of soils with a high organic matter content (Fig. 8). This finding is corroborated by the significant percentages of spores, which indicate the effective contribution of pteridophytic vegetation under humid conditions (Tyson, 1993; Meyer et al., 2005a).

The reduction of AOM representation and the opaque phytoclasts, as opposed to the increase in the representation of the translucent phytoclasts, can be explained by more oxidizing environmental conditions. A high percentage of translucent phytoclasts in particulate organic matter indicate the proximal origin of facies and oxic environmental conditions (Tyson, 1993; Carvalho et al., 2005; Meyer et al., 2005a).

Algae related to the Zygnemataceae family (*Mougeotia*, *Zygnema*, *Spirogyra*) are typical of freshwater environments, such as lakes with shallow water depths, wetlands or soggy soils (Van Geel and Grenfell, 1996; Van Geel, 2001). According to Van Geel (1976, 1979), in general terms, Zygnemataceae produce spores in freshwater bodies that are shallow, quiet, oxygen rich and whose temperature can rise rapidly to the levels required for this process.

In the graph of the relationship between isotopes of  $\delta^{13}\text{C}$  and the C/N ratio (Fig. 7), it is observed that sample 33 (140 cm depth) is of marine organic matter origin, which should be attributed to the proximity of Palynofacies I, suggesting a marine signature. Most likely, during the sea-closure period, a considerable amount of the marine phytoplankton tolerant to salinity variations of the water column were deposited on the bottom sediments and degraded, promoting the elevated AOM in

the first sample of Palynofacies II (Fig. 8). However, the other samples (36, 39, 43) presented lower values of  $\delta^{13}\text{C}$  (-27.03 ‰ to -27.69 ‰) and an increase in the C/N ratio concentration (50.62 to 68.03). These data indicate the predominance of  $\text{C}_3$  plants as a source of organic matter (Meyer, 1994; Wilson et al., 2005a; Khan et al., 2015) (Fig. 7).

The isotopic data corroborates the palynological and palynofacies data (Fig. 8). Tree taxa (Myrtaceae, *Ilex*, *Alchornea*, *Drymis brasiliensis*, *Sebastiania*) are recorded in a better state of preservation, but with little expressiveness. Also herbaceous (Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae Subf. Asteroid, Amaranthus/Chenopodiaceae, Oxalidaceae, *Gunnera*, *Gomphrena*) and aquatic taxa (*Ludwigia* and *Utricularia*) are recognized. The abundance of fungi suggests the formation of soils rich in organic matter and with high moisture content. The high relative frequency of spores associated with zygospores and fragments of freshwater algae reinforces the presence of the water column.

### 5.2.3 Palynofacies III (75 to 0 cm depth; 2,124 cal yr BP to present)

This palynofacies covers 15 samples. Among the palynomorphs, the pollen grains of angiosperms are the most abundant (7.53% to 65.78%); spores and fungi occur subordinate (10.43% to 57.74% and 10.92% to 62.67%, respectively). Freshwater algae constitute between ~1% and 19.26% of the association and are absent at higher levels (Fig. 6).

The rest of the groups of particulate organic matter consist of AOM (18.71% to 38.59%) and phytoclasts. Among the latter, nonbiostructured translucent phytoclasts are detached (6.49% to 41.90%), and fungal, tracheid and cuticle hyphae do not individually exceed 5.5% in frequency. Corroded zooclasts and phytoclasts are scarce (<1.5% and <5%, respectively) (Fig. 6).

The abundance of pollen grains of angiosperms and spores indicates great influence of terrestrial vegetation. The excellent state of preservation and the greater representativeness of the sporomorphs in this palynofacies reinforce the interpretation. The continuous record of fungi in the samples is associated with the abundance of plant remains typically characteristic of marshy environments, fluvial-lacustrine, lagoons, delta and marine proximities, old and modern (Tyson, 1995; Batten, 1996). The reduction in freshwater algae demonstrates the colonization of the flooded area by arboreal vegetation under moist soil conditions.



The reduction in the frequency of opaque phytoclasts and the increase in the participation of translucent phytoclasts in the constitution of palynological organic matter, a situation established in the anterior palynofacies, indicates oxidative conditions in an environment close to the producing plants. During the pedogenetic process of the forest environments, it is common to record fragments of plant tissues and amorphous particles; however, the preservation of translucent phytoclasts may be abundant due to the high productivity of the local vegetation. In addition, the abundance of fungi (spores, hyphae and filaments) suggests the aerobic degradation of plant tissues (Sebag, et al., 2006).

Isotopic data corroborate the palynological and palynofacies interpretations. The lowest values in the concentration of  $\delta^{13}\text{C}$  (-28.53‰ to -29.63‰) and the increase in the concentration of the C/N ratio (35.90 to 65.63) in samples 47, 50, 53, 56 and 59 confirm the dominance of  $\text{C}_3$ -type plants as a source of organic matter (Meyers, 1994; Wilson et al., 2005a) (Fig. 7).

The palynological associations of Myrtaceae, *Ilex*, *Alchornea*, *Drymis brasiliensis*, and *Sebastiania* suggest the colonization of the depositional site area by arboreal forms of constituents of the Atlantic Forest (Behling & Negrelle, 2001; Lorscheitter, 2003). The abundant occurrence of spores in relation to the regional palynoflora can be used as an indicator of wet conditions (Tyson, 1993). The common record of fungal spores of *Exesisporites*, *Fusiformisporites*, *Hypoxylonites*, *Monoporisporites*, *Pluricellaesporites* and *Mediaverrunites* corroborates the inference of higher humidity and suggests hot weather conditions (Nandi and Sinha, 2007). In particular, the genus *Mediaverrunites* has been recorded in deposits associated with tropical and subtropical climates from the Miocene to the Holocene (Muller, 1959; Arai et al., 1988; Elsik 1996; Elsik and Jarzen 2009; Guimarães et al.; 2013; Cassino and Meyer, 2013; Nuñez et al., 2017).

In the present study, it was observed that the  $\delta^{13}\text{C}$  concentration values in the samples indicate the dominance of  $\text{C}_3$  plants associated with more humid conditions (Saia et al., 2008; Pessenda et al., 2012) (Fig. 7).

### **Insert Fig. 8**

### **5.3 Correlated occurrences on the southeast coast of South America**

Paleoenvironmental studies developed on the southern coast of Brazil (SCCP and RSCP) and the coasts of Uruguay and Argentina show that postglacial transgression has caused a series of transformations in the landscape, many of

which are interpreted or corroborated based on the micropaleontological content, especially palynomorphs and diatoms. Thus, it is essential to compare the data obtained in the PSC-03 core sample with those obtained in other locations on the southeast coast of South America (Fig. 9).

With respect to SCCP, Behling and Negrelle (2001) presented the marine ingression register in the northern portion of the Santa Catarina coast (site 1, Fig. 9A and B) with the occurrence of foraminifera lining between 12.220 and 6.100 yr BP, including a register of specimens of *Rhizophora*, a typical mangrove taxa. Vilanova and Prieto (2012) identified halophyte communities composed of taxon related to marshes (*Spartina alterniflora*) associated with dinoflagellate cysts (*Operculodinium* and *Spiniferites*) periodically flooded by tides related to the progressive rise in sea level between 7,800 and 5,400 yr BP. Considering the pollen spectrum of halophyte communities associated with dinoflagellate cysts peaks (*Operculodinium* and *Spiniferites*), the interval between 6,200 and 5,500 yr BP is marked as the maximum of the marine transgression in Rio Salado (site 11, Fig. 9A and B), Argentina. In Arroio Solís Grande (sites 9, Fig. 9A and B), Uruguay, Mourelle et al. (2015) identified coastal marshland elements (*Spartina* sp. and Chenopodiaceae) that developed in the vicinity of the estuary between 8.000 and 5.100 yr BP, with a maximum transgressive between 6,300 and 5,100 yr BP. This was interpreted as due to the high frequency of acritarch of the genus *Mychrostridium* and *Cymatiosphaera* and peaks of dinoflagellate cysts of the genera *Operculodinium* and *Spiniferites*.

In RSCP, the evidence of marine transgression is recognized from 6,700 yr BP. Marine palynomorphs (foraminifera linings, dinoflagellate cysts and acritarchs) are recorded at the base of the sedimentary sequence of the Capão do Leão palynological site (Neves, 1998) (site 6, Fig. 9A and B). In the lagoon sequences of Lagoa dos Quadros, Laguna de Tramandaí and Laguna dos Patos (sites 5, 7 and 8, Fig. 9A and B), traces of the transgression between 6,700 and 5,200 yr BP are also found (Cordeiro and Lorscheitter, 1994; Lorscheitter and Dillemburb, 1998; Meyer et al., 2005a). In this case, the transgressive maximum was inferred based on the peaks in the percentages of dinoflagellate cysts (*Operculodinium* and *Spiniferites*), acritarch (*Michrostridium* sp.) and foraminifera lining associated with psamophytic and halophyte taxa (Poaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae) (Cordeiro and Lorscheitter, 1994; Lorscheitter and Dillemburb, 1998; Neves, 1998).

The data presented by Cancelli (2012) and Kuhn et al. (2017) in Santa Rosa do Sul, São João do Sul and Garopaba in SCCP (sites 2 and 4, Fig. 9A and B) recorded the marine influence between 7,900 and 3,135 yr BP from the recognition of marine palynomorphs, such as cysts of dinoflagellates (*Operculodinium* and *Spiniferites*), acritarchs (*Michrystidium* sp., Acritarch sp.1, Acritarch sp.2) and foraminifera linings. In the region of Jaguaruna, Amaral et al. (2012) also verified the marine influence between 5,500 and 2,580 yr BP based on sedimentological, micropaleontological (palynology and diatomaceous) and isotopic ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , C/N) data, characterizing the sedimentary deposit under the influence of the tidal zone.

Vilanova et al. (2006) found the pollen spectrum indicates the development of psamophytic and halophyte vegetative communities related to the development of coastal barriers between 5,400 and 3,300 yr BP. In the same period, Vilanova et al. (2008), based on the low diversity and abundance of dinoflagellate cysts *Operculodinium* and *Spiniferites*, interpreted the depositional site under the influence of a tidal or restricted littoral zone.

In the SCCP, after the 6.100 yr BP, foraminifera linings are no longer recorded by Behling and Negrelle (2001) (site 1, Fig. 9A and B), indicating the closure of the depositional site connection with the sea. From that moment on, the registration of tropical rainforest taxa became more frequent. Cancelli (2012) and Kuhn et al. (2017) (sites 2 and 4, Fig. 9A and B), recorded a reduction in marine influence between 3,135 and 800 yr BP, with the decrease or disappearance of marine palynomorphs (dinoflagellate cysts, foraminifera lining and acritarch). With the reduction of the marine influence, a progressive increase of the regional flora indicated by the increase of the frequency of arboreal taxa occurs.

For Argentina, in the locality of Río Salado (site 11, Fig. 9A and B), the halophyte species with the highest proportion of *Spartina densiflora* (Poaceae) and *Sarcocornia perennis* (Chenopodiaceae) associated with marine elements (*Michrystidium* sp., *Operculodinium* and *Spiniferites*) in lower proportions characterize weaker estuarine conditions resulting from the regressive process between 5,400 and 4,300 yr BP (Vilanova and Prieto 2012). Between 4,300 and 1,710 yr BP, the substitution of halophyte species by typical species of brackish marshes represented by the domain of Chenopodiaceae associated with Cyperaceae, Asteraceae and *Ambrosia* occurs. Marine palynomorphs are no longer recorded, which suggests the isolation of the depositional site from the direct action of the sea. The end of the marine connection with the area allowed a greater

influence of the Salado River on the depositional site and the development of a grassland environment (Vilanova and Prieto, 2012).

In the RSCP, after the transgressive maximum, the palynological records indicate a progressive and continuous regression of the sea, which led to the desalination of part of the lands and water bodies from 4,000 yr BP (Cordeiro and Lorscheitter, 1994; Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Meyer et al., 2005a) (sites 5, 7 and 8, Fig. 9A and B). These palynological data are in accordance with the Holocene geological evolution model of the RSCP (Villwock, 1984; Villwock and Tomazelli, 1995).

In Lagoa Negra (site 10, Fig. 9A and B), Uruguay, between 4,3214 and 2,939 yr BP, Garcia-Rodriguez et al. (2010) verified elements indicative of salinized soil (Chenopodiaceae) and with brackish water influence (cysts of *Peridinium* sp.). As the marine regression intensifies, the increase in the Cyperaceae and freshwater macrophytes (*Myriophyllum*, *Pedissatrum* and *Botryococcus*) is recognized. After 3,504 yr BP, the current lake conditions are established based on the record of Lemnaceae, Apiaceae and *Typha*.

Approximately 2,900 yr BP, estuarine conditions were reduced to decreases in the occurrence of *Michrystidium* and *Cymatiosphaera* in the locality of Arroio Solís Grande (sites 9, Fig. 9A and B). The marine regression favored the formation of sandy bars that generated areas protected from the direct action of the sea, favoring the development of psamphytic and halophytic communities represented by Chenopodiaceae and Poaceae (Mourelle et al., 2015). After 1,000 yr BP, the development of marshes and grasslands were interrupted by complete isolation of the site from marine influence, maintaining only communication with waters of the La Plata River (Mourelle et al., 2015).

In the Bahía Blanca estuary (site 13, Fig. 9A and B), Argentina, Borel and Gómez (2006) identify the development of halophytic communities together with xerophytic forests; pollen grains of aquatic plants, chlorophyll algae, cyanophytes and acritarch and dinoflagellate cysts (*Operculodinium* and *Spiniferites*) that characterize of freshwater brackish bodies are present. The palynological association characterized to 3,500 yr BP suggests an environment with high turbidity, influenced by the action of the tides. Sedimentary deposits would have been formed in a period with sea level similar to the present, during the regressive phase. After 3,500 yr BP, the palynological association points to more restricted estuarine conditions.

In Argentina, after 3,300 yr BP, only one site (site 12, Fig. 9A and B) has an abundance and diversity of dinoflagellate cysts (*Operculodinium*, *Spiniferites*, *Brigantedinium*, *Echinidinium*, *Lejeunecysta*, *Quinquecuspis*, *Protoperidinium*, *Vontadinium*, *Polykrikos* and cf. *Selenopemphix*) that characterizes an internal neritic environment (Vilanova et al., 2008).

Although the transgression was generalized, some coastal sectors did not suffer direct action from the sea. Along the SE coast of South America, the record of marine ingress, or even accelerated sea level rise, is not synchronous in all areas, which is the result of the degree of isolation and distance that the different depositional sites have in relation to the sea. The interpretations presented here on environmental changes, in general, are in agreement with the proposed sea-level curves for the different sectors of the southern coast of Brazil (Angulo et al., 2006), Uruguay (Martínez and Rojas, 2013) and the estuary of the Rio de la Plata (Prieto et al., 2017).

#### **Insert Fig. 9**

#### **5.4. Paleoclimate**

Based on the analysis of different tools, the middle Holocene is characterized by hot and dry climate conditions for the region (Haug et al., 2001; Wanner et al., 2008; Mahiques et al., 2009; Chiessi et al., 2010; Gyllencreutz et al., 2010; Prado et al., 2013; Lantzch et al., 2014). During the mid-Holocene, the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) was positioned farther north, weakening the South American Summer Monsoon System (SASM) (Haug et al., 2001).

Coastal vegetation was strongly affected by marine ingression and climatic changes occurring in the middle Holocene. From the salinization of the water bodies and the land of the SE coast of South America, the development of psamophytic and halophytic coastal communities was recorded (Cordeiro and Lorscheitter, 1994; Lorscheitter and Dillemburg, 1998; Lorscheitter, 2003; Borel et al., 2003; Gracia-Rodrigues et al., 2010; Vilanova and Prieto, 2012; Mourelle et al., 2015). In Rio Grande do Sul, Atlantic Forest taxa occupied the more internalized areas that had favorable environmental conditions and were protected from marine influence during this period (Cordeiro and Lorscheitter, 1994; Lorscheitter and Dillemburg, 1998; Grala and Lorscheitter, 2001; Lorscheitter, 2003).

The positioning of the ZCIT further north caused a change in the intensity of the SASM in South America, resulting in reduced precipitation in the southern region

of Brazil (Melo and Marengo, 2008a, 2008b). However, this dry signal was not recorded in the samples belonging to this time interval for the material analyzed. A possible explanation for this divergence of local moisture interpretation compared to the regional scale may be due to the orographic effect of the crystalline massifs located near the study area.

The higher topography bars and condenses the hot and saturated moist air masses from the ocean, increasing precipitation along the coast and easing the drier regional conditions for the study area. According to Prado et al. (2013), depending on the regional atmospheric circulation, sea breeze, position and intensity of the South Atlantic Subtropical High, there could have been areas on the coast with wetter conditions. Based on paleoclimatic computational models, Melo and Marengo (2008a, 2008b) demonstrate that the transport of ocean-continent moisture was higher during the mid-Holocene on the Atlantic coast in southern South America. In modern climatological studies, it is demonstrated that the topography of the region (Hesp et al., 2009) is the main climate-controlling agent in the north of the RSCP, in the central and northern sector of the SCCP and in the Paraná coast (Hasenack and Ferraro, 1989; Dillenburg et al., 2009; Hesp et al., 2009; Grimm, 2009).

Behling and Negrelle (2001) suggest humid climatic conditions between 12,220 – 6,100 yr BP in an area also close to crystalline massifs in the northern sector of the SCCP (Volta Velha), considering the record of component taxa of the Atlantic Forest (*Myrsine*, *Arecaceae*, *Weinmannia*, *Hedyosmum*, *Sloanea* and *Clusia*). In Rio Grande do Sul, Grala and Lorscheitter (2001) infer an expansion of the forest to 6,000 yr BP from the record of constituent specimens of the Atlantic Forest, suggesting conditions of higher humidity on the Serra Geral slopes. The palynological data of Grala and Lorscheitter (2001) and Behling and Negrelle (2001) demonstrate the importance of relief in controlling some climatic parameters, such as the condensation of humid air masses from the ocean and their consequent precipitation to the establishment and expansion of the Atlantic Rainforest.

In ecological studies developed on the Tijuca massif, Oliveira et al. (1995) recorded significant differences for the slopes of the massif in the parameters temperature, precipitation and humidity. It has been shown that slopes facing south presented more ground cover humidity than those facing north and soil moisture behaves in the same way, only varying according to the type of associated vegetation cover. According to Coutinho (2016), the slopes that receive the humid winds are rainy and covered by forests.

For the late Holocene, the paleoclimatic data point to hot and humid conditions (Mahiques et al., 2009; Chiessi et al., 2010; Gyllencreutz et al., 2010; Razik et al., 2013; Lantzch et al., 2014). After 5,000 yr BP the ZCIT migrates further south (Haug et al., 2001; Gyllencreutz et al., 2010). The orbital, oceanographic and climatic changes that occurred during this period stimulated the intensification of SAMS over the SE of South America from 4,000 yr BP (Razik et al., 2013). Based on  $\delta^{18}\text{O}$  isotopic series of speleothems, Strikis and Novello (2014) demonstrate the increase in humidity in southern Brazil resulting from the intensification of SAMS from ~4,000 yr BP, data confirmed by SCCP palynological records (Behling and Negrelle, 2001; Cancelli, 2012; Kuhn, 2017). After 4,000 yr BP, higher humidity conditions are also recognized for RSCP, with marine regression and gradual desalination of soils, with the occurrence of west-east migration and expansion along the coast of the Atlantic Forest (Lorscheitter, 2003). At 3,000 yr BP, the northern portion of the southern continental margin of Brazil is characterized by a greater contribution of terrigenous sedimentation, corresponding to the stabilization of modern winds and river discharge patterns (Mahiques et al., 2009). The increase of humidity is also identified in coastal deposits of Uruguay after 2,500 yr BP (del Puerto et al., 2011). Between 2,000-1,500 yr BP, a greater contribution of terrigenous sediments resulting from precipitation intensification in the area of the drainage basin of the La Plata River is recognized (Razik et al., 2013; Lantzch et al., 2014). Through the Late Holocene, during the process of lowering and stabilizing of relative sea level, considering the specificities of each region (latitudinal range, climate, geomorphology, pedology and hydrology), the current vegetation of the SE coast of South America is established and is consolidated (Mourelle et al., 2015).

## **6. Conclusions**

The integrated analysis of palynofacies and isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  and C/N) of the organic matter allowed a reconstruction of the sedimentary history of core sample PSC-03. Based on the applied tools, it was possible to recognize three intervals, Palynofacies I, II and III, which reflect the environmental evolution of the depositional system during the middle and late Holocene.

Palynofacies I covers the time interval between 7,744 to 2,884 cal yr BP. Palynofacies and isotopic data show that the sources of organic matter present a mixture of marine and terrestrial origin. The marine influence is identified based on the recognition of dinoflagellate cysts and foraminifera linings. The low diversity of

dinoflagellate cysts associations (*B. simplex*, *Brigantedinium* spp., *Lejeunecysta* spp., *S. nephroides*, *S. quanta*, *O. centrocarpum* and *Spiniferites* spp.) indicate restricted and stressful conditions. The occurrence of pyrite crystals adhered to phytoclasts and palynomorphs suggests reducing conditions associated with marginal marine environments. Palynofacies and palynological data allow us to infer marginal marine conditions.

In Palynofacies II (between 2,857 to 2,276 cal yr BP), marine palynomorphs (dinoflagellate cysts and foraminifera linings) are no longer found in the sedimentary record. The isotopic data point to the predominance of C<sub>3</sub> plants as a source of organic matter. Tree taxa (Myrtaceae, *Ilex*, *Alchornea*, *Drymis brasiliensis*, *Sebastiania*), herbaceous (Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae Subf. Asteroide, Amaranthus/Chenopodiaceae, Oxalidaceae, *Gunnera*, *Gomphrena*) and aquatic taxa (*Ludwigia* and *Utricularia*) are present. The abundance of fungi suggests the formation of soils rich in organic matter and with high moisture content. The occurrence of algae in the family Zygnemataceae (*Mougeotia*, *Zygnema*, *Spirogyra*), characteristic of freshwater environments, indicates shallow waters, wetlands or soggy soils.

Palynofacies III is positioned between 2,124 cal yr BP and the present. The isotopic data points to the dominance of C<sub>3</sub> plants as a source of organic matter. The abundance of pollen grains of angiosperms and spores confirms the great influence of terrestrial vegetation. The continuous record of fungi is associated with the large volume of plant remains. The decrease of freshwater algae demonstrates the colonization of the formerly flooded area by tree vegetation, but under moist soil conditions. The participation of translucent phytoclasts in the constitution of palynological organic matter indicates oxidative conditions in an environment close to the producing plants. The palynological associations of Myrtaceae, *Ilex*, *Alchornea*, *Drymis brasiliensis*, *Sebastiania* suggest the colonization of the depositional site area by arboreal forms, constituting the Atlantic Forest.

The paleoenvironmental interpretation attributed to Palynofacies I is supported by characteristics of previous stratigraphic, sedimentological and geomorphological studies carried out at the Pinheira. Palynofacies I can be correlated with the stratigraphic unit I (Unit I, age 7,200 yr BP) described by Hein et al. (2013); characterized as internal platform facies, consisting of mud, sand and gravel, deposited below the level of normal waves, outside the storm domain during the last transgressive maximum. According to Amin Jr. (2004), during the mid-Holocene



(~5,000 yr BP) the coast paleoline was positioned approximately 5,500 m west of the current shoreline in direct contact with the crystalline relief. Between 5,000 and 3,000 yr BP, the area covered a lagoon system interconnected by two rivers (Madre and Maciambú). These connections allowed seawater to invade this system, forming a shallow estuarine complex (Hesp et al., 2009). Such information corroborates the interpretation of a marginal marine environment for Palynofacies I (7,744 to 2,884 cal yr BP). The beginning of sedimentation of the core sample and deposition of the strata constituting Palynofacies I are in agreement with the last transgressive maximum of the Holocene documented for the coast of Santa Catarina, which had its maximum extension between 5,800-5,000 yrs BP, when the sea reached ~2.5 m above its current level (Angulo et al., 2006).

Uncertainties about the biological affinity of tintinnomorphs, due to the lack of systematic studies on this group, limit their applicability as conclusive paleoenvironmental indicators. Despite this, Holocene palynological records show that tintinnomorphs are associated with frank marine or marginal marine deposits. Specimens of tintinnomorphs documented in core sample PSC-03 are restricted to Palynofacies I and occur in association with the terrestrial palynomorphs (spores, pollen grains, fungi and freshwater algae) and marine taxa (dinoflagellate cysts and foraminifera linings); however, these are no longer recorded at superjacent levels, where marine palynomorphs are scarce or absent.

The work developed here presents the largest variety of dinoflagellate cysts ever recorded from sampling from the southern Brazilian coastal plain, second only to the great variety and quantity that was collected from the Rio Grande Cone core samples (Lorscheitter and Romero, 1985; Gu et al., 2018) on the southern continental shelf of Brazil (Gu et al., 2017).

When comparing the associations of dinoflagellate cysts from core sample PSC-03 to the other works developed on the southern coastal plain of Brazil, large differences in composition are verified. The other studies present two genera of dinoflagellate cysts (*Operculodinium* and *Spiniferites*), associated or not with other marine palynomorphs (e.g., acritarch and foraminifera linings). In addition to the low diversity of genera identified until then, the quantitative representation of dinoflagellate cysts in relation to the palynological assembly is also very low, not exceeding 5% (Cordeiro and Lorscheitter, 1994; Lorscheitter and Dillenburg 1998; Meyer et al., 2005a, 2005b; Kuhn et al., 2017).

Possible explanations for the low diversity and quantitative representation of dinoflagellate cysts may be related to the nature of the depositional site and postdepositional diagenetic processes, and even associated with the palynological recovery methods used at any one of the respective laboratories. Such methods are mostly related to oxidative treatments, such as acetolysis and exposure to oxidation (e.g., KOH), often used as catalytic processes in the elimination reactions of organic matter other than sporomorphs. Conversely, the palynological associations of coastal quaternary sedimentary deposits can be affected by numerous agents, natural or induced by the type of laboratory processing, and some of the causes presented and discussed in Silva and Souza (in press).

The association of dinoflagellate cysts identified in Palynofacies I (*B. simplex*, *Brigantedinium* spp., *Lejeunecysta* spp., *S. nephroides*, *S. quanta*, *O. centrocarpum* and *Spiniferites* spp.) is similar to the Holocene assemblages recorded for the continental shelf of Argentina (Vilanova et al., 2008) and the Beagle Channel, south of Tierra del Fuego (Grill et al., 2002; Borromei and Quattrocchio, 2007; Candel et al., 2009, 2011, 2017). This comparison is made by the constitution of the assemblages and mainly by the occurrence of peridinioid taxa attributed to the genera *Brigantedinium*, *Lejeunecysta* and *Selenopemphix*, which point to an internal neritic regime with a varying salinity content and high availability of nutrients.

The integrated approach of stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  and C/N) and the analysis of palynofacies proved to be a valid way to reconstruct the depositional history of a coastal sedimentary environment, constituting an important source of information on the evolution of a sector of the Santa Catarina coast during the last transgressive maximum and its subsequent regression in the Holocene.

### **Acknowledgments**

The authors would like to thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the basic research project funding; the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS, proc. 1012119) for complementary funding; the support of the Instituto Federal do Rio Grande do Sul, through its Human Resources Training Program (IFRS proc. 233670022072015-50); and Burgo Braga, R for reviewing this manuscript. This paper is an integral part of the doctoral thesis of the first author.

## References

- Allen, J.R.L., Lamb, A.L., Dark, P. 2007. Seasonality of  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios in modern and mid-Holocene sediments in the Severn Estuary Levels, SW Britain. *The Holocene*. 17, 139-144. <https://doi.org/10.1177%2F0959683607073296>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22, 711-728. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Amaral, P.G.C., Giannini, P.C.F., Sylvestre, F., Pessenda, L.C.R. 2012. Paleoenvironmental reconstruction of a Late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multi-proxy analysis. *Journal of Quaternary Science*. 27(2), 181-191. <https://doi.org/10.1002/jqs.1531>
- Amin Jr., A.H. 2004. *Variações das propriedades granulométricas dos sedimentos da barreira costeira da Pinheira (SC) durante a sua progradação no Holoceno Superior*. MSc Thesis. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brazil 73pp. [Unpublished].
- Amin Jr., A.H., Dillenburger, S.R. 2010. Variation in the granulometric properties of the coastal barrier of Pinheira (SC) during its progradation in the Late Holocene. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 2, 25–39. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v2i1-2.15130>
- Angulo, R.J., Lessa, G.C., Souza, M.C. 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*. 25(5-6), 486-506. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>
- Arai, M., Uesugui, N., Rossetti, D.F., Góes, A.M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. in: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Belém. *Anais...* Belém, SBG, v. 2, p. 738-752.
- Batten, D.J., 1996. Palynofacies, in: Jansonius, J., McGregor, D.J. (Eds.), *Palynology: Principles and Applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, pp. 1011–1064.
- 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(3), 383-389. <https://doi.org/10.1006/qres.2001.2264>

- Bergamino, L., Schuerch, M., Tudurí, A., Carretero, S., García-Rodríguez, F. 2017. Linking patterns of freshwater discharge and sources of organic matter within the Río de la Plata estuary and adjacent marshes. *Marine and Freshwater Research*. 68, 1704-1715. <https://doi.org/10.1071/MF16286>
- Borel, C.M., Gómez, E.A. 2006. Palinología del Holoceno del Canal del Medio, estuario de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana*. 43(2), 399-412.
- Borel, C.M., Guerstein, G., Prieto, A. 2003. Palinomorfos acuáticos (algas y acritarcos) del Holoceno de la laguna Hinojales (Buenos Aires, Argentina): interpretación paleoecológica. *Ameghiniana*. 40(4), 531-544.
- Borromei, A.M., Quattrocchio, M. 2001. Palynological study of Holocene marine sediments from Bahía Lapataia, Beagle channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*. 33, 61-70.
- Borromei, A.M., Quattrocchio, M. 2007. Holocene sea-level changes inferred from palynological data in the Beagle channel, Southern Tierra del Fuego, Argentina. *Ameghiniana*. 44(1), 161-171.
- Cancelli, R.R. 2012. *Evolução paleoambiental da Planície Costeira sulcatarinense (Lagoa do Sombrio) durante o Holoceno, com base em dados palinológicos*. PhD Thesis. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brazil 159pp. [Unpublished].
- Cancelli, R.R., Souza, P.A., Neves, P.C.P. 2012a. Fungos, criptógamas e outros palinomorfos holocênicos (7908±30 anos AP-atual) da Planície Costeira sul-catarinense, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 26(1), 20-37. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062012000100004>
- Cancelli, R.R., Souza, P.A., Neves, P.C.P. 2012b. Grãos de pólen de angiospermas do Holoceno (7908±30 anos AP-atual) da Planície Costeira sul-catarinense, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 26(4), 866-885. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062012000400016>
- Candel, M.S., Borromei, A.M., Martínez, M.A., Bujalesky, G. 2013. Palynofacies analysis of surface sediments from the Beagle Channel and its application as modern analogues for Holocene records of Tierra del Fuego, Argentina. *Palynology*. 37(1), 62-76. <https://doi.org/10.1080/01916122.2012.718994>

- Candel, M.S., Borrromei, A.M., Martínez, M.A., Gordillo, S., Quattrocchio, M., Rabassa, J. 2009. Middle–Late Holocene palynology and marine mollusks from Archipiélago Cormoranes area, Beagle Channel, southern Tierra del Fuego, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 273(1-2), 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.12.009>
- Candel, M.S., Louwye, S., Borrromei, A.M. 2017. Reconstruction of the late Holocene paleoenvironment of the western Beagle Channel (Argentina) based on a palynological analysis. *Quaternary International*. 442(Part A), 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.074>
- Candel, M.S., Martínez, M.A., Borrromei, A.M. 2011. Palinología y palinofacies de una secuencia marina del Holoceno medio-tardío: Albufera Lanushuaia, Canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 14(3), 297-310. <https://doi:10.4072/rbp.2011.3.09>
- Carvalho, M.A., Oliveira, D.C., Gandin Machado, L., Mendonça Filho, J.G. 2005. Sedimentação Albo-Aptiana de partículas vegetais (fitoclastos) em rochas do Membro Taquari, Formação Riachuelo, bacia de Sergipe, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*. 63, 411-424.
- Cassino, R.F., Meyer, K.E.B. 2013. Reconstituição paleoambiental do chapadão dos gerais (Quaternário Tardio) a partir de análises palinológica da Vereda Laçador, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 16(1), 127-146. <https://doi.org/10.4072/rbp.2013.1.10>
- Chiessi, C.M., Mulitza, S., Patzold, J., Wefer, G., 2010. How different proxies record precipitation variability over southeastern South America. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 9, 012007. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/9/1/012007>
- Cloern, J.E., Canuel, E.A., Harris, D. 2002. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnol Oceanogr*. 47(3), 713-729. <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.3.0713>
- Combaz, A., 1964. Les palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*. 7, 205-218.
- Cordeiro, S.H., Lorscheitter, M.L. 1994. Palynology of Lagoa dos Patos sediments, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Paleolimnology*. 10(1): 35-42. <https://doi.org/10.1007/BF00683144>

Corrêa, I.C.S., Martins, L.R., Ketzer, J.M.M., Elias, A.R.D., Martins, R. 1996. Evolução Sedimentológica e Paleogeográfica da Plataforma Continental Sul e Sudeste do Brasil. Notas Técnicas. 9, 51-61.

Corrêa, I.C.S., Villwock, J.A. 1996. Continental Shelf and Coastal Plain Sediments of the Southeast and South Coast of Brazil, in: Corrêa, I.C.S., Martins, L.R. (Eds), Exploratory text of Atlas: Morphology and Sedimentology of the Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Península Valdés (Argentina). CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre, pp. 41-54.

Coutinho, L.M. 2016. Biomas brasileiros. São Paulo: Oficina de Texto.

de Vernal, A. 2009. Marine palynology and its use for studying nearshore environments. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 5(1), 1-13. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/5/1/012002>. (accessed 09 October 2016)

de Vernal, A., Giroux, L. 1991. Distribution of organic walled microfossils in Recent sediments from the estuary and Gulf of St. Lawrence: some aspects of the organic matter fluxes. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences. 113, 189-199.

de Vernal, A., Bilodeau, G., Hillaire-Marcel, C., Kassou, N. 1992. Quantitative assessment of carbonate dissolution in marine sediments from foraminifera linings vs. shell ratios: Davis strait, northwest North Atlantic. Geology. 20(6): 527-530. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020%3C0527:QAOCDI%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020%3C0527:QAOCDI%3E2.3.CO;2)

del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Castiñeira Latorre, C., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, N., Rodriguez, A., 2011. Evolución Climática Holocénica Para el Sudeste del Uruguay: análisis multi-proxy en testigos de lagunas costeras, in: García-Rodríguez, F. (Ed), El Holoceno en la Zona Costera de Uruguay. Montevideo: Universidad de la República, Comisión Sectorial de Investigación Científica. Departamento de Publicaciones, Unidad de Comunicación de la Universidad de la República. pp. 117-147.

Dillenburger, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Ayup-Zouain, R.N., Hesp, P.A., Clerot, L.C.P. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul, in: Dillenburger, S.R., Hesp, P.A (Eds.), Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Lecture Notes in Earth Sciences, vol 107. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 53-91. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_3)

Elsik, W.C., 1996. Fungi. in: Jansonius, J., Mcgregor, D.C. (Eds), *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, pp. 293-305.

Elsik, W.C., Jarzen, D.M. 2009. New species of the late Cenozoic fungal form-genus *mediaverrunites* Jarzen & Elsik 1986 ex Nandi & Sinha 2007. *Palynology*. 33(2), 99-104. <https://doi.org/10.1080/01916122.2009.9989687>

França, M.C., Alves, I.C.C., Cohen, M.C.L., Rossetti, D.F., Pessenda, L.C.R., Giannini, P.C.F., Lorente, F.L., Buso Jr, A.A., Bendassolli, J.A., Macario, K. 2016. Millennial to secular time-scale impacts of climate and sea-level changes on mangroves from the Doce River delta, Southeastern Brazil. *The Holocene*. 26(11), 1733-1749. <https://doi.org/10.1177/0959683616645938>

García-Rodríguez, F., Stutz, S., Inda, H., del Puerto, L., Bracco, R., Panario, D. 2010. A multiproxy approach to inferring Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation, paleosalinity levels, and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. *Hydrobiologia*. 646(1), 5-20. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0184-0>

Gorin, G.E., Steffen, D. 1991. Organic facies as a tool for recording eustatic variations in marine fine-grained carbonates-example of the Berriasian stratotype at Berrias (Ardèche, SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 85(3-4), 303-320. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90164-M](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90164-M)

Grala, M., Lorscheitter, M.L. 2001. The Holocene paleoenvironment in the Serra Velha region, RS, Brazil through a study of plant succession. *Pesquisas em Geociências*. 28(2), 245-249. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.20299>

Grill, S., Borromei, A.M., Quattocchio, M., Coronato, A., Bujalesky, G., Rabassa, J. 2002. Palynological and sedimentological analysis of recente sediments from Rio Varela, Beagle channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*. 34(2), 145-161.

Grimm, A.M., 2009. Clima da Região Sul do Brasil, in: Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, N.J., Justi da Silva, M. G. A., Silva Dias, M.A.F. (Org), *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, pp. 259-274.

Grimm, E.C. 2011. TILIA software version 1.7.16. Illinois State Museum, Research and Collection Center. Springfield USA.

- Gu, F., Chiessi, C.M., Zonneveld, K.A.F., Behling, H. 2018. Late Quaternary environmental dynamics inferred from marine sediment core GeoB6211-2 off southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 496, 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.01.015>
- Gu, F., Zonneveld, K.A.F., Chiessi, C.M., Arz, H.W., Pätzold, J., Behling, H. 2017. Long-term vegetation, climate and ocean dynamics inferred from a 73,500 years old marine sediment core (GeoB2107-3) off southern Brazil. *Quaternary Science Reviews*. 172, 55-71. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.06.028>
- Guimarães, J., Nogueira, A., Bandeira Cavalcante Da Silva, J., Lima Soares, J., Silveira, R. 2013. Fossil Fungi from Miocene Sedimentary Rocks of the Central and Coastal Amazon Region, North Brazil. *Journal of Paleontology*. 87(3), 484-492. <https://doi.org/10.1666/12-091.1>
- Gyllencreutz, R., Mahiques, M.M., Alves, D.V.P., Wainer, I.K.C. 2010. Mid- to late-Holocene paleoceanographic changes on the southeastern Brazilian shelf based on grain size records. *The Holocene*. 20(6), 863-875. <https://doi.org/10.1177/0959683610365936>
- Hardy, M.J., Wrenn, J.H. 2009. Palynomorph distribution, deltaic and shelf sediments, Mahakam delta, Borneo, Indonesia. *Palynology*. 33(2), 19-42. <https://doi.org/10.2113/gspalynol.33.2.19>
- Hasenack, H., Ferraro, L. 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. *Pesquisas*. 22(22), 53-70. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21456>
- Haug, G.H., Konrad A.H., Sigman, D.M., Peterson, L.C., Röhl, U. 2001. Southward Migration of the Intertropical Convergence Zone Through the Holocene. *Science*. 293(5533), 1304-1308. <https://doi.org/10.1126/science.1059725>
- Hein, C.J., Fitz Gerald, D.M., Cleary, W.J., Albernaz, M.B., De Menezes, J.T., Klein, A.H. 2013. Evidence for a transgressive barrier within a regressive strandplain system: Implications for complex coastal response to environmental change. *Sedimentology*. 60, 469-502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01348.x>
- Hesp, P.A., Giannini, P.C.F., Martinho, C.T., Silva, G.M., Neto, N.E.A. 2009. The Holocene Barrier Systems of the Santa Catarina Coast, Southern Brazil, in: Dillenburg, S.R., Hesp, P.A (Eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences, vol 107. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 93-129. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_4)



Hogg, A.G., Hua, Q., Blackwell, P.G., Niu, M., Buck, C.E., Guilderson, T.P., Heaton, T.J., Palmer, J.G., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Turney, C.S.M., Zimmerman, S.R.H. 2013. SHcal13 southern hemisphere calibration, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*. 55(4), 1889-1903. [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.55.16783](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16783)

Horn Filho, N.O. 2003. Setorização da província costeira de Santa Catarina, em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, 18(35), 71-98. <https://doi.org/10.5007/%25x>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. *Mapa de vegetação do Brasil (1:5000000)*. 3ª. ed., Rio de Janeiro, IBGE. [ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf) (accessed 16 August 2016)

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. 2ª. ed., Rio de Janeiro, IBGE, 272p. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf> (accessed 16 August 2016)

Kawamura, H. 2004. Dinoflagellate cyst distribution along a shelf to slope transect of an oligotrophic tropical sea (Sunda Shelf, South China Sea). *Phycological Research*. 52, 355-375. <https://doi.org/10.1111/j.1440-183.2004.00362.x>

Khan, N. S., Vane, C. H., Horton, B.P., 2015. Stable carbon isotope and C/N geochemistry of coastal wetland sediments as a sea-level indicator, in: Shennan, I., Long, A.J., Horton, B.P. (Eds), *Handbook of Sea-Level Research*. John Wiley & Sons, pp. 295-311. <https://doi.org/10.1002/9781118452547.ch20>

Köppen, W. 1948. *Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Económica.

Kowsmann, R.O., Costa, M.P.A., Vicalvi, M.A., Coutinho, M.G.N., Gamboa, S.A.P. 1977. Modelo de sedimentação holocênica na plataforma continental sul brasileira. PROJETO REMAC. 2: 7-26. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17228>. (accessed 20 March 2013)

Kuhn, L.A., Souza, P.A., Cancelli, R.R., Silva, W.G., Macedo, R.B. 2017. Paleoenvironmental evolution of the coastal plain of Southern Brazil: palynological

data from a Holocene core in Santa Catarina State. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 89(4), 2581-2595. <https://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720160895>

Lamb, A.L., Vane, C.H., Wilson, G.P., Rees, J.G., Moss-Hayes, V.L. 2007. Assessing  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios from organic material in archived cores as Holocene sea level and palaeoenvironmental indicators in the Humber Estuary, UK. *Marine Geology*. 244(1/4), 109-128. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.012>

Lamb, A.L., Wilson, G.P., Leng, M.J. 2006 A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios in organic material. *Earth Science Reviews*. 75, 29-57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.10.003>

Lantsch, H., Hanebuth, T., Chiessi, C., Schwenk, T., Violante, R. 2014. The high-supply, current-dominated continental margin of southeastern South America during the late Quaternary. *Quaternary Research*. 81(2), 339-354. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.01.003>

Lorente, F.L., Pessenda, L.C.R., Oboh-Ikuenobe, F., Buso Jr, A.A., Cohen, M.C.L., Meyer, K.E.B., Giannini, P.C.F., de Oliveira, P.E., Rossetti, D.F., Filho, M.A.B., França, M.C., Castro, D.F., Bendassolli, J.A., Macario, K. 2014. Palynofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco (Linhares, Espírito Santo, southeastern Brazil): Depositional settings and palaeoenvironmental evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 415(1), 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.12.004>

Lorscheitter, M.L. 2003. Contribution to the Holocene history of Atlantic rainforest in the Rio Grande do Sul state, southern Brazil. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*. 5(2), 261-271.

Lorscheitter, M.L., Dillenburg, S.R. 1998. Holocene paleoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. 11, 73-97.

Lorscheitter, M.L., Romero, E.J. 1985. Palynology of Quaternary sediments of the core T15, Rio Grande Cone, South Atlantic, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. 3(1), 55-92.

Mahiques, M.M., Wainer, I.K.C., Burone, L., Nagai, R., Sousa, S.H.M., Figueira, R.C.L., Silveira, I.C.A., Bicego, M.C., Alves, D.P.V., Hammer, Ø. 2009. A high-resolution Holocene record on the Southern Brazilian shelf: Palaeoenvironmental

- implications. *Quaternary International*. 206(1–2), 52-61.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.09.010>
- Malamud-Roam, F., Ingram, B.L. 2004. Late Holocene  $\delta^{13}\text{C}$  and pollen records of paleosalinity from tidal marshes in the San Francisco Bay estuary, California. *Quaternary Research*. 62(2), 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.02.011>
- Martin, L., Dominguez, M.L., Bittencurt, A.C.S.P. 2003. Fluctuating Holocene Sea Levels in Eastern and Southeastern Brazil: Evidence from Multiple Fossil and Geometric Indicators. *Journal of Coastal Research*. 19(1), 101-124.
- Martin, L., Suguio, K., Flexor, J.M. 1993. As flutuações do nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. *Boletim IG-USP, Publicação Especial*.15, 1-186. <https://doi.org/10.11606/issn.2317-8078.v0i15p01-186>
- Martínez, S., Rojas, A. 2013. Relative sea level during the Holocene in Uruguay. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 374, p. 123-131.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.01.010>
- Matsuoka, K., Yurimoto, T., Chong, V.C., Man, A. 2017. Marine palynomorphs dominated, by heterotrophic organism remains in tropical coastal shallow-water sediment, the case of Selangor coast and the estuary of the Manjung river in Malaysia. *Paleontological Research*. 21(1), 14-26.  
<https://doi.org/10.2517/2016PR006>
- Melo, M.L.D., Marengo, J.A. 2008a. The influence of changes in orbital parameters over South American climate using the CPTEC AGCM: simulation of climate during the mid Holocene. *The Holocene*. 18(4), 501-516.  
<https://doi.org/10.1177%2F0959683608089205>
- Melo, M.L.D., Marengo, J.A. 2008b. Simulações do clima do Holoceno médio na América do Sul com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 23(2), 191-205. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862008000200007>
- Mendonça, F.A., Danni-Oliveira, I.M. 2007. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, p.208.
- Meyer, K.E.B., Mendonça Filho, J.G., Ashraf, A.R., Souza, P.A., Reichhart, K. 2005a. Análise de palinofácies em sedimentos holocênicos da Lagoa dos Quadros, Planície

Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 8(1), 57-72.

Meyer, K.E.B., Reichhart, K., Ashraf, A. R., [Marques-Toigo, M.](#), Mosbrugger, V. 2005b. Holocene Evolution of Itapeva lake, Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorphs and Corg, N, S Records. *Journal of South American Earth Sciences*. 19(2): 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.04.001>

Meyers, P.A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*. 114, 289-302. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90059-0)

Meyers, P.A. 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Org. Geochem*. 27(5/6), 213–250. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00049-1](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00049-1)

Meyers, P.A. 2003. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Org. Geochem*. 34, 261–289. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00168-7](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00168-7)

Mourelle, D., Prieto, A.R., Pérez, L., García-Rodríguez, F., Borel, C.M. 2015. Mid and late Holocene multiproxy analysis of environmental changes linked to sea-level fluctuation and climate variability of the Río de la Plata estuary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 421, 75-88. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.01.006>

Mudie, P.J., Leroy, S.A.G., Marret, F., Gerasimenko, N.P., Kholeif, S.E.A., Sapelko, T., Filipova-Marinova, M., 2011. Nonpollen palynomorphs: indicators of salinity and environmental change in the Caspian–Black Sea–Mediterranean corridor, in: Buynevich, I.V., Yanko-Hombach, V., Gilbert, A.S., Martin, R.E. (Eds.), *Geology and Geoarchaeology of the Black Sea Region: Beyond the Flood Hypothesis: Geological Society of America Special Paper*. 473, 89–115. [https://doi.org/10.1130/2011.2473\(07\)](https://doi.org/10.1130/2011.2473(07))

Mudie, P.J., Marret, F., Rochon, A., Aksu, A.E. 2010. Non-pollen palynomorphs in the Black Sea corridor. *Vegetation History and Archaeobotany*. 19(5-6), 531-544. <https://doi.org/10.1007/s00334-010-0268-9>

Muller, J. 1959. Palynology of Recent Orinoco delta and shelf sediments, reports of the Orinoco shelf expedition, volume 5. *Micropaleontology* 5(1), p.1-32. <https://doi:10.2307/1484153>

- Nandi, B., Sinha, A. 2007. Validation of the Miocene fungal spore *Mediaverrunites* from Mizoram, India. *Palynology*. 31(1): 95–100. <https://doi.org/10.2113/gspalynol.31.1.95>
- Neves, P.C.P. 1998. *Palinologia de sedimentos quaternários no estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Guaíba e Capão do Leão*. PhD Thesis. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brazil 513pp. [Unpublished].
- Ní Fhlaithearta, S., Ernst, S.R., Nierop, K.G.J., de Lange, G.J., Reichart, G.-J. 2013. Molecular and isotopic composition of foraminiferal organic linings. *Marine Micropaleontology*. 102: 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2013.06.004>
- Nuñez, N.O., di Pasquo, M., Bianchinotti, M.V. 2017. The occurrence of *Potamomyces palmarensis* sp. nov. in the Late Holocene of El Palmar National Park (Colón, Entre Ríos, Argentina) and transfer of fossil species of *Mediaverrunites* to *Potamomyces*. *Palynology*. 41(2), 267-277. <https://doi.org/10.1080/01916122.2016.1146174>
- Ogrinc, N., Fontolan, G., Faganeli, J., Covelli, S. 2005. Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry*. 95(3–4), 163-181. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2004.09.003>
- Oliveira, R., Zaú, A., Lima, D., Silva, M., Vianna, M., Sodr e, D., Sampaio, P. 1995. Significado ecol gico da orienta o de encostas no maci o da Tijuca, Rio de Janeiro. *Oecologia Australis* 1(1), p. 523-541.
- Pessenda, L.C.R., Vidotto, E., de Oliveira, P.E., Buso Jr, A.A., Cohen, M.C.L., Rossetti, D.F., Ricardi-Branco, F., Bendassolli, J.A. 2012. Late Quaternary vegetation and coastal environmental changes at Ilha do Cardoso mangrove, southeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 363–364, 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.08.014>
- Prado, L.F., Wainer, I., Chiessi, C.M., Ledru, M.P., Turcq, B. 2013. A mid-Holocene climate reconstruction for eastern South America. *Clim. Past*. 9, 2117-2133. <https://doi.org/10.5194/cp-9-2117-2013>
- Prauss, M. 2000. The oceanographic and climatic interpretation of marine palynomorph phytoplankton distribution from Mesozoic, Cenozoic and Recent sections. *G ttinger Arbeiten Geologie Pal ontologie*. 76, 3-235.

Prieto, A.R., Mourelle, D., Peltier, W.R., Drummond, R., Vilanova, I., Ricci, L. 2017. Relative sea-level changes during the Holocene in the Río de la Plata, Argentina and Uruguay: A review. *Quaternary International* 442(A), p. 35-49. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.044>

Razik, S., Chiessi, C.M., Romero, O.E., Dobeneck, T. 2013. Interaction of the South American Monsoon System and the Southern Westerly Wind Belt during the last 14kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 374, 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.12.022>

Roncaglia, L. 2004. Palynofacies analysis and organic-walled dinoflagellate cysts as indicators of palaeo-hydrographic changes: an example from Holocene sediments in Skálafjord, Faroe Islands. *Marine Micropaleontology*. 50, 21-42. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(03\)00065-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(03)00065-3)

Saia, S.E.M.G., Pessenda, L.C.R., Gouveia, S.E.M., Aravena, R., Bendassolli, J.A. 2008. Last glacial maximum (LGM) vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. *Quaternary International*. 184(1), 195-201. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.06.029>

Sebag, D., Copard, Y., Di-Giovanni, Ch., Durand, A., Laignel, B., Ogier, S., Lallier-Verges, E. 2006. Palynofacies as useful tool to study origins and transfers of particulate organic matter in recent terrestrial environments: synopsis and prospects. *Earth-Science Reviews*. 79(3-4), 241-259. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.07.005>

Silva, W.G., Souza, P.A., Waveren, I.V. 2017. New insights on the systematic classification of certain palynological taxa (Tintinnomorphs) from Holocene deposits of the coastal plain of southern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 20(3), 321-332. <https://doi:10.4072/rbp.2017.3.04>

Sparica, M., Koch, G., Belak, M., Miko, S., Sparica-Miko, M., Vilicic, D., Dolenc, T., Bergant, S., Lojen, S., Vreca, P., Dolenc, M., Ogrinc, N., Ibrahimasic, H. 2005. Recent sediments of Makirina Cove (Northern Dalmatia, Croatia): their origin viewed through a multidisciplinary approach. *Geologia Croatica*. 58(1), 21-72.

Stockmarr, J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*. 13, 615–621.

Stríkis, N.M., Novello, V., 2014. Evolução hidrológica do Brasil durante o Pleistoceno Superior e Holoceno, in: Carvalho, I.S, Garcia, M.J, Lana, C.C., Strohschoen Jr, O.

(Eds). *Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, pp.343-351.

Stuiver, M., Reimer, P.J., Reimer, R.W. 2016. CALIB 7.1. <http://calib.org/calib/calib.html> (accessed 12 December 2017).

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*. 15(4), 273-286.

Tomazelli, L. 1993. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*. 20(1), 18-26. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21278>

Tonhasca Jr., A. 2005. *Ecologia e história natural da Mata Atlântica*. Rio de Janeiro: Interciência.

Traverse, A., 1994. Sedimentation of palynomorphs and palinodebris: an introduction. in: Traverse, A. (Ed.). *Sedimentation of organic particles*. Cambridge University Press, pp.1-8.

Tyson, R.V., 1993. Palynofacies analysis, in: Jenkins, D.G. (Ed.), *Applied Micropaleontology*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands, Amsterdam, pp. 153-191.

Tyson, R.V., 1995. *Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies*. Chapman and Hall

Van Geel, B. 1976. Fossil spores of Zygnemataceae in ditches of a prehistoric settlement in Hoogkarspel (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology*. 22, 337–344. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(76\)90029-4](https://doi.org/10.1016/0034-6667(76)90029-4)

Van Geel, B. 1979. Preliminary report on the history of Zygnemataceae and the use of their spores as ecological markers. *Proc. IV th Int. Palynol. Conf. Lucknow (1976–1977)* 1, p. 467–469.

Van Geel, B., 2001. Non-Pollen Palynomorphs. in: Smol J.P., Birks H.J.B., Last W.M., Bradley R.S., Alverson K. (Eds) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research*, vol 3. Springer, Dordrecht. pp.99-119. [https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1\\_6](https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_6)

Van Geel, B., Grenfell, H.R. 1996. Spores of Zygnemataceae, in: Jansonius, J., McGregor, D.C. (Eds), *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, pp173–179.

Van Waveren, I.M. 1994. Tintinnomorphs from deep-sea sediments of the Banda Sea (Indonesia). *Scripta Geologica*, 105: 27–51.

Viana, D.R. 2009. *Comportamento espaço-temporal da precipitação na região sul do Brasil utilizando dados TRMM e SRTM*. MSc Thesis. Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brazil 164pp. [Unpublished].

Vilanova, I., Guerstein, G.R., Akselman, R., Prieto, A.R. 2008. Mid- to Late Holocene organic-walled dinoflagellate cysts from the northern Argentine shelf. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 152(1-2), 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2008.03.006>

Vilanova, I., Prieto, A.R., Stutz, S. 2006. Historia de la vegetación en relación con la evolución geomorfológica de las llanuras costeras del Este de la provincia de Buenos Aires durante el Holoceno. *Ameghiniana*. 43(1), 147–159.

Vilanova, I., Prieto, A.R. 2012. Historia de la Vegetación de Las Llanuras Costeras de la Bahía Samborombón (~35,5°s), Argentina, Desde 7800 14C Años. *Ameghiniana*. 49(3), 303-318. [https://doi.org/10.5710/AMGH.v49i3\(499\)](https://doi.org/10.5710/AMGH.v49i3(499))

Villwock, J.A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Pesquisas*. 16(16), 5-49. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21711>

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*. 8, 1-45.

Wall, D., Dale, B., Lohman, G.P., Smith, W.K. 1977. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern sediments from regions in the North and South Atlantic oceans and adjacent seas. *Marine Micropaleontology*. 2, 121-200. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(77\)90008-1](https://doi.org/10.1016/0377-8398(77)90008-1)

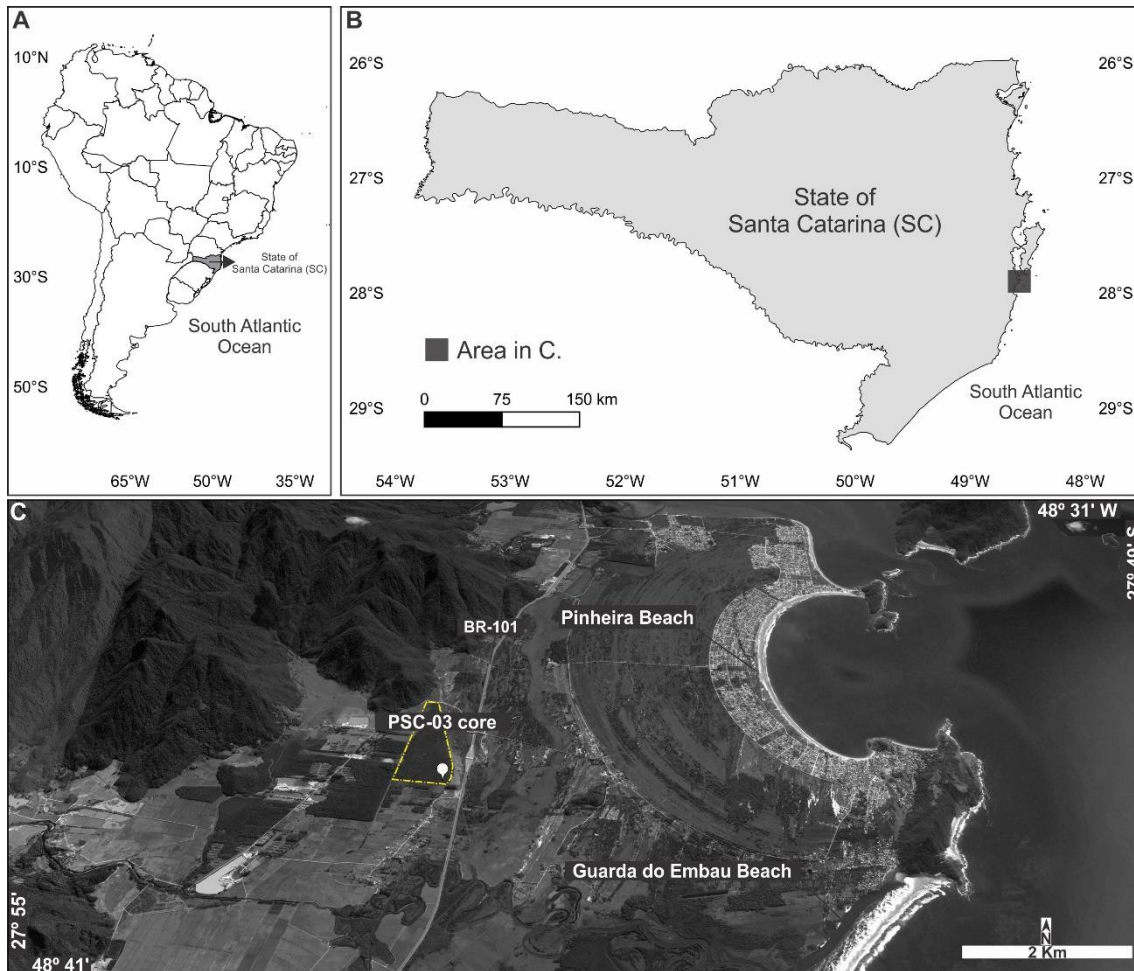
Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, I.C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M., Widmann, M. 2008. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*. 27(19–20), 1791-1828. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>



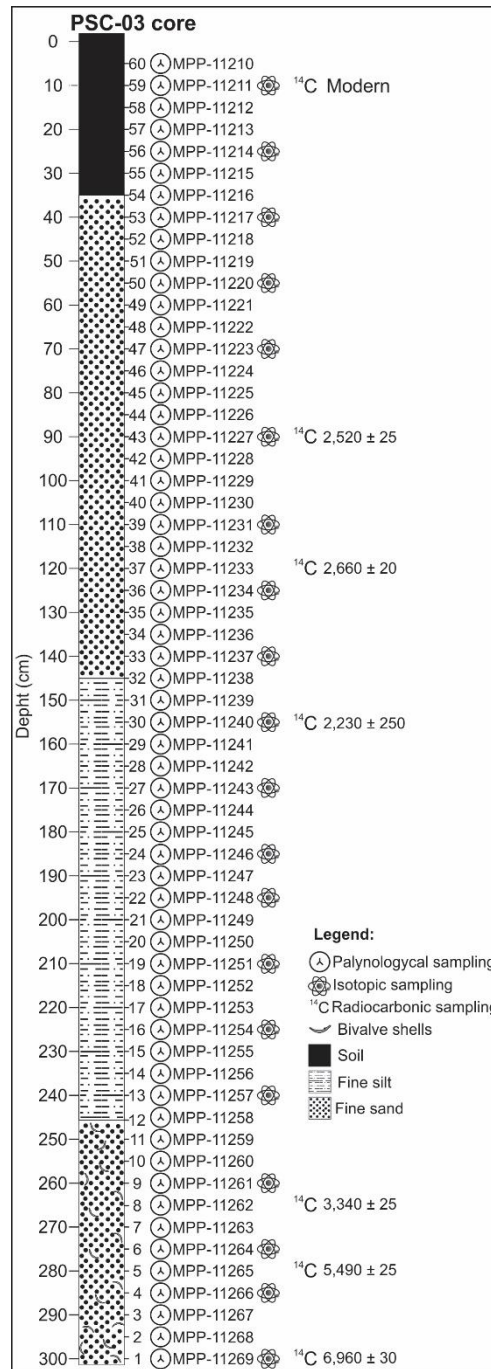
Wilson, G.P., Lamb, A.L., Leng, M.J., Gonzales, S., Huddart, D. 2005a. Variability of organic  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N in the Mersey Estuary, U.K. and its implications for sea-level reconstruction studies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 64, 685-698.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.04.003>

Wilson, G.P., Lamb, A.L., Leng, M.J., Gonzales, S., Huddart, D. 2005b.  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N as potential coastal palaeoenvironmental indicators in the Mersey Estuary, UK. *Quaternary Science Reviews*. 24, 2015-2029.  
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.11.014>

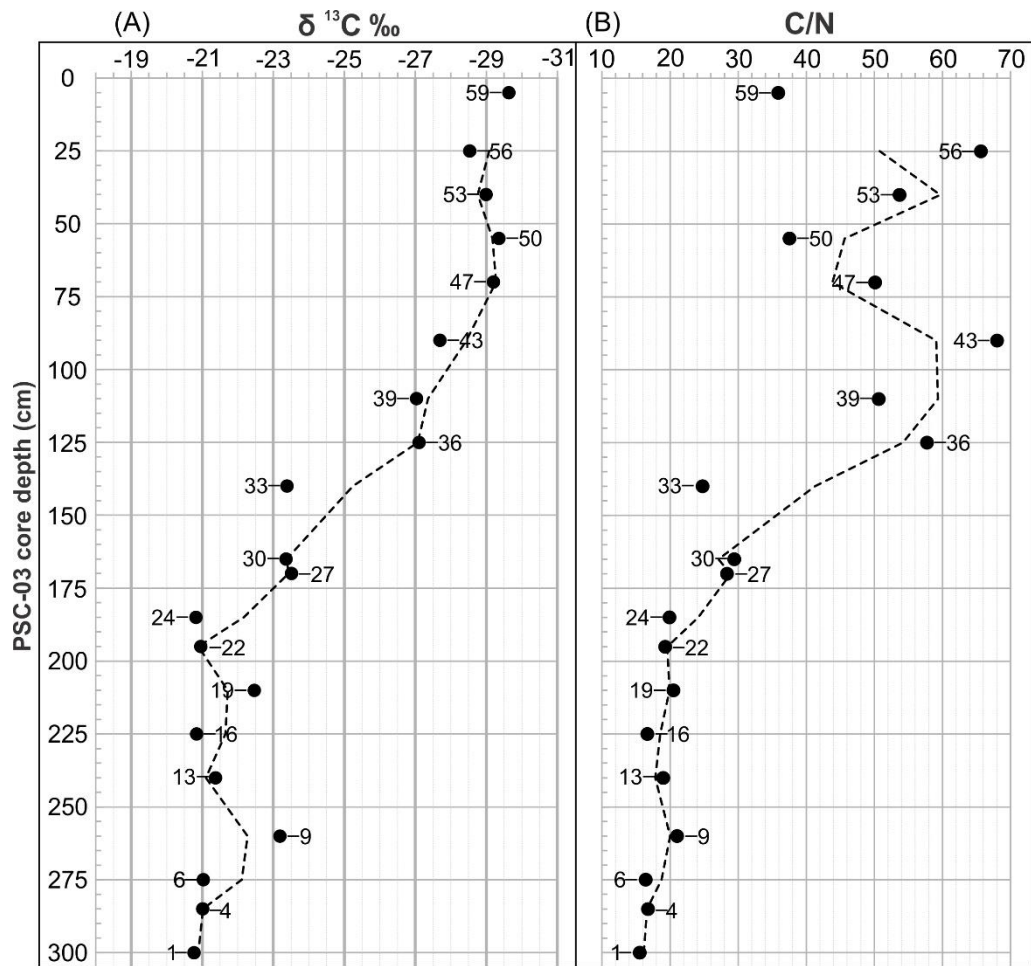
Wood, G.D., Gabriel, A.M., Lawson, J.C., Batten, D.J., 1996. Palynological techniques-processing and microscopy, in: Jansonius, J., Mcgregor, D.C. (Eds), *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, pp. 29-50.



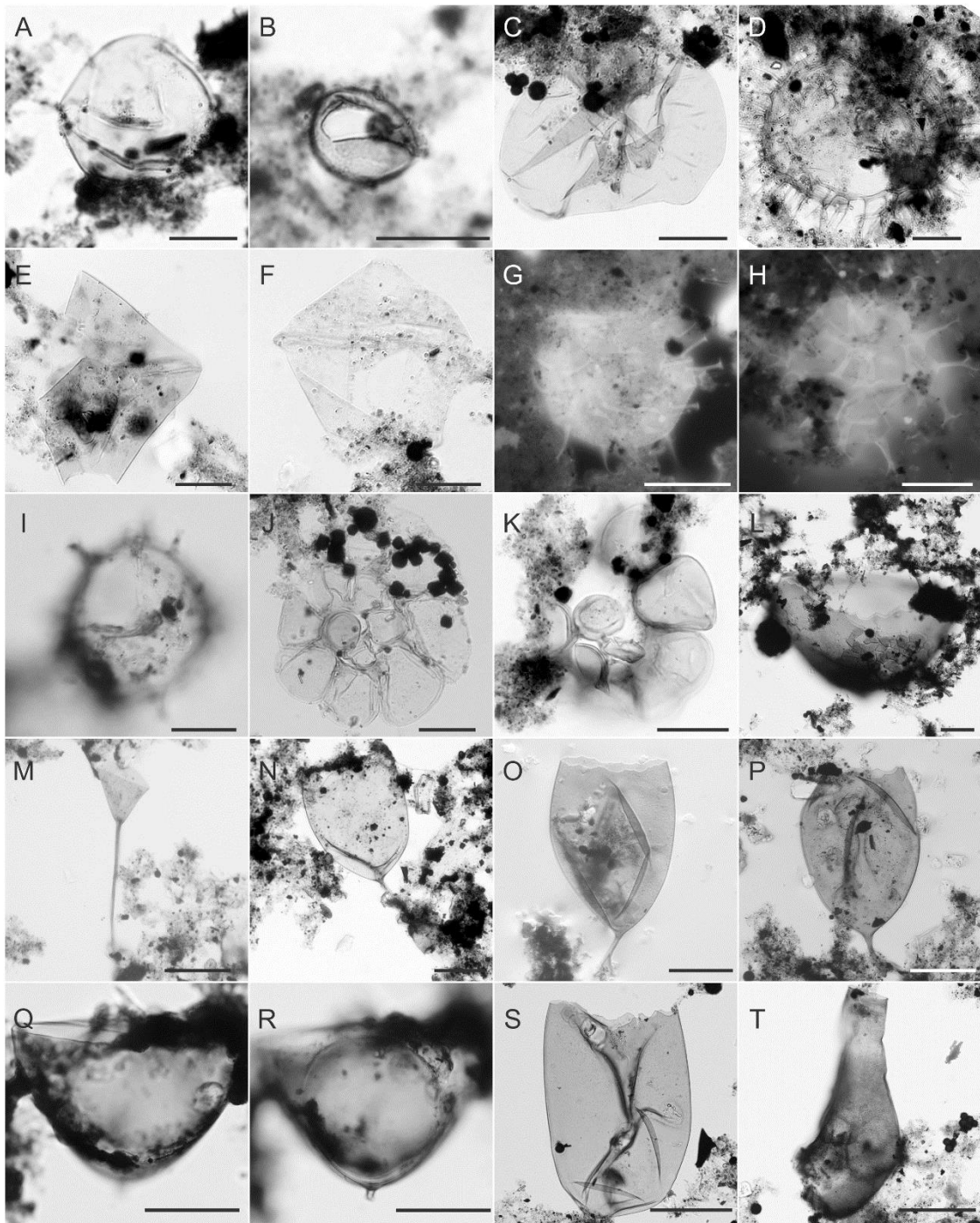
**Figure 1: A-B:** Geographic situation of the study site: the state of Santa Catarina, in the southern coastal region of Brazil. **C:** Satellite image locating the core sample (PSC-03) site on the coastal plain of the State of Santa Catarina, presenting the relative main highway BR-101 and shoreline between Pinheira and Guarda do Embau beaches (Adapted from: Google Earth, 2017).



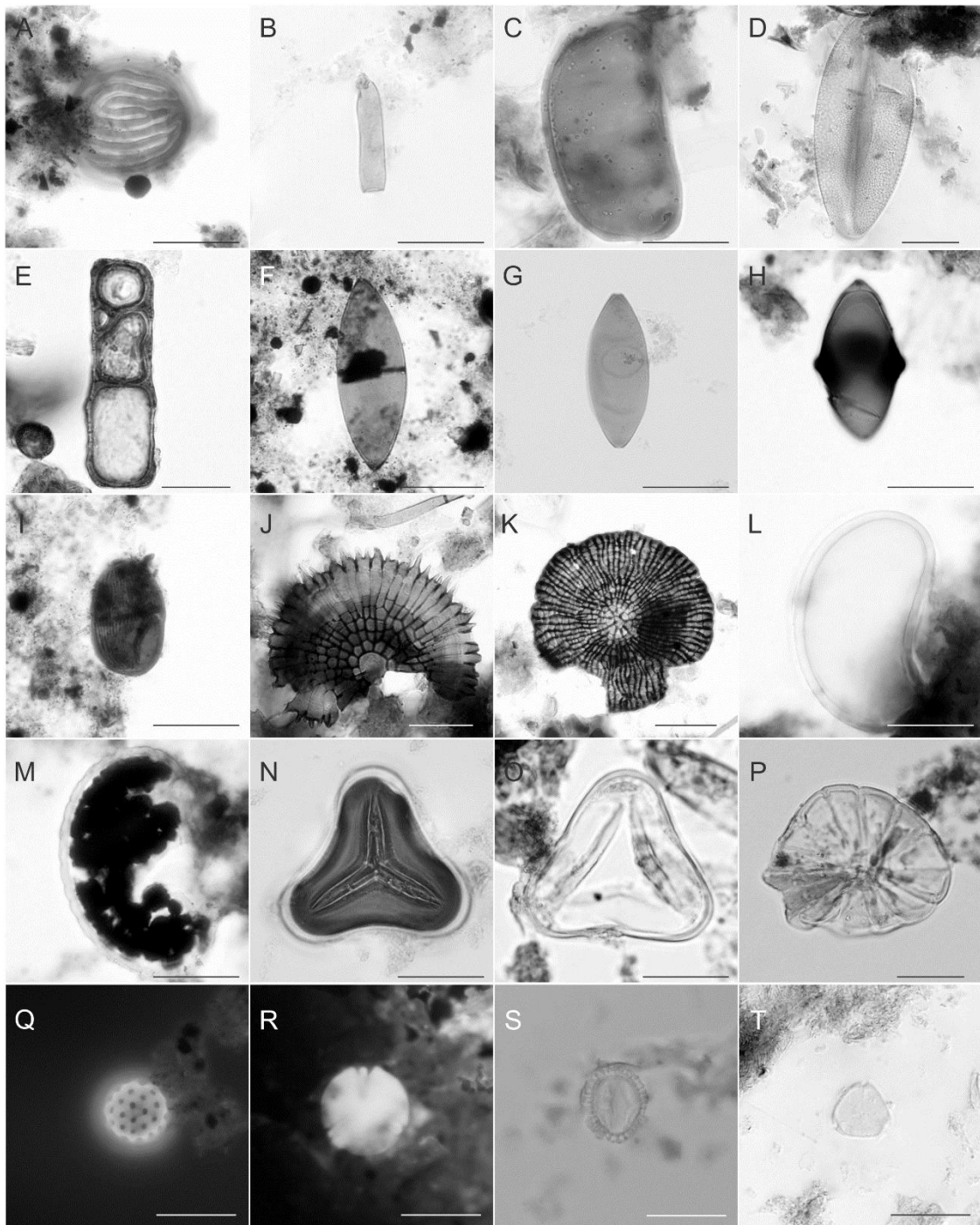
**Figure 2:** Stratigraphic column of the PSC-03 core. Holocene of the coastal plain of Santa Catarina, showing the position of palynological sampling, radiocarbon ages and a list of palynological slides and their codification (MP-P concerns the slide collection of the LPMMT/IG/UFRGS).



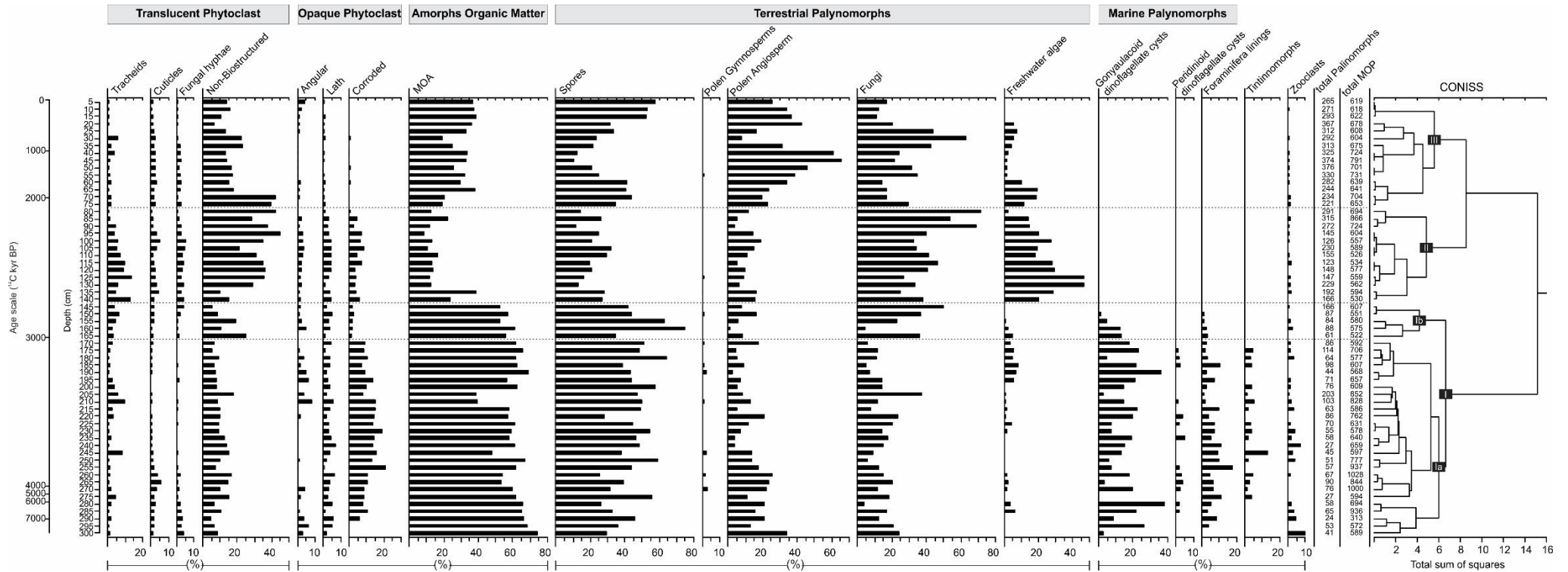
**Figure 3:** Stratigraphy organic carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and carbon to nitrogen ratio (C/N) values of organic matter from the PSC-03 core.



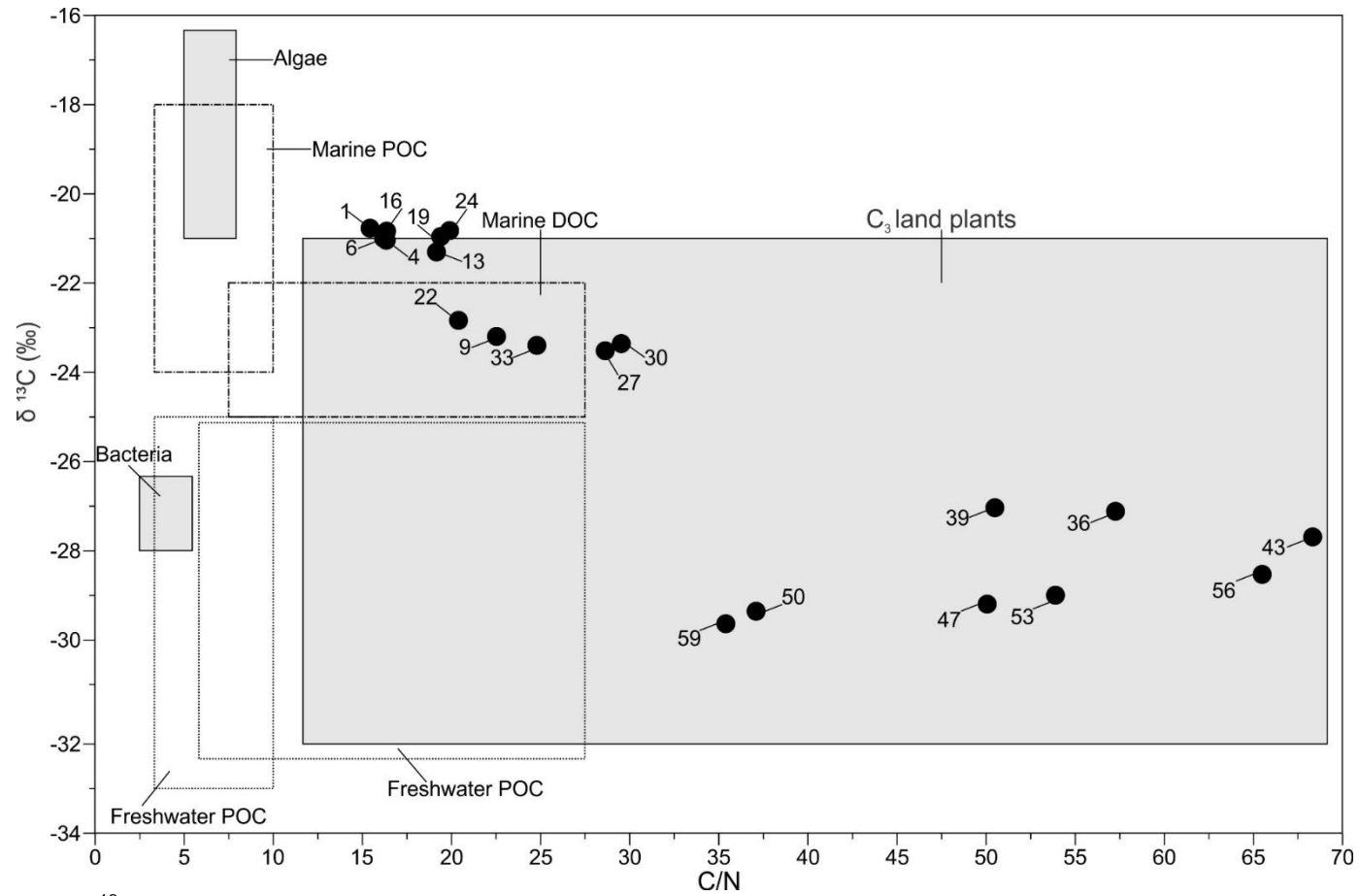
**Figure 4:** Photomicrographs of selected palynomorphs recorded from the PSC-03 core. **A.** *Brigantedinium simplex* (slide MPP: 11253, England Finder: B60-4); **B.** *Brigantedinium* sp. (11266, X54-4); **C.** *Selenopemphix nephroides* (11260, E61-4); **D.** *Selenopemphix quanta* (11256, J49); **E-F.** *Lejeunecysta* spp. (11254, D42-2; 11262, Y33-2; 11244, N53-3); **G.** *Operculodinium centrocarpum* (11268, C48); **H-I.** *Spiniferites* spp. (11250, W55; 11254, F63-3); **J-K.** Foraminifera linings (11250, B62-3; 11264, G58-3; 11265, O43); **L-T. Tintinnomorphs:** **L.** SPHAERO-1 (11262, K35), **M.** ELENO-14 (11258, T46), **N-P.** ESABNO-6 (11245, G45-4; 11244, C57-4; 11249, W31-4), **Q-R.** HEXANO-2 (11251, D35-2), **S.** RECTENO-1 (11246, B52), **T.** AROBNO-3 (11262, E37-2). Scale bars = 20  $\mu$ m.



**Figure 5:** Photomicrographs of selected palynomorphs recorded from the PSC-03 core. **A.** *Pseudoschizaea rubina* (11238, S68-4); **B** *Gleotrichia* sp. (11237, H49)); **C.** *Mougeotia* sp. (11237, Z47); **D.** *Spirogyra* sp. (11226, F44); **E.** *Zygnema* sp. (11215, Z40-2); **F.** *Dicellaesporites* sp (11262, G55-2); **G.** *Diporicellaesporites* sp. (11219, X56-3); **H.** *Mediaverrunites* sp. (11223, M49); **I.** *Fusiformisporite* sp. (11257, E42); **J-K.** *Callimothallus pertusus* (11217, N62-1; 11219, T47); **L.** *Blechnum* (11223, E61-4); **M.** Polypodiaceae (11263, B51-3); **N-O.** Cyatheaceae (11211, F60-2; 11218, C59-4); **P.** *Utricularia* (11262, X44-1); **Q.** (11268, Y32); **R.** *Alchornea* (11265, F59-4); **S.** *Illex* sp.(11266, K64-1); **T.** Myrtaceae (11212, S63 ). Scale bars = 20  $\mu$ m.

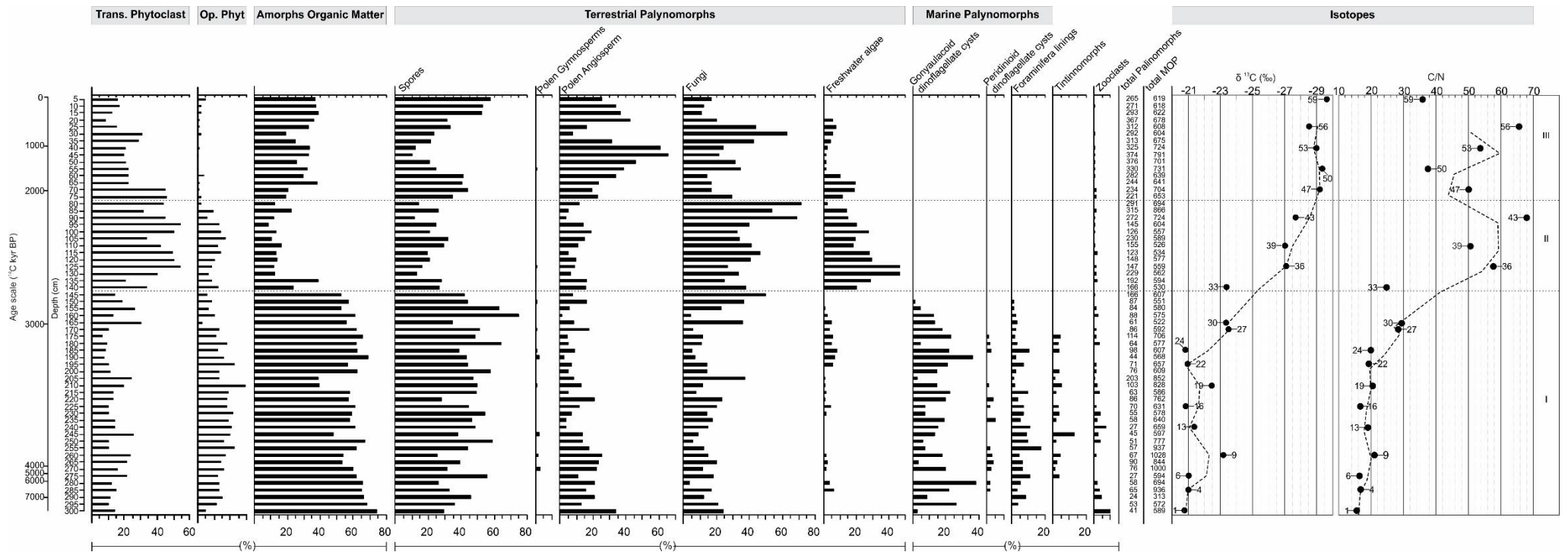


**Figure 6:** Frequencies (%) of the particulate organic matter (POM) and a cluster analysis and types of palynofacies from the PSC-03 core. There are four main POM groups (see the Table 2 for more details). Principal tree palynofacies are recognized in this core, I-III (see text for more details).

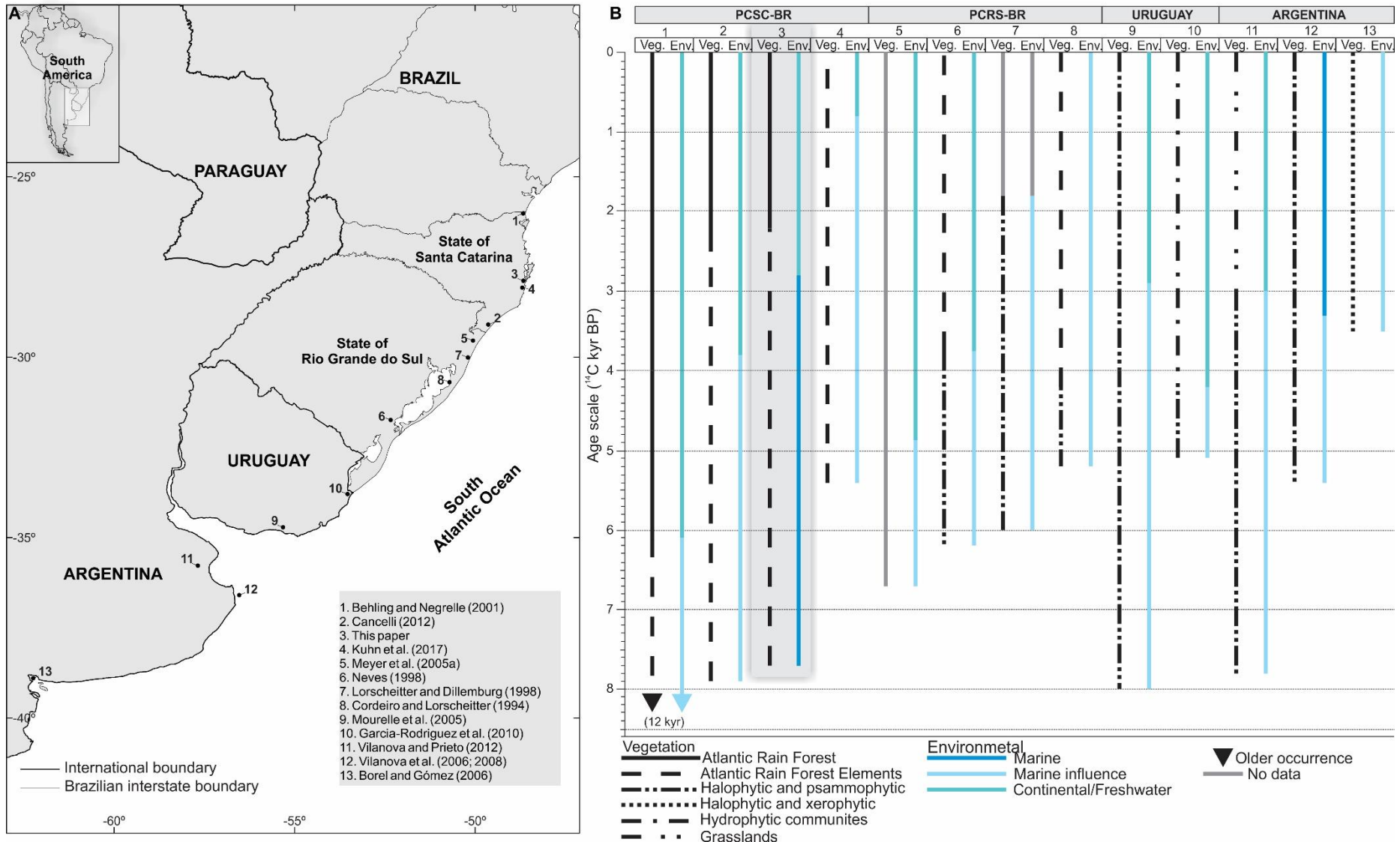


**Figure 7:** Organic carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ )  $\times$  carbon to nitrogen ratio (C/N) values of organic matter sources from the PSC-03 core (see text for more details).





**Figure 8:** Relative frequencies (%) of major particulate organic matter components, organic carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and carbon to nitrogen ratio (C/N) values organic matter from the PSC-03 core. Translucent phytoclasts (**Trans. Phytoclast**), opaque phytoclasts (**Op. Phyt**) (see text for more details).



**Figure 9:** In A. location map with core sites, in B. summarized vegetation (Veg.) and environmental (Env.) changes on the southeast coast of South America (see text for more details).

**Table 1.** Categories of total particulate organic matter counted in the samples, with indication of their biological sources and constituents (modified from Tyson 1995). (\*) To know the palynomorphs identified in the samples see the taxonomic list, Table 3.

Group	Subgroup	Source	Constituent	
Palynomorphs *	Pollen and spores Fungal spores and fruiting bodies	Sporomorphs	Gymnosperms, Angiosperm, Bryophytes, Pteridophytes and Fungi	
	Freshwater algae Dinoflagellate cysts	Phytoplankton	Chlorophyceae, Cyanobacteria and <i>Incertae sedis</i> Peridinioid and Gonyaulacoid cysts	
	Foraminifera linings	Zoomorphs	Benthonic foraminifera (de Vernal and Giroux, 1991; de Vernal et al., 1992; Mudie et al., 2011; Ní Fhlaithearta et al., 2013)	
	Tintinnomorphs		Palynomorphs resembling organic remains of tintinnids, which are not always identifiable as true lorica, cysts or pouch, being able to correspond to other protozoans and may even represent others structures of distinct organisms, such as rotifers and turbellarians (Van Waveren, 1994).	
Zooclasts	Jaws Wings Paws	Fragmentary animal-derived organic particles	Invertebrate remains	
Phytoclasts	Translucent  Opaque	Tracheids Cuticles Fungal hyphae Nonbiostructured Equidimensional Lath Angular Corroded	Macrophyte plant debris	Land plant and fungal debris
Amorphous Organic Matter		Degradation of phytoplankton or bacteria; humic gel	Aggregates and cell-filling and extracellular precipitates	

**Table 2.** AMS  $^{14}\text{C}$  and calibrated ages of selected samples (using CALIB 7.1; Stuiver *et al.* 2016) from the PSC-03 core. \*pMC is the percentage of modern carbon relative to the modern reference and is presented when the analyzed material has more  $^{14}\text{C}$  than the modern reference; this sample is indicating a post bomb (Modern).

Laboratory reference	Depth (cm)	$^{14}\text{C}$ age BP	Age (cal yr. BP $2\sigma$ )	Mean calibrated age (cal yr. BP)	Material
UGAMS # 25848	10	100.85 $\pm$ 0.3 pMC*	Modern	-----	Sediment
UGAMS # 26518	90	2,520 $\pm$ 25	2,380 – 2,721	2,579	Wood
UGAMS # 26983	120	2,660 $\pm$ 20	2,723 – 2,777	2,751	Sediment
UGAMS # 23610	155	2,230 $\pm$ 250	1,606 – 2,761	2,198	Sediment
UGAMS # 26517	265	3,340 $\pm$ 25	3,450 – 3,607	3,522	Sediment
UGAMS # 26982	280	5,490 $\pm$ 25	6,195 – 6,299	6,246	Sediment
UGAMS # 22214	300	6,960 $\pm$ 30	7,676 – 7,832	7,744	Sediment

**Table 3.** Taxonomic list of identified palynomorphs in the PSC-03 core.

<b>Sopres</b>	
<b>Bryophyte:</b> <i>Phaeoceros</i> Prosk.	Polypodiaceae
<b>Pteridophyte:</b> <i>Adiantum</i> L.	<b>Not determined:</b> 1
<i>Alsophila</i> R. Br.	Not determined 2
<i>Anogramma</i>	Not determined 3
<i>Blechnum</i> L.	Not determined 4
Cyatheaceae	Not determined 5
	Not determined 6
<b>Pollen grains</b>	
<b>Gymnosperms:</b> <i>Podocarpus</i> L' Hér. Ex Pers.	Myrtaceae
<b>Angiosperms:</b> <i>Alchornea</i> Sw.	Oxalidaceae
<i>Alnus</i> Mill.	Poaceae
Amaranthus/Chenopodiaceae	<i>Sebastiania</i> Spreng.
Asteraceae Subf. Asteroidade	<i>Tripodanthus acutifolius</i> Thieg.
Cucurbitaceae	<i>Utricularia</i> L.
Cyperaceae	<b>Not determined:</b>
<i>Drymis brasiliensis</i> Miers	Not determined 1
Ephedra	Not determined 2
<i>Eryngium</i> L.	Not determined 3
<i>Gomphrena</i> L.	Not determined 4
<i>Gunnera</i>	Not determined 5
<i>Ilex</i> L.	Not determined 6
<i>Ludwigia</i> L.	Not determined 7
	Not determined 8
	Not determined 9
<b>Fungi</b>	
<b>Spores:</b> <i>Brachysporisorites</i> sp.	<i>Monoporisorites</i> sp.
<i>Dicellaesporites</i> sp.	<i>Multicellaesporites</i> sp.
<i>Dicellaesporites obnixus</i> Norris 1986	<i>Paramicrothallites</i> sp. A Parsons & Norris 1999
<i>Diporicellaesporites</i> sp.	<i>Pluricellaesporites</i> spp.
<i>Diporicellaesporites</i> sp. C Parsons & Norris 1999	<i>Polyadosporites</i> sp.
<i>Exesisporites</i> sp. B Parsons & Norris 1999	<i>Punctodiporites</i> cf. <i>granulatus</i>
<i>Foveodiporites</i> sp.	<i>Scolecospores</i> sp.
<i>Frasnacritetrus</i> sp.	<i>Spirotremesporites</i> sp.
<i>Fusiformisporites</i> sp.	<b>Hyphae and Fruit bodies:</b>
<i>Glomus</i> sp.	<i>Callimothallus pertusus</i> Dilcher 1965
<i>Inapertisporites</i> sp.	<i>Fungites capillaris</i> (Casparly & Klebs) em Casparly 1907
<i>Hypoxylonites</i> sp.	<i>Microthallites</i> sp.
<i>Involutisporonites</i> sp.	<i>Paramicrothallites</i> sp.
<i>Mediaverrunites</i> sp.	<i>Parmathyrites</i> sp.
	<i>Phragmothyrites</i> sp.
<b>Freshwater algae</b>	
<b>Chlorophyceae class:</b> <i>Botryococcus</i> sp.	<b>Cyanobacteria class:</b> <i>Gleotrichia</i> sp.
<i>Mougeotia</i> sp.	<b><i>Incertae sedis:</i></b> <i>Pseudoschizaea rubina</i> Rossignol ex Christopher 1976
<i>Spirogyra</i> sp.	
<i>Zygnema</i> sp.	
<b>Dinoflagellate cysts</b>	
<b>Gonyaulacoid:</b> <i>Operculodinium centrocarpum</i> (Deflandre & Cookson 1955) Wall 1967	<i>Brigantedinium simplex</i> Wall 1965 ex Lentin & William 1993
<i>Spiniferites</i> spp.	<i>Lejeunecysta</i> spp.
<b>Peridinioid:</b> <i>Brigantedinium</i> spp.	<i>Selenopemphix nephroides</i> Benedek 1972 <i>emend.</i> Benedek & Sarjeant 1981
	<i>Selenopemphix quanta</i> Bradford 1975 <i>emend.</i> Matsuoka 1985
<b>Zoomorphs</b>	
Foraminifera linings	
Tintinnomorphs: SPHERO-1, ELELNO-14, ESABNO-6, RECTNO-1, HEXANO-2, AROBNO-3	

**Table 04.** Palynofacies of the PSC-03 core, showing depth, the calculated radiocarbon age and the number of samples of each palynofacies.

<b>Palynofacies</b>	<b>Depth (cm)</b>	<b>Age range (<sup>14</sup>C cal yr BP)</b>	<b>Nº. of samples</b>
<b>I</b>	300 - 145	7,744 – 2,884	32
<b>II</b>	140 - 80	2,857 – 2,276	13
<b>III</b>	75 - 0	2,124 - present	15

## **PARTE III – INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS**

---

Nesta seção são apresentados os resultados, discussões, interpretações e conclusões. No capítulo 4 são exibidos separadamente os resultados sedimentológicos, cronoestratigráfico, isotópicos, palinológicos e palinofaciológicos. No capítulo 5 é desenvolvida a análise, discussão, interpretação bem como a proposição de um modelo evolutivo para área de estudo e comparações com outros registros paleoambientais da porção atlântica do sudeste da América do Sul (Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina). No capítulo 6 constam as principais conclusões, são tecidos comentários gerais a cerca dos temas desenvolvidos e recomendações para trabalhos futuros.

### **CAPÍTULO 4. RESULTADOS**

#### **4.1. Sedimentologia**

Com profundidade de 300 cm, poço PSC-03 é constituído por níveis de areia fina, intercaladas com silte, com grande teor de matéria orgânica. O intervalo entre 300-245 cm é formado por matriz de areia fina de cor cinza escuro com conchas fragmentadas e inteiras; entre 245-145 cm é composta por silte fino homogêneo de cor cinza escuro; entre 145-35 cm volta a ocorrer a matriz de areia fina de cor preta e são perceptíveis alguns fragmentos vegetais; no intervalo superior (35-0 cm), o sedimento predominante é constituído por solo de cor preta, rico em matéria orgânica e são encontrados com frequência fragmentos de folhas e raízes (Figura 2).

#### **4.2. Cronologia**

As idades radiocarbônicas obtidas são apresentadas na tabela 3, mostrando uma amplitude temporal entre o Holoceno médio e tardio, com idade basal de 7744 anos cal AP. Particularmente, a amostra a 155 cm apresentou idade controversa com relação às idades supra e subjacente (Tabela 3); seu maior espectro de erro limita sua utilização para controle geocronológico. Este tipo de ocorrência não é único para litoral do sul do Brasil (e.g., Behling & Negrelle, 2001; Hein *et al.*, 2013), tendo sido geralmente interpretado como resultado de mistura de componentes detríticos de diferentes idades.

**Tabela 3.** Idades radiocarbônicas (AMS  $^{14}\text{C}$ ) das amostras selecionadas do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa e respectiva calibração (CALIB 7.1; Stuiver et al., 2016). \*O pMC (porcentagem de carbono moderno) é apresentado quando o material analisado tem mais  $^{14}\text{C}$  que o padrão de referência moderno, assim esta amostra é considerada recente, ou seja, pós 1950.

Número do Laboratório	Profundidade (cm)	Idade $^{14}\text{C}$ AP	Idade $^{14}\text{C}$ AP (cal AP $2\sigma$ )	Idade calibrada AP (média da probabilidade)	Material
UGAMS # 25848	10	100,85 $\pm$ 0,3 pMC*	Moderno	----	Sedimento
UGAMS # 26518	90	2520 $\pm$ 25	2380 – 2721	2579	Madeira
UGAMS # 26983	120	2660 $\pm$ 20	2723 – 2777	2751	Sedimento
UGAMS # 23610	155	2230 $\pm$ 250	1606 – 2761	2198	Sedimento
UGAMS # 26517	265	3340 $\pm$ 25	3450 – 3607	3522	Sedimento
UGAMS # 26982	280	5490 $\pm$ 25	6195 – 6299	6246	Sedimento
UGAMS # 22214	300	6960 $\pm$ 30	7676 – 7832	7744	Sedimento

### 4.3. Análises geoquímica de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N

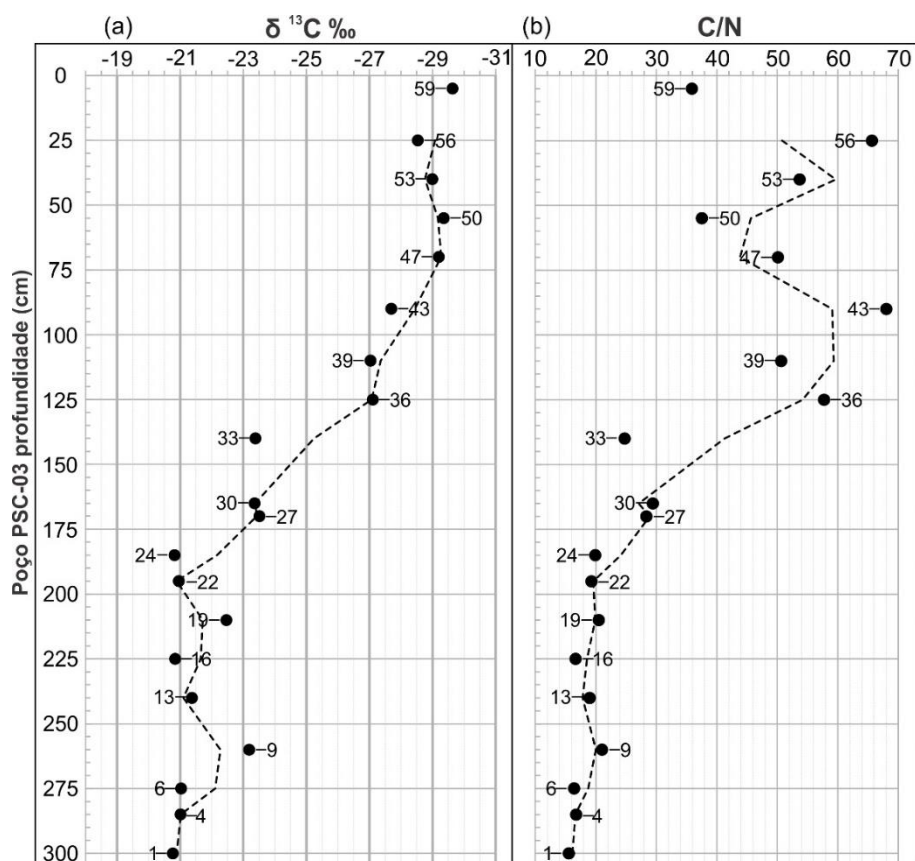
A concentração de  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do poço mostra considerável variação, entre  $-20,77\text{‰}$  a  $-29,66\text{‰}$  (Tabela 4 e Figura 6), com maiores valores (entre  $-20,77\text{‰}$  a  $-23,51\text{‰}$ ) intercalados entre 300 a 140 cm de profundidade (amostras 1 a 33). A concentração de  $\delta^{13}\text{C}$  apresenta tendência de redução em direção ao topo, entre  $-27,11\text{‰}$  a 125 cm de profundidade (amostra 36) até  $-29,20\text{‰}$ , a 70 cm de profundidade (amostra 47). No intervalo próximo ao topo do poço a concentração de  $\delta^{13}\text{C}$  apresenta as menores variações, entre  $-28,53\text{‰}$  a  $-29,63\text{‰}$ .

De igual maneira, a razão entre os isótopos de C/N também apresentou grande variação ao longo do poço, entre 15,55 a 68,03 (Tabela 4 e Figura 6); com menores valores entre 15,55 e 29,44, entre 300 (amostra 1) e 140 (amostra 33) cm de profundidade. Entre 125 (amostra 36) e 70 (amostra 47) cm de profundidade, a razão oscila entre 50,11 e 68,03. Nas amostras de topo (55 a 05 cm) as variações de C/N foram mais bruscas, entre 35,90 e 65,63.



**Tabela 4.** Valores isotópicos das amostras selecionadas do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.

Número do Laboratório	Profundidade (cm)	Amostras	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	C/N (‰)
UGAMS # 26652	300	1	-20,77	15,55
UGAMS # 26653	285	4	-21,01	16,78
UGAMS # 26654	275	6	-21,03	16,44
UGAMS # 26655	260	9	-23,19	21,06
UGAMS # 26656	240	13	-21,37	19,00
UGAMS # 26657	225	16	-20,84	16,65
UGAMS # 26658	210	19	-22,47	20,51
UGAMS # 26659	195	22	-20,96	19,31
UGAMS # 26660	185	24	-20,82	19,90
UGAMS # 26661	170	27	-23,51	28,36
UGAMS # 26662	155	30	-23,36	29,44
UGAMS # 26663	130	33	-23,39	24,78
UGAMS # 26664	125	36	-27,11	57,75
UGAMS # 26665	110	39	-27,03	50,62
UGAMS # 26666	90	43	-27,69	68,03
UGAMS # 26667	70	47	-29,20	50,11
UGAMS # 26668	55	50	-29,35	37,55
UGAMS # 26669	40	53	-28,99	53,71
UGAMS # 26670	25	56	-28,53	65,63
UGAMS # 26671	10	59	-29,63	35,90



**Figura 6.** Variação do carbono orgânico ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e razão carbono:nitrogênio (C/N) da matéria orgânica do poço PSC-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.

#### 4.4. Palinologia e palinofácies

As amostras analisadas contêm abundante quantidade de matéria orgânica particulada, exceção à amostra 3 (290 cm de profundidade) na qual não se atingiu as 500 partículas estabelecida, entretanto foi possível contar 300 partículas. Dentro dos quatro grandes grupos da matéria orgânica particulada foi possível distinguir 20 categorias que representam o total da assembleia palinológica.

A presente tese buscou focar nos representantes dos ambientes marinhos, tendo como base a análise taxonômica de formas, determinadas muitas delas descritas pela primeira vez para o Quaternário do Brasil. A identificação, origem biológica e constituinte de cada categoria está sintetizada tabela 2; a lista taxonômica dos grupos de palinomorfos identificados tabela 6. Informações detalhadas sobre a taxonomia e das assinaturas ambientais dos cistos de dinoflagelados e tintinomorfos podem ser acessadas nos Artigos 1 e 2 presentes nesse documento.

A preservação das assembleias palinológicas é boa, com diferenças ao longo do poço. Nos níveis basais, é comum o registro de palinomorfos com a parede rompida ou amassada; cristais de pirita aderidos a determinados espécimes e fitoclastos foram observados em diversos níveis.

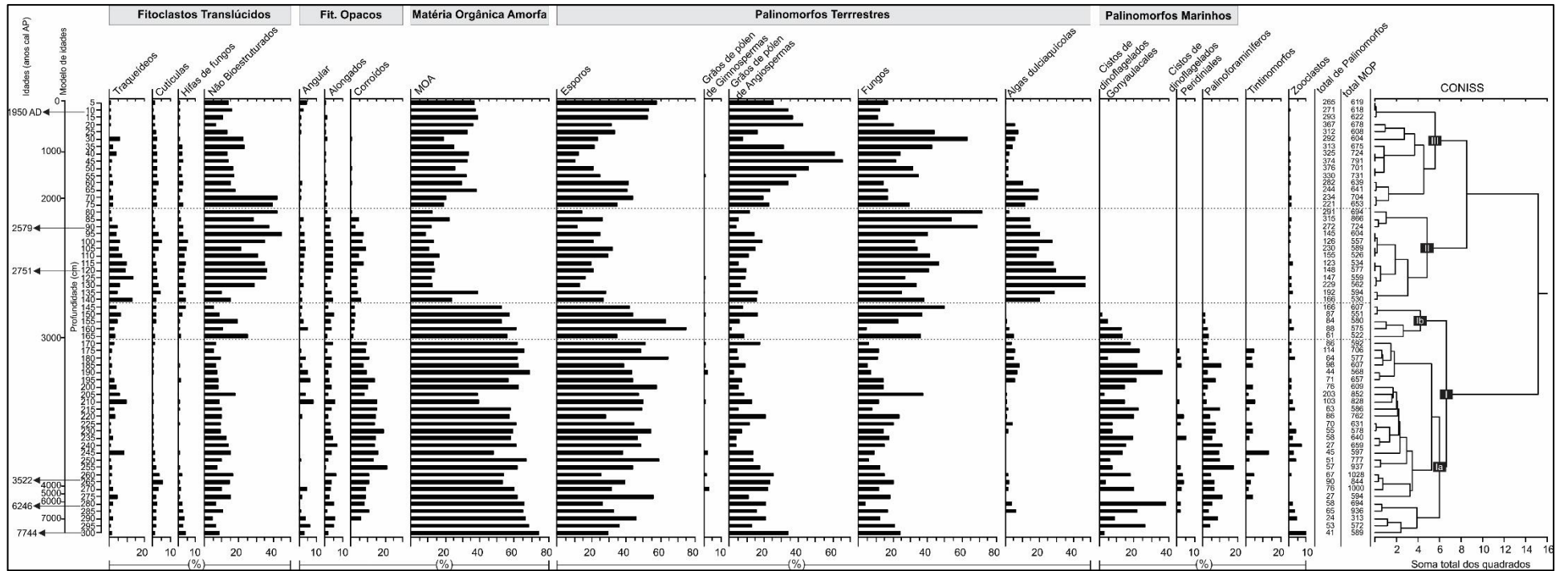
Com base na análise de agrupamentos (CONISS) três associações palinofaciológicas (I, II e III) foram reveladas (Figura 7). A partir do método de interpolação linear um modelo de idades por profundidade foi estabelecido para cada uma das palinofácies identificadas (Tabela 5).

**Tabela 5.** Palinofácies identificadas no poço PSC-03, apresentando profundidade, idades radiocarbônicas e número de amostras em cada palinofácies.

<b>Palinofácies</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Idade (<sup>14</sup>C anos cal AP)</b>	<b>Nº. de amostras</b>
<b>I</b>	300 - 145	7744 – 2884	32
<b>II</b>	140 - 80	2857 – 2276	13
<b>III</b>	75 - 0	2124 - Presente	15

**Tabela 6.** Lista taxonômica dos palinóforos identificados no poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.

<b>Esporos</b>
<b>Briófitas:</b> <i>Phaeoceros</i> Prosk.
<b>Pteridófitas:</b> <i>Adiantum</i> L.; <i>Alsophila</i> R. Br.; <i>Anograma</i> ; <i>Blechnum</i> L.; Cyatheaceae; Polypodiaceae;
<b>Não determinados:</b> sp. 1 a sp. 6
<b>Grãos de pólen</b>
<b>Gimnospermas:</b> <i>Podocarpus</i> L' Hér. Ex Pers;
<b>Angiospermas:</b> <i>Alchornea</i> Sw.; <i>Alnus</i> Mill.; <i>Amaranthus</i> /Chenopodiaceae; Asteraceae Subf. Asteroidade; Cucurbitaceae; Cyperaceae; <i>Drymis brasiliensis</i> Miers; <i>Ephedra</i> ; <i>Eryngium</i> L.; <i>Gomphrena</i> L.; <i>Gunnera</i> ; <i>Ilex</i> L. <i>Ludwigia</i> L.; <i>Myrtaceae</i> ; <i>Oxalidaceae</i> ; <i>Poaceae</i> ; <i>Sebastiania</i> Spreng.; <i>Tripodanthus acutifolius</i> Thieg.; <i>Utricularia</i> L
<b>Não determinados:</b> sp. 1 a sp. 9
<b>Fungos</b>
<b>Esporos:</b> <i>Brachysporisporites</i> sp.; <i>Dicellaesporites</i> sp.; <i>Dicellaesporites obnixus</i> Norris 1986; <i>Diporicellaesporites</i> sp.; <i>Diporicellaesporites</i> sp. C em Parsons & Norris 1999; <i>Exesisporites</i> sp. B em Parsons & Norris 1999; <i>Foveodiporites</i> sp.; <i>Frasnacritetrus</i> sp.; <i>Fusiformisporites</i> sp.; <i>Glomus</i> sp.; <i>Inapertisporites</i> sp.; <i>Hypoxylonites</i> sp.; <i>Involutisporonites</i> sp.; <i>Mediaverrunites</i> sp.; <i>Monoporisporites</i> sp.; <i>Multicellaesporites</i> sp.; <i>Paramicrothallites</i> sp. A em Parsons & Norris 1999; <i>Pluricellaesporites</i> spp.; <i>Polyadosporites</i> sp.; <i>Punctodiporites</i> cf. <i>granulatus</i> ; <i>Scolecospirites</i> sp.; <i>Spirotremesporites</i> sp.;
<b>Hifas e corpos frutíferos:</b> <i>Callimothallus pertusus</i> Dilcher 1965; <i>Fungites capillaris</i> (Caspary & Klebs) em Caspary 1907; <i>Microthallites</i> sp.; <i>Paramicrothallites</i> sp.; <i>Parmathyrites</i> sp.; <i>Phragmothyrites</i> sp.
<b>Algas de água doce</b>
<b>Classe Chlorophyceae:</b> <i>Botryococcus</i> sp.; <i>Mougeotia</i> sp.; <i>Spirogyra</i> sp.; <i>Zygnema</i> sp.
<b>Classe Cyanobacteria:</b> <i>Gleotrichia</i> sp.
<b>Incertae sedis:</b> <i>Pseudoschizaea rubina</i> Rossignol ex Christopher 1976
<b>Cistos de dinoflagelados</b>
<b>Gonyaulacoides:</b> <i>Operculodinium centrocarpum</i> (Deflandre & Cookson 1955) Wall 1967; <i>Spiniferites</i> spp.
<b>Peridinioides:</b> <i>Brigantedinium</i> spp.; <i>Brigantedinium simplex</i> Wall 1965 ex Lentin & William 1993; <i>Lejeunecysta</i> spp.; <i>Selenopemphix nephroides</i> Benedek 1972 emend. Benedek & Sarjeant 1981; <i>Selenopemphix quanta</i> Bradford 1975 emend. Matsuoka 1985
<b>Zoomorfos</b>
Palinoforaminíferos não determinados;
Tintinóforos: SPHAERO-1, ELENO-14, ESABNO-6, HEXANO-2, RECTENO-1, AROBNO-3



**Figura 7.** Frequência relativa (%) da matéria orgânica particula (POM), análise *cluster* e as palinofácies identificadas no poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.

## CAPÍTULO 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1. Dados isotópicos

Isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e a relação C/N preservados nos sedimentos constituem importante fonte de informações sobre as variações do nível relativo do mar nas áreas costeiras (Wilson *et al.*, 2005a, 2005b; Khan *et al.*, 2015). Meyers (1994) propõe a aplicação conjunta dos teores de  $\delta^{13}\text{C}$  e da razão C/N para distinguir a origem da matéria orgânica preservada nos sedimentos, derivada de diversas fontes, tais como plantas vasculares ( $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ ), fitoplâncton marinho ou de água doce (Meyers, 1994, 1997, 2003; Wilson *et al.*, 2005a, 2005b; Lamb *et al.*, 2006, 2007; Khan *et al.*, 2015).

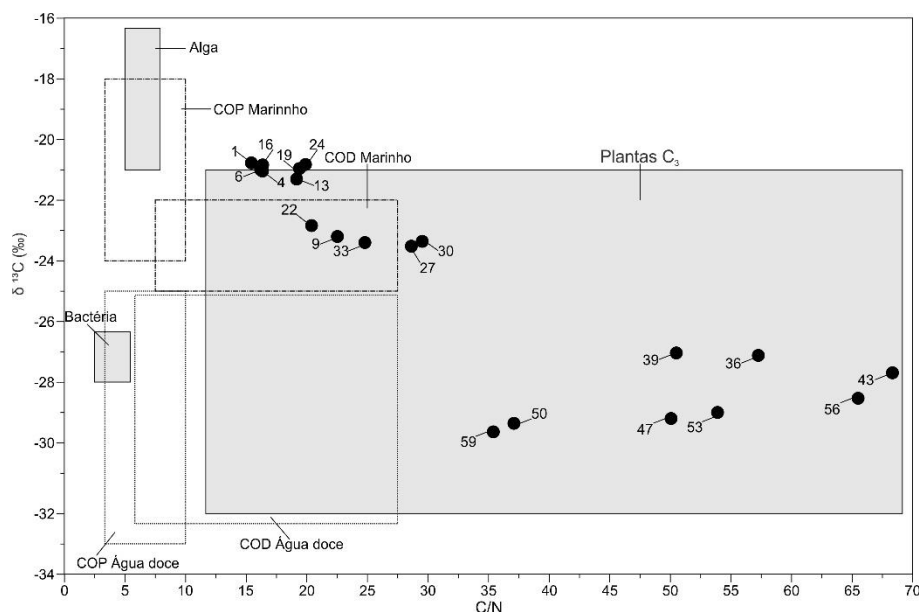
Desse modo, como resultado das características fisiológicas e bioquímicas das plantas durante o ciclo fotossintético, a matéria orgânica originada das plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  apresentam concentrações de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-32$  a  $-21\text{‰}$  e  $-17$  e  $-9\text{‰}$ , respectivamente. Utilizando-se os critérios fisiológicos e bioquímicos referentes à fotossíntese e à concentração de  $\text{CO}_2$  dissolvido na coluna d'água, dependente da temperatura do corpo d'água, a matéria orgânica oriunda do fitoplâncton marinho exibe concentração de  $\delta^{13}\text{C}$  entre  $-24$  e  $-18\text{‰}$  (Meyers, 1994, 1997, 2003; Lamb *et al.*, 2006).

Algas geralmente apresentam razão C/N entre 4 e 10, enquanto a vegetação terrestre vascular possui razão acima de 20 (Meyers, 1994; Tyson, 1995). Essa diferença é resultante da ausência de celulose na composição das primeiras e da abundância desse composto nas segundas, além de que as algas são mais ricas em proteínas (Meyers, 1994, 1997, 2003).

Com base na análise combinada de  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N das amostras selecionadas, é possível inferir que a matéria orgânica é oriunda de duas fontes distintas fitoplâncton marinho e plantas terrestres do tipo  $\text{C}_3$  (Figura 8). Segundo Meyers (1994, 1997, 2003) a vantagem do uso combinado dos teores de  $\delta^{13}\text{C}$  e da razão C/N é que estes parâmetros representam toda a mistura de componentes que constituem a matéria orgânica contida no depósito sedimentar.

Considerando a relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N demonstrada na figura 8, três amostras (9, 22 e 33) apresentam fonte de matéria orgânica predominante marinha, enquanto oito (39, 36, 43, 47, 50, 53, 56 e 59) são oriundas de plantas tipo  $\text{C}_3$ . Nove amostras (1, 4, 6, 13, 16, 19, 24, 27 e 30) se posicionam muito próximas da área de

mistura entre as duas fontes, mas estão situadas no campo de domínio das plantas  $C_3$  (Figura 8).



**Figura 8.** Valores de  $\delta^{13}C$  x C/N da matéria orgânica do poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa. COP: carbono orgânico particulado; COD: carbono orgânico dissolvido.

## 5.2. Palinofácies e paleoambientes

A interpretação paleoambiental da seção estudada é baseada na integração dos dados palinofaciológicos e isotópicos (Figura 9). Com base na análise de agrupamento, a seção foi subdividida em três palinofácies, levando em consideração a razão entre os palinomorfos marinhos (cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos) e continentais (esporomorfos e algas dulciaquícolas), que apresentam distribuições inversamente proporcionais (Figura 9). As mudanças na frequência relativa dos distintos constituintes da matéria orgânica particulada estão relacionadas ao último máximo transgressivo do Holoceno.

As palinofácies identificadas são descritas como seguem, cujos valores da frequência relativa correspondentes aos grupos da matéria orgânica particulada são expressos com seus máximos e mínimos.

### 5.2.1. Palinofácies I (300 a 145 cm de profundidade; 7744 a 2884 anos cal AP)

Palinofácies caracterizada pelo predomínio de MOA (38,73% a 73,85%), seguida por esporos com (25,37% a 75%), fungos (3,45% a 50%) e cistos de dinoflagelados Gonyaulacoides (2,44%-36,36%). Variações na constituição dos palinomorfos marinhos permitiu dividir esta palinofácies em duas: Palinofácies Ia (amostras 1 a 27) e Palinofácies Ib (amostras 28 a 32). Todas as ocorrências dos

palinómorfos marinhos (cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos) são restritos a esta palinofácies (Figura 7).

#### **Palinofácies Ia (300 a 170 cm de profundidade)**

Constituída por 27 amostras, onde são identificados todos os quatro grandes grupos da matéria orgânica particulada. O grupo mais abundante é a MOA, com frequência relativa entre 38,73% a 73,85%. Dentro do grupo palinómorfos, os esporos são os mais representativos, apresentam frequência relativa variando entre 25,37% a 64,06%. Fungos são registrados com 3,45% a 37,44% de frequência, algas de água doce ocorrem com o máximo de 8,16% de frequência. Grãos de angiospermas ocorrem com frequência entre 2,27% a 34,15%, as gimnospermas apresentam frequência relativa inferiores a 3% (Figura 7).

Dentre os palinómorfos marinhos, os cistos de dinoflagelados Gonyaulacoides são os mais frequentes 2,44% a 36,36%; cistos da ordem Peridinioide apresentam frequência relativa baixa 0,88% a 3,49%; palinoforaminíferos são registrados com 1,48% a 17,54%. Tintinómorfos apresentam frequência relativa de 1,48% a 13,33% (Figura 7).

Os demais componentes da matéria orgânica particulada são caracterizados por fitoclastos opacos corroídos 5,75% a 20,81%, fitoclastos opacos alongados 1,39% a 7,28%, fitoclastos opacos anguloso 0,43% a 8,21%, fitoclastos translúcidos não bioestruturados 4,79% a 18,08%, hifas 0,18% a 5,81%, traqueídeos 0,17% a 9,66% e zooclastos 0,88% a 9,76% (Figura 7). É comum o registro de aglomerados de cristais de piritas sobre os fitoclastos ou, mais raramente, no interior de palinómorfos.

#### **Palinofácies Ib (165 a 145 cm de profundidade)**

Composta por 5 amostras, o grupo dominante continua sendo MOA com 60,87% a 52,72% de frequência relativa. Entre os palinómorfos continentais, os esporos são melhores representados (34,43% a 75%), seguidos pelos fungos (4,55% a 50%). Grãos de pólen de angiospermas são registrados com frequência entre 1,14% a 16%, gimnospermas e algas de água doce apresentam representatividade < 5% (Figura 7).

Dentre os palinómorfos marinhos são registrados cistos de Gonyaulacoides (1,15% a 13,11%) e palinoforaminíferos (< 3,5%). Cistos de dinoflagelados Peridinioide e tintinómorfos não são registrados nesta subdivisão. Os demais constituintes da matéria orgânica particulada registrados são fitoclastos translúcidos (1% a 24,90%), fitoclastos opacos (1% a ~5,5%) e zooclastos (< 2,5%) (Figura 7).



De modo geral, nesta palinofácies o grupo mais abundante da matéria orgânica particulada é a MOA, seguida pelos esporos. No entanto, a presença de palinomorfos marinhos (cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos) permite inferir condições marinhas (Figura 9). Os dados isotópicos indicam a contribuição de matéria orgânica de origem marinha e terrestre (Figura 8).

A abundância de MOA sugere condições de baixa oxigenação. Teores elevados de MOA são depositados em áreas afastadas da atividade fluvial, indicando condições anóxicas e baixa energia no sistema deposicional (Tyson, 1995).

Dentre os fitoclastos opacos, os corroídos apresentam melhor representatividade, sugerindo um maior tempo de transporte e distância da área fonte até o sítio deposicional (Tyson, 1993), enquanto aqueles translúcidos, geralmente depositados próximos a área fonte (Carvalho *et al.*, 2005), são subordinados. Não é difícil encontrar ao longo da seção cristais de pirita aglomerados sobre os fitoclastos translúcidos ou na parede dos palinomorfos.

Esporos apresentam excelente estado de preservação, com pouquíssimos espécimes com a parede danificada, indicando proximidade da área fonte, em condições úmidas, em fácies proximais (Tyson, 1995; Batten, 1996). Grãos de pólen de angiospermas e algas dulciaquícolas apresentam frequência relativa baixa e mau estado de preservação, sendo comum a ocorrência de espécimes com a parede corroída, ou amassada, dificultando o reconhecimento taxonômico, indicando atuação efetiva do transporte sedimentar.

A influência marinha é identificada com base no reconhecimento de cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos. Entre os 285-175 cm de profundidade (~6621 - ~3043 anos cal AP) é identificada a seguinte associação de cistos de dinoflagelados *Brigantedinium simplex*, *Brigantedinium* spp., *Lejeunecysta* spp., *Selenopemphix nephroides*, *Selenopemphix quanta*, *Operculodinium centrocarpum* e *Spiniferites* spp. O maior número táxons peridinioides (*Brigantedinium*, *Lejeunecysta* e *Selenopemphix*) sobre os gonyaulacoides (*Spiniferites* e *Operculodinium*) aponta para regime nerítico interno (de Vernal & Giroux, 1991). Palinoforaminíferos constituem excelentes marcadores ambientais de influência ou conexão marinha com o sítio deposicional (Tyson, 1995; Batten, 1996; de Vernal, 2009; Mudie *et al.*, 2011) e podem indicar alto influxo de carbono orgânico (de Vernal, 2009).

Van Waveren (1994) propôs o uso do termo “Tintinomorfos” para agrupar microfósseis de parede orgânica assemelhados a restos orgânicos de tintinídeos,

porém com características insuficientes para serem identificados como verdadeiras lóricas, cistos ou bolsas, podendo corresponder a outros protozoários ou partes de outros organismos, como rotíferos e turbelários. A escassez de estudos sistemáticos, bem como incerteza sobre a afinidade biológica, limita seu uso para fins paleoambientais. Contudo, em sedimentos marinhos modernos, esses palinormorfos estão sempre associados, mesmo que subordinados, a outros elementos marinhos, tais como cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos, acritarcos e ovos de copépodes (Kawamura, 2004; Hardy & Wrenn, 2009; Matsuoka *et al.*, 2017). Os tintinormorfos registrados no poço PSC-03 ocorrem com palinormorfos terrestres (esporos, grão de pólen, fungos e algas dulciaquícolas) e marinhos (cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos) e tornam-se ausentes naqueles níveis em que palinormorfos marinhos são escassos ou ausentes (Figura 9). Registros palinológicos holocenos demonstram sua ocorrência em depósitos marinhos marginais com grande aporte de nutrientes (Grill *et al.*, 2002; Borromei & Quattrocchio, 2001, 2007; Sparica *et al.*, 2005; Roncaglia, 2004; Mudie *et al.*, 2010, 2011).

A baixa diversidade das associações de cistos de dinoflagelados indica condições restritas e estressantes, tais como grandes variações na salinidade (Wall *et al.*, 1977; Gorin & Steffen, 1991; Tyson, 1995; Prauss, 2000). A ocorrência de cristais de pirita aderidos aos fitoclastos e aos palinormorfos sugere condições redutoras associadas a ambientes marinhos marginais (Candel *et al.*, 2011; 2013).

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N mostram que as fontes de matéria orgânica apresentam mistura de origem marinha e terrestre corroborando os dados palinofaciológicos. As amostras 1 a 30 apresentaram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -20,77‰ e -23,51‰, e razão C/N entre 15,55 e 29,44 (Figura 9). No gráfico da relação  $\delta^{13}\text{C}$  e razão C/N (Figura 8), é observado que duas amostras (9 e 22) apresentam fonte de matéria orgânica predominante marinha e nove amostras (1, 4, 6, 13, 16, 19, 24, 27 e 30) situam-se no campo das plantas  $\text{C}_3$  (Meyer, 1994; Wilson *et al.*, 2005a; Lamb, 2006; Khan *et al.*, 2015).

Os dados palinofaciológicos e palinológicos permitem inferir condição ambiental marinha marginal (Figura 10a). Corroboram essa interpretação os dados geoquímicos da relação  $\delta^{13}\text{C}$  e a razão C/N, que mostram uma mistura de fonte de matéria orgânica de origem marinha com a matéria orgânica oriunda de plantas terrestres do tipo  $\text{C}_3$  (Figura 9).

### 5.2.2. Palinofácies II (140 a 80 cm de profundidade; 2857 a 2276 anos cal AP)

Esta palinofácies é representada por 13 amostras, nas quais fungos são relativamente abundantes (24,48% a 71,48%); esporos (11,76% a 31,74%), algas dulciaquícolas (2,41% a 46,29%), grãos de pólen de angiospermas (3,68% a 19,05%) apresentam frequências variadas e grãos de pólen de gimnospermas são raros (< 1%). Palinomorfos marinhos (dinoflagelados e palinoforaminíferos) não são mais encontrados no registro sedimentar (Figura 7).

Em relação à Palinofácies I, a MOA apresenta redução na sua representatividade, contudo, ainda é um dos grupos constituintes da matéria orgânica particulada com maior frequência relativa (10,53% a 38,38%). Dentre os fitoclastos translúcidos, os não bioestruturados são os mais bem representados (10,10% a 45,03%), seguidos por traqueídeos com 1% a 13,77%, cutículas e hifas de fungos apresentam frequência entre 1% a 5%. Fitoclastos opacos apresentam redução expressiva na sua frequência: corroídos com < 9%, alongados com < 5% e os angulosos com < 4%. Os zooclastos ocorrem com frequência relativa máxima de 2% (Figura 7).

Fungos são responsáveis pela degradação de tecidos de vegetais superiores e indicativos de umidade (Muller, 1959; Elsik, 1996; Batten, 1996; Mudie *et al.*, 2011). A grande participação de fungos sugere a formação de solos com grande teor de matéria orgânica (Figura 9). Essa constatação é corroborada pelos percentuais significativos de esporos, que indicam contribuição efetiva da vegetação pteridofítica, em condições úmidas (Tyson, 1993; Meyer *et al.*, 2005a).

A redução da representatividade da MOA e dos fitoclastos opacos, em contraponto ao aumento da representatividade dos fitoclastos translúcidos, pode ser explicada por condições ambientais mais oxidantes. Percentuais elevados de fitoclastos translúcidos no conjunto da matéria orgânica particulada indica origem proximal das fácies e condições ambientais óxicas (Tyson, 1993; Carvalho *et al.*, 2005; Meyer *et al.*, 2005a).

Algas relacionadas à família Zygnemataceae (*Mougeotia*, *Zygnema*, *Spirogyra*) são típicas de ambientes dulciaquícolas, tais como lagos com pequena lâmina d'água, áreas úmidas ou solos encharcados (Van Geel & Grenfell, 1996; Van Geel, 2001). Segundo Van Geel (1976, 1979), em termos gerais, as Zygnemataceae produzem esporos em corpos d'água doce, pouco profundos, tranquilos, ricos em oxigênio e cuja temperatura possa elevar-se rapidamente aos níveis requeridos para esse processo.

No gráfico de relação entre isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e razão C/N (Figura 8), é observado que a amostra 33 (140 cm de profundidade) apresenta origem de matéria orgânica marinha, o que deve ser atribuído à proximidade com o topo da Palinofácies I, com assinatura marinha. Provavelmente, durante o período de fechamento da conexão com o mar, quantidade considerável do fitoplâncton marinho tolerante às variações de salinidade da coluna d'água era depositada no sedimento de fundo e degradada, dando origem à parte da MOA da primeira amostra da Palinofácies II (Figura 9). Contudo, as demais amostras (36, 39, 43) apresentam valores mais reduzidos de  $\delta^{13}\text{C}$  (-27,03‰ a -27,69‰) e aumento na concentração da razão C/N (50,62 a 68,03). Esses dados indicam o predomínio de plantas do tipo  $\text{C}_3$  como fonte da matéria orgânica (Meyer, 1994; Wilson *et al.*, 2005a; Khan *et al.*, 2015) (Figura 8).

Os dados isotópicos corroboram os dados palinológicos e palinofaciológicos (Figura 9). Táxons arbóreos (*Myrtaceae*, *Ilex*, *Alchornea*, *Drymis brasiliensis*, *Sebastiania*) são registrados em melhor estado de preservação, porém com pouca expressividade. Também são reconhecidos táxons herbáceos (*Poaceae*, *Cyperaceae*, *Asteraceae* Subf. *Asteroide*, *Amaranthus/Chenopodiaceae*, *Oxalidaceae*, *Gunnera*, *Gomphrena*) e aquáticos (*Ludwigia* e *Utricularia*). A abundância de fungos sugere a formação de solos mais ricos em matéria orgânica e com teores altos de umidade. A alta frequência relativa de esporos associados com zigósporos e fragmentos de algas dulciaquícolas reforça a presença de coluna d'água (Figura 10b).

### **5.2.3. Palinofácies III (75 a 0 cm de profundidade; 2124 anos cal AP ao Presente)**

Esta palinofácies abrange 15 amostras. Dentre os palinomorfos, os grãos de pólen de angiospermas são os mais abundantes (7,53% a 65,78%); esporos e fungos ocorrem subordinados (10,43% a 57,74% e 10,92% a 62,67% respectivamente); algas de água doce constituem entre ~1% a 19,26% da associação, ausentes nos níveis superiores (Figura 7).

Os demais grupos da matéria orgânica particulada é constituído por MOA (18,71% a 38,59%) e fitoclastos. Dentre estes últimos, fitoclastos translúcidos não bioestruturados são destacados (6,49% a 41,90%), e hifas de fungos, traqueídeos e cutículas não ultrapassam, individualmente, 5,5%. Zooclastos e fitoclastos corroídos são escassos (< 1,5% e < 5% respectivamente) (Figura 7).

A abundância de grãos de pólen de angiospermas e esporos indica grande influência da vegetação terrestre. O excelente estado de preservação e a maior representatividade dos esporomorfos nesta palinofácies reforçam a interpretação. O registro contínuo de fungos nas amostras está associado à abundância de restos de plantas, característica típica de ambientes pantanosos, flúvio-lacustres, lagoas, topos de deltas e marinhos proximais antigos e modernos (Tyson, 1995; Batten, 1996). A redução das algas dulciaquícolas da base para o topo demonstra a colonização da área alagada pela vegetação arbórea, sob condições de solos úmidos.

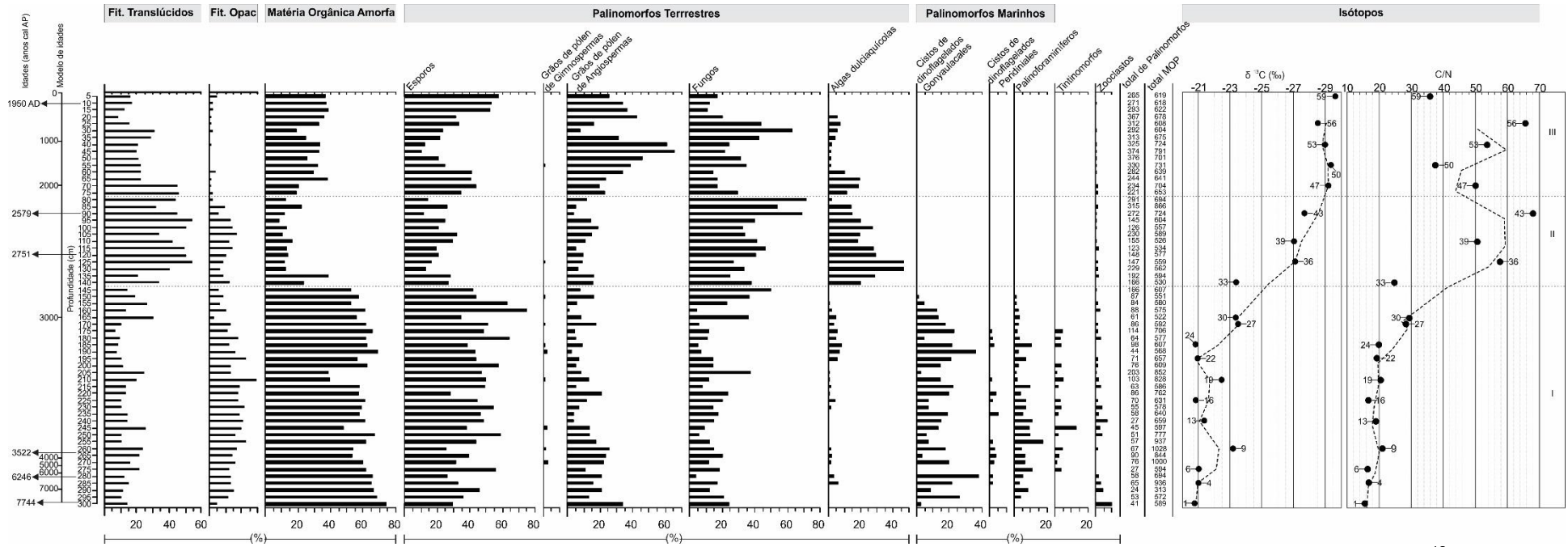
A redução em frequência dos fitoclastos opacos e o aumento da participação dos fitoclastos translúcidos na constituição da matéria orgânica particulada, situação estabelecida na palinofácies anterior, indica condições oxidativas em ambiente próximo das plantas produtoras.

Durante o processo pedogenético de ambientes florestais é comum o registro de fragmentos de tecidos vegetais e partículas amorfas; porém a preservação de fitoclastos translúcidos pode ser abundante devido à alta produtividade da vegetação local. Adicionalmente, a abundância de fungos (esporos, hifas e filamentos) sugere a degradação aeróbica dos tecidos vegetais (Sebag, *et al.*, 2006).

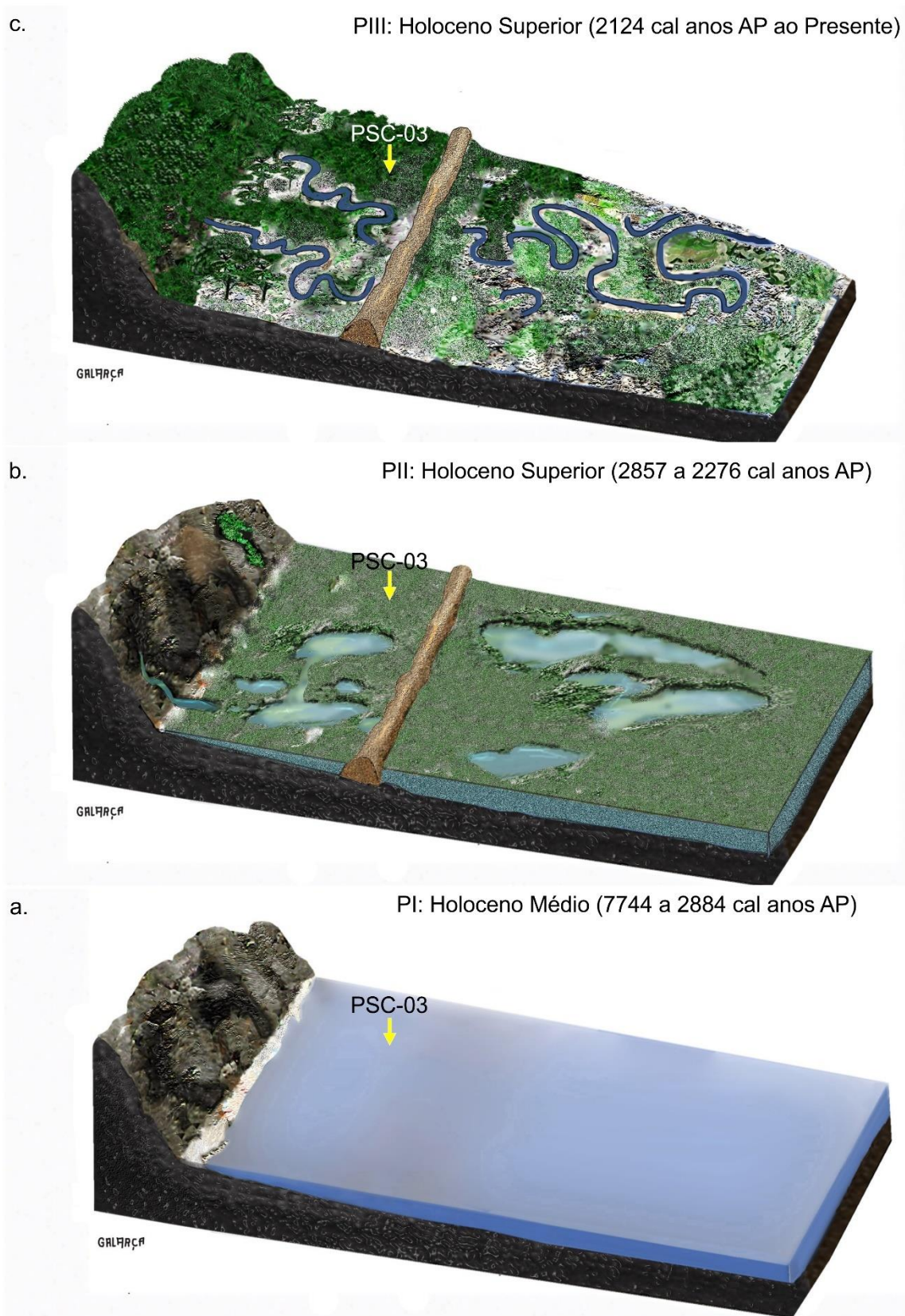
Dados isotópicos corroboram as interpretações palinológicas e palinofaciológicas. Os valores mais reduzidos na concentração de  $\delta^{13}\text{C}$  (-28,53‰ a -29,63‰) e o aumento na concentração da razão C/N (35,90 a 65,63) nas amostras 47, 50, 53, 56 e 59 confirmam a dominância de plantas do tipo  $\text{C}_3$  como fonte de matéria orgânica (Meyers, 1994; Wilson *et al.*, 2005a) (Figura 8).

As associações palinológicas *Myrtaceae*, *Ilex*, *Alchornea*, *Drymis brasiliensis*, *Sebastiania* sugerem a colonização da área do sítio deposicional por formas arbóreas constituintes da Mata Atlântica (Behling & Negrelle, 2001; Lorscheitter, 2003). A ocorrência abundante de esporos em relação à palinoflora regional pode ser usada como indicativa de condições úmidas (Tyson, 1993). O registro comum de esporos de fungos *Exesisporites*, *Fusiformisporites*, *Hypoxyloites*, *Monoporisporites*, *Pluricellaesporites* e *Mediaverrunites* corrobora a inferência de maior umidade e sugere condição climática quente (Nandi & Sinha, 2007). Em especial, o gênero *Mediaverrunites* tem sido registrado em depósitos associados a climas tropicais e subtropicais do Mioceno ao Holoceno (Muller, 1959; Arai *et al.*, 1988; Elsik, 1996; Elsik & Jarzen, 2009; Guimarães *et al.*, 2013; Cassino & Meyer, 2013; Nuñez *et al.*, 2017) (Figura 10c).

Os dados isotópicos corroboram as interpretações palinológicas visto que valores de concentração de  $\delta^{13}\text{C}$  nas amostras indicam dominância de plantas do tipo  $\text{C}_3$ , associadas a condições mais úmidas (Saia *et al.*, 2008; Pessenda *et al.*, 2012) (Figura 8).



**Figura 9.** Frequência relativa (%) dos maiores grupos componentes da matéria orgânica particulada, valores de carbono orgânico ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e razão carbono:nitrogênio (C/N) da matéria orgânica do poço PCS-03, Holoceno da Planície Costeira de Santa.



**Figura 10.** Modelo hipotético das fases paleoambientais interpretadas a partir das palinofácies (I, II e III) identificadas na área do poço PSC-03. **a.** Ambiente marinho marginal; **b.** Ambientes dulciaquícolas, com pequena lâmina d'água, área úmidas ou solos encharcados; **c.** Ambiente colonizado por formas arbóreas constituindo a mata (Autoria da figura: Paulo Garlaça).



### 5.3. Ocorrências correlatas na costa sudeste da América do Sul

Estudos paleoambientais desenvolvidos na costa sul do Brasil (PCSC e PCRS), do Uruguai e da Argentina demonstram que a transgressão pós-glacial causou uma série de transformações na paisagem, muitas das quais interpretadas ou corroboradas com base no conteúdo micropaleontológico, especialmente palinórfos e diatomáceas. Dessa forma, torna-se imprescindível comparar os dados obtidos no poço PSC-03 com aqueles obtidos em outras localidades da costa sudeste da América do Sul (Figura 11).

Com relação à PCSC, Behling & Negrelle (2001) apresentaram o registro de ingressão marinha na porção norte do litoral catarinense (Volta Velha) (Fig. 11 a e b, localidade 1), com a ocorrência de palinoforaminíferos entre 12220 e 6100 anos AP, incluindo o registro de espécimes de *Rhizophora*, táxon típico de manguezal. Vilanova & Prieto (2012) identificaram comunidades halófitas compostas por táxons relativos a marismas (*Spartina alterniflora*) associados a cistos de dinoflagelados (*Operculodinium* e *Spiniferites*), inundadas periodicamente por marés relacionadas ao progressivo aumento do nível do mar entre 7800 e 5400 anos AP. Considerando o espectro polínico de comunidades halófitas associadas a picos de cistos de dinoflagelados (*Operculodinium* e *Spiniferites*), o intervalo entre 6200 e 5500 anos AP é marcado como o máximo da transgressão marinha na localidade do Río Salado (Fig. 11 a e b, localidade 11), Argentina. Em Arroio Solís Grande (Fig. 11 a e b, localidades 9), Uruguai, Mourelle *et al.* (2015) identificaram elementos relativos a pântanos costeiros (*Spartina* sp. e *Chenopodiaceae*) desenvolvidos no entorno do estuário entre 8000 e 5100 anos AP, com máximo transgressivo entre 6300 e 5100 anos AP interpretado em razão da alta frequência de acritarcos dos gêneros *Mychristridium* e *Cymatiosphaera* e picos de cistos de dinoflagelados dos gêneros *Operculodinium* e *Spiniferites*.

Na PCRS as evidências da transgressão marinha são reconhecidas a partir dos 6700 anos AP. Palinórfos marinhos (palinoforaminíferos, cistos de dinoflagelados e acritarcos) são registrados na base da sequência sedimentar do sítio palinológico de Capão do Leão (Neves, 1998) (Fig. 11 a e b, localidade 6). Nas sequências lagunares da Lagoa dos Quadros, Laguna de Tramandaí e Laguna dos Patos (Fig. 11 a e b, localidades 5, 7 e 8), também são encontrados vestígios da transgressão entre 6700 e 5200 anos AP (Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter & Dillemburb, 1998; Meyer *et al.*, 2005). Nesses casos, o máximo transgressivo foi

inferido com base nos picos nos percentuais de cistos de dinoflagelados (*Operculodinium* e *Spiniferites*), acritarcos (*Michrystidium* sp.) e palinoforaminíferos associados a táxons psamófitos e halófitos (Poaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae) (Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter & Dillemburg, 1998; Neves, 1998).

Os dados apresentados por Cancelli (2012) e Kuhn *et al.* (2017) em Santa Rosa do Sul, São João do Sul e Garopaba na PCSC (localidades 2 e 4, Fig. 13 a e b), registraram a influência marinha entre 7900 e 3135 anos AP, a partir do reconhecimento de palinomorfos marinhos, tais como cistos de dinoflagelados (*Operculodinium* e *Spiniferites*), acritarcos (*Michrystidium* sp., Acritarco sp. 1, Acritarco sp. 2) e palinoforaminíferos. Na região de Jaguaruna, Amaral *et al.* (2012) também verificaram a influência marinha entre 5500 e 2580 anos AP, com base no registro sedimentológico, micropaleontológico (palinologia e diatomáceas) e isotópico ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , C/N), caracterizando o depósito sedimentar sob influência de zona de maré.

Na porção interna da plataforma continental argentina (Fig. 11 a e b, localidade 12), o espectro polínico indica o desenvolvimento de comunidades vegetacionais psamófitas e halófitas relacionadas com a progradação das barreiras litorâneas entre 5400 e 3300 anos AP (Vilanova *et al.*, 2006). No mesmo período, Vilanova *et al.* (2008) com base na baixa diversidade e abundância de cistos de dinoflagelados *Operculodinium* e *Spiniferites* interpretaram o sítio deposicional sob influência de zona de maré, ou litoral restrito.

Na PCSC, após os 6100 anos AP palinoforaminíferos não são mais registrados por Behling & Negrelle (2001) (Fig. 11 a e b, localidade 1), indicando o encerramento da conexão do sítio deposicional com o mar. A partir desse momento o registro de táxons da floresta tropical tornou-se mais frequente. Cancelli (2012) e Kuhn *et al.* (2017) (Fig. 11 a e b, localidades 2 e 4) registraram a redução da influência marinha entre 3135 e 800 anos AP, com o decréscimo, ou desaparecimento dos palinomorfos marinhos (cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos e acritarcos). Com a redução da influência marinha, ocorre um progressivo aumento da flora regional indicado pelo aumento da frequência de táxons arbóreos.

Para Argentina, na localidade do Río Salado (Fig. 11 a e b, localidade 11), as espécies halófitas em maior proporção de *Spartina densiflora* (Poacea) e *Sarcocornia perennis* (Chenopodiaceae) associadas a elementos marinhos

(*Michrystidium* sp., *Operculodinium* e *Spiniferites*) em menores proporções caracterizam condições estuarinas mais fracas, resultante do processo regressivo entre 5400 e 4300 anos AP (Vilanova & Prieto 2012). Entre 4300 e 1710 anos AP ocorre a substituição das espécies halófitas por espécies típicas de pântanos salobros representados pelo domínio de *Chenopodiaceae* associadas com *Cyperaceae*, *Asteraceae* e *Ambrosia*. Palinomorfos marinhos não são mais registrados, o que sugere o isolamento do sítio deposicional da ação direta do mar. O fim da conexão marinha com a área permitiu maior influência do Río Salado sobre o sítio deposicional e o desenvolvimento de ambiente campestre (Vilanova & Prieto, 2012).

Na PCRS, após o máximo transgressivo, os registros palinológicos indicam progressiva e contínua regressão do mar, que levou à dessalinização de parte dos terrenos e corpos d'água a partir dos 4000 anos AP (Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter & Dillemburb, 1998; Neves, 1998; Meyer *et al.*, 2005a) (Fig. 11 a e b, localidades 5, 7 e 8). Esses dados palinológicos estão de acordo com o modelo de evolução geológica para o Holoceno da PCRS (Villwock, 1984; Villwock & Tomazelli, 1995).

Na Lagoa Negra (Fig. 11 a e b, localidade 10), Uruguai, entre 43214-2939 anos AP, Garcia-Rodriguez *et al.* (2010) verificaram elementos indicativos de terrenos salinizados (*Chenopodiaceae*) e com influência de água salobra (cistos de *Peridinium* sp.). À medida que a regressão marinha intensifica, são reconhecidas o aumento *Cyperaceae*, macrófitas dulciaquícolas (*Myriophyllum*, *Pedisastrum* e *Botryococcus*). Após os 3504 anos AP, são estabelecidas as condições lacustres atuais com base no registro *Lemnaceae*, *Apiaceae* e *Typha*.

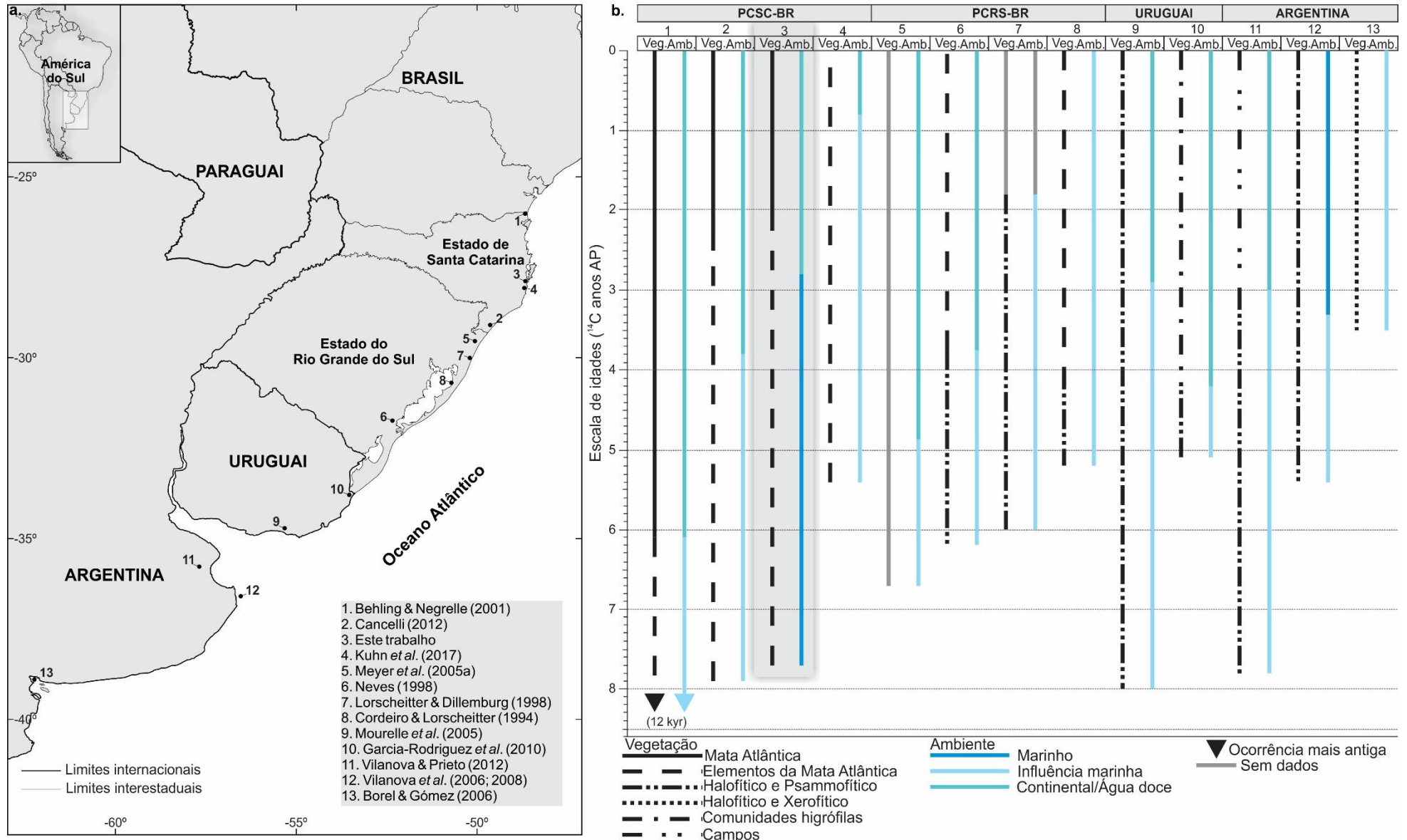
Há cerca de 2.900 anos cal AP as condições estuarinas são reduzidas com decréscimo na ocorrência de *Michrystidium* e *Cymatiosphaera* na localidade de Arroio Solís Grande (Fig. 11 a e b, localidades 9). A regressão marinha favoreceu a formação de barras arenosas que geraram áreas protegidas da ação direta do mar, favorecendo o desenvolvimento de comunidades psamófitas e halófitas representadas por *Chenopodiaceae* e *Poaceae* (Mourelle *et al.*, 2015). Após os 1.000 anos cal AP o desenvolvimento de marismas e pântanos foi interrompido pelo isolamento completo do sítio da influência marinha, mantendo apenas comunicação com águas do Rio de La Plata (Mourelle *et al.*, 2015)

No estuário de Bahía Blanca (Fig. 11 a e b, localidade 13), Argentina, Borel & Gómez (2006) identificam o desenvolvimento de comunidades halófitas juntamente

com bosques xerofíticos; também foram registrados grãos de pólen de plantas aquáticas, algas clorofíceas, cianofíceas, acritarcos e cistos de dinoflagelados dos gêneros *Operculodinium* e *Spiniferites* caracterizam corpos de água doce a salobra. A associação palinológica caracterizada aos 3500 anos AP sugere ambiente com alta turbidez, influenciado pela ação das marés. Os depósitos sedimentares teriam sido formados num período de nível do mar semelhante ao atual durante a fase regressiva. Após os 3500 anos AP a associação palinológica aponta para condições estuarinas mais restritas.

Na Argentina, após os 3300 anos AP, está localizado o único sítio (Fig. 11 a e b, localidade 12) em que é reconhecido o aumento da abundância e da diversidade dos cistos de dinoflagelados (*Operculodinium*, *Spiniferites*, *Brigantedinium*, *Echinidinium*, *Lejeunecysta*, *Quinquecuspis*, *Protoperidinium*, *Vontadinium*, *Polykrikos* e cf. *Selenopemphix*) caracterizando ambiente nerítico interno (Vilanova *et al.*, 2008).

Embora a transgressão tenha sido generalizada, alguns setores da costa não sofreram ação direta do mar. Ao longo da costa SE da América do Sul, o registro da ingressão marinha, ou até mesmo o acelerado aumento do nível do mar não é síncrono em todas as áreas, o que é resultante do grau de isolamento e distância que os distintos sítios deposicionais possuem em relação ao mar. As interpretações aqui apresentadas sobre as mudanças ambientais, de modo geral estão de acordo com as curvas do nível do mar propostas para os distintos setores da costa do sul do Brasil (Angulo *et al.*, 2006), do Uruguai (Martínez & Rojas, 2013) e do estuário do Rio de La Plata (Prieto *et al.*, 2017).



**Figura 11.** Quadro síntese das mudanças da vegetação (Veg.) e dos ambientes (Amb.) na costa sudeste da América do Sul.

#### 5.4. Paleoclima

Com base nas análises de diferentes ferramentas, o Holoceno médio é caracterizado por condições de clima quente e seco para região (Haug *et al.*, 2001; Wanner *et al.*, 2008; Mahiques *et al.*, 2009; Chiessi *et al.*, 2010; Gyllencreutz *et al.*, 2010; Prado *et al.*, 2013; Lantzch *et al.*, 2014). Durante o Holoceno médio, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) estava posicionada mais ao norte, enfraquecendo o sistema de Monção de Verão da América do Sul (SASM) (Haug *et al.*, 2001).

A vegetação litorânea foi fortemente afetada pela ingressão marinha e mudanças climáticas ocorridas no Holoceno médio. A partir da salinização dos corpos d'água e do terreno da costa SE da América do Sul, foram registrados o desenvolvimento de comunidades psamófitas e halófitas costeira (Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter & Dillemburb, 1998; Lorscheitter, 2003; Borel *et al.*, 2003; Gracia-Rodrigues *et al.*, 2010; Vilanova & Prieto, 2012; Mourelle *et al.*, 2015). No Rio Grande do Sul, táxons da Mata Atlântica ocuparam as áreas mais interiorizadas que apresentavam condições ambientais propícias e protegidas da influência marinha durante este período (Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter & Dillemburb, 1998; Grala & Lorscheitter, 2001; Lorscheitter, 2003).

O posicionamento da ZCIT mais ao norte causou modificação na intensidade da SASM na América do Sul, resultando em redução da precipitação para região Sul do Brasil (Melo & Marengo, 2008a, 2008b). Entretanto, este sinal de *secura* não foi registrado nas amostras pertencentes a este intervalo de tempo para o material analisado. Uma possível explicação para essa divergência de interpretação de umidade local em comparação com a escala regional, pode ser devida ao efeito orográfico dos maciços cristalinos localizados próximos a área de estudo.

A topografia mais elevada barra e condensa as massas de ar quentes e saturadas de umidade vindas do oceano, aumentando a precipitação junto à costa e amenizando as condições regionais mais secas para a área de estudo. Segundo Prado *et al.* (2013), dependendo da circulação atmosférica regional, da brisa marítima, da posição e da intensidade da Alta Subtropical do Atlântico Sul, poderiam existir áreas na costa com condições mais úmidas. Com base em modelos computacionais paleoclimáticos, Melo & Marengo (2008a, 2008b) demonstram que o transporte de umidade oceano-continente foi maior durante o Holoceno médio na costa Atlântica, no sul da América do Sul. Estudos climatológicos modernos

demonstram que a topografia da região atua como um dos principais agentes controladores do clima no norte da PCRS, no setor central e norte da PCSC e no litoral do Paraná (Hasenack & Ferraro, 1989; Tomazelli, 1993; Dillenburg *et al.*, 2009; Hesp *et al.*, 2009; Grimm, 2009).

Behling & Negrelle (2001) sugerem condições climáticas úmidas entre os 12220-6100 anos AP, em área também próxima de maciços cristalino no setor norte da PCSC (Volta Velha), considerando o registro de táxons componentes da Mata Atlântica (*Myrsine*, *Arecaceae*, *Weinmannia*, *Hedyosmum*, *Sloanea* e *Clusia*). No Rio Grande do Sul, Grala & Lorscheitter (2001) inferem que a expansão da floresta aos 6000 anos AP, a partir do registro de espécimes constituintes da Mata Atlântica, sugerindo condições de maior umidade na encosta da Serra Geral. Os dados palinológicos de Grala & Lorscheitter (2001) e Behling & Negrelle (2001) demonstram a importância do relevo no controle de alguns parâmetros climáticos como, por exemplo, na condesação das massas de ar úmidas provenientes do oceano e sua consequente precipitação para o estabelecimento e expansão da floresta tropical atlântica.

Em estudos ecológicos desenvolvidos no maciço da Tijuca, Oliveira *et al.* (1995) registraram diferenças significativas para as vertentes do maciço nos parâmetros temperatura, precipitação e umidade. Foi demonstrado que vertentes voltadas para o sul apresentaram serapilheira mais úmida que as voltadas para o norte, e a umidade do solo se comporta da mesma maneira apenas variando de acordo com o tipo da cobertura vegetal que está associada. Segundo Coutinho (2016) as vertentes que recebem os ventos úmidos são chuvosas e recobertas por florestas.

Para o Holoceno tardio, os dados paleoclimáticos apontam para condições quentes e úmidas (Mahiques *et al.*, 2009; Chiessi *et al.*, 2010; Gyllencreutz *et al.*, 2010; Razik *et al.*, 2013; Lantzch *et al.*, 2014). Após 5000 anos AP a ZCIT migra mais para sul (Haug *et al.*, 2001; Gyllencreutz *et al.*, 2010). As mudanças orbitais, oceanográficas e climáticas ocorridas durante este período impulsionaram a intensificação da SAMS sobre o SE da América do Sul a partir dos 4000 anos AP (Razik *et al.*, 2013). Stríkis & Novello (2014), com base em séries isotópicas de  $\delta^{18}\text{O}$  de espeleotemas, demonstram o aumento de umidade no sul do Brasil resultante da intensificação da SAMS desde ~4000 anos AP, dados confirmados pelos registros palinológicos da PCSC (Behling & Negrelle, 2001; Cancelli, 2012; Kuhn, 2017). Após os 4000 anos AP, condições de maior umidade também são reconhecidas para a

PCRS, com a regressão marinha e a gradual dessalinização dos solos, com a ocorrência da migração oeste-leste e da expansão junto a costa da Mata Atlântica (Lorscheitter, 2003). Aos 3000 anos AP, a porção norte da margem continental Sul do Brasil é caracterizada pelo maior aporte de sedimentação terrígena, correspondendo à estabilização dos padrões modernos de ventos e descarga fluvial (Mahiques *et al.*, 2009). O aumento de umidade também é identificado em depósitos costeiros do Uruguai após os 2500 anos AP (del Puerto *et al.*, 2011). Entre 2000–1500 anos AP, é reconhecido maior aporte de sedimentos terrígenos resultante da intensificação de precipitação na área da bacia de drenagem do Rio de La Plata (Razik *et al.*, 2013; Lantzch *et al.*, 2014). Ao longo do Holoceno tardio, durante o processo de rebaixamento e estabilização do nível relativo do mar, considerando as especificidades de cada região (faixa latitudinal, clima, geomorfologia, pedologia e hidrologia) a vegetação atual da costa SE da América do Sul se estabelece e se consolida (Mourelle *et al.*, 2015).

## CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

A análise integrada de palinofácies e isótopos ( $\delta^{13}\text{C}$  e C/N) da matéria orgânica permitiram reconstruir a história sedimentar do poço PSC-03. Com base nas ferramentas aplicadas foi possível reconhecer três intervalos, Palinofácies I, II e III que refletem a evolução ambiental do sistema deposicional durante o Holoceno médio e tardio.

A Palinofácies I abrange o intervalo de tempo entre 7744 a 2884 anos cal AP. Os dados palinofaciológicos e isotópicos demonstram que as fontes de matéria orgânica apresentam mistura de origem marinha e terrestre. A influência marinha é identificada com base no reconhecimento de cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos. A baixa diversidade das associações de cistos de dinoflagelados (*B. simplex*, *Brigantedinium spp*, *Lejeunecysta spp.*, *S. nephroides*, *S. quanta*, *O. centrocarpum* e *Spiniferites spp.*) indica condições restritas e estressantes. A ocorrência de cristais de pirita aderidos aos fitoclastos e aos palinomorfos sugere condições redutoras associadas a ambientes marinhos marginais. Os dados palinofaciológicos e palinológicos permitem inferir condição marinha marginal (Figura 10a).

Na Palinofácies II (entre 2857 a 2276 anos cal AP), palinomorfos marinhos (dinoflagelados e palinoforaminíferos) não são mais encontrados no registro sedimentar. Os dados isotópicos apontam para o predomínio de plantas do tipo  $\text{C}_3$



como fonte da matéria orgânica. Estão presentes táxons arbóreos (*Myrtaceae*, *Ilex*, *Alchornea*, *Drymis brasiliensis*, *Sebastiania*), herbáceos (*Poaceae*, *Cyperaceae*, *Asteraceae* Subf. *Asteroide*, *Amaranthus/Chenopodiaceae*, *Oxalidaceae*, *Gunnera*, *Gomphrena*) e aquáticos (*Ludwigia* e *Utricularia*). A abundância de fungos sugere a formação de solos ricos em matéria orgânica e com altos teores de umidade. A ocorrência de algas da família *Zygnemataceae* (*Mougeotia*, *Zygnema*, *Spirogyra*), característica de ambientes dulciaquícolas, indica uma pequena lâmina d'água, área úmidas ou solos encharcados (Figura 10b).

A Palinofácies III é posicionada entre os 2124 anos cal AP até o presente. Os dados isotópicos apontam para a dominância de plantas do tipo C<sub>3</sub> como fonte de matéria orgânica. A abundância de grãos de pólen de angiospermas e esporos confirma grande influência da vegetação terrestre. O registro contínuo de fungos está associado ao grande volume de restos de plantas. A diminuição das algas dulciaquícolas demonstra a colonização da área anteriormente alagada pela vegetação arbórea, porém sob condições de solos úmidos. A participação dos fitoclastos translúcidos na constituição da matéria orgânica particulada, indica condições oxidativas em ambiente próximo das plantas produtoras. As associações palinológicas *Myrtaceae*, *Ilex*, *Alchornea*, *Drymis brasiliensis*, *Sebastiania* sugerem a colonização da área do sítio deposicional por formas arbóreas constituintes da Mata Atlântica (Figura 10c).

A interpretação paleoambiental atribuída a Palinofácies I encontra suporte em trabalhos prévios de cunho estratigráfico, sedimentológico e geomorfológico realizados na enseada da Pinheira. A Palinofácies I pode ser correlacionada com a unidade estratigráfica I (Unit I, com idade de 7200 anos AP) descrita por Hein *et al.* (2013); caracterizada como fácies de plataforma interna, constituída por lama, areia e cascalho, depositada abaixo do nível de ondas normais, fora do domínio de tempestades durante o último máximo transgressivo. Segundo Amin Jr. (2004), durante o Holoceno médio (~5000 anos AP) a paleolinha de costa encontrava-se posicionada a cerca de 5500 m para oeste da atual em contato direto com o relevo cristalino. Entre 5000 e 3000 anos AP, a área contemplava um sistema lagunar interligado por rios (Madre e Maciambú), cujas conexões permitiam que a água do mar invadisse esse sistema formando um complexo estuarino de águas rasas (Hesp *et al.* 2009). Tais informações corroboram a interpretação de ambiente marinho marginal para a Palinofácies I (7744 a 2884 anos cal AP). O início da sedimentação do poço e deposição dos estratos que constituem a Palinofácies I estão de acordo

com último máximo transgressivo do Holoceno documentado para o litoral de Santa Catarina, que teve sua máxima extensão entre 5800-5000 anos AP, quando o mar atingiu aproximadamente ~2,5 m acima do seu nível atual (Angulo *et al.*, 2006).

As incertezas sobre a afinidade biológica dos tintinomorfos, oriundas da escassez de estudos sistemáticos sobre este grupo, limitam sua aplicabilidade como indicadores paleoambientais conclusivos. Apesar disso, os registros palinológicos holocenos demonstram que os tintinomorfos estão associados a depósitos marinhos francos, ou marinhos marginais. Os espécimes de tintinomorfos documentados no poço PSC-03 estão restritos a Palinofácies I, ocorrem associados à palinomorfos terrestres (esporos, grão de pólen, fungos e algas dulciaquícolas) e marinhos (cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos); todavia, não são mais registrados nos níveis suprajacentes, em que palinomorfos marinhos são escassos ou ausentes.

O trabalho aqui desenvolvido apresenta a maior variedade de cistos de dinoflagelados já vista em material coletado na planície costeira para o sul do Brasil. Maior variedade e quantidade foram verificadas em poços coletados no Cone do Rio Grande (Lorscheitter & Romero, 1985; Gu *et al.*, 2018), sobre a plataforma continental sul do Brasil (Gu *et al.*, 2017).

Quando comparamos as associações de cistos de dinoflagelados do poço PSC-03 aos demais trabalhos desenvolvidos na planície costeira sul do Brasil grandes diferenças na composição são verificadas. Os demais estudos apresentam dois gêneros de cistos de dinoflagelados (*Operculodinium* e *Spiniferites*), associados ou não a outros palinomorfos marinhos (e.g. acritarcos e palinoforaminíferos). Além da baixa diversidade de gêneros identificados até então, a representatividade quantitativa dos cistos de dinoflagelados em relação à assembleia palinológica também é bastante reduzida, não ultrapassando valores de 5% (Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter & Dillenburg, 1998; Neves, 1998; Meyer *et al.*, 2005a, 2005b; Kuhn *et al.*, 2017).

Possíveis explicações para a baixa diversidade e representatividade quantitativa dos cistos de dinoflagelados podem estar relacionadas, à natureza do sítio deposicional e processos diagenéticos pós-depocionais, aos métodos de recuperação palinológica empregados em cada laboratório, os quais, em sua maioria, são relativos a tratamentos oxidativos, tais como a acetólise, exposição à oxidação (eg. KOH), muitas vezes como processos catalizadores nas reações de eliminação da matéria orgânica distinta dos esporomorfos. As associações palinológicas de depósitos sedimentares quaternários costeiros podem ser afetadas

por inúmeros agentes, desde os naturais ou induzidos por força do tipo de processamento laboratorial, algumas das causas apresentadas e debatidas no Artigo 2.

A associação de cistos de dinoflagelados identificada na Palinofácies I (*B. simplex*, *Brigantedinium* spp., *Lejeunecysta* spp., *S. nephroides*, *S. quanta*, *O. centrocarpum* e *Spiniferites* spp.) apresenta similaridade com as assembleias registradas para o Holoceno da plataforma continental da Argentina (Vilanova *et al.*, 2008) e do Canal Beagle, sul da Terra do Fogo (Grill *et al.*, 2002; Borromei & Quattrocchio, 2007; Candel *et al.*, 2009, 2011, 2017). Esta comparação é realizada pela constituição das assembleias e principalmente pela ocorrência táxons peridinioides atribuídos aos gêneros *Brigantedinium*, *Lejeunecysta* e *Selenopemphix* que apontam para regime nerítico interno, com teor de salinidade variado e alta disponibilidade de nutrientes.

A abordagem integrada de isótopos estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$  e C/N) e a análise de palinofácies se mostraram-se válidas para reconstruir a história deposicional de um ambiente sedimentar costeiro, constituindo em uma importante fonte de informações sobre a evolução de um setor do litoral catarinense durante o último máximo transgressivo e sua subsequente regressão no Holoceno.

A análise integrada de palinofácies e isótopos ( $\delta^{13}\text{C}$  e C/N) da matéria orgânica se mostrou uma ferramenta eficiente para reconstrução paleoambiental do poço PSC-03.

O termo “Tintinomorfos” proposto por Van Waveren (1994), para agrupar microfósseis de parede orgânica assemelhados a restos orgânicos de tintinídeos é aceita neste trabalho. Entretanto, as incertezas sobre a afinidade biológica dos tintinomorfos, oriundas da escassez de estudos sistemáticos sobre este grupo, limitam sua aplicabilidade como indicadores paleoambientais conclusivos. Contudo, são necessários estudos mais aprofundados sobre sua natureza e afinidade biológica, bem como o significado paleoecológico destas estruturas.

Pequenas modificações na etapa de processamento das amostras palinológicas se mostraram válidas para recuperação de assembleias mais diversificadas de cistos de dinoflagelados. É recomendado que os próximos trabalhos a serem realizados não sejam empregados métodos oxidativos durante o tratamento químico das amostras visando à recuperação de assembleias de cistos de dinoflagelados diversificadas que podem auxiliar no refinamento das interpretações paleoambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, J.R.L., Lamb, A.L. & Dark, P. 2007. Seasonality of  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios in modern and mid-Holocene sediments in the Severn Estuary Levels, SW Britain. *The Holocene*, 17(1): 139-144.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Amaral, P.G.C., Giannini, P.C.F., Sylvestre, F. & Pessenda, L.C.R. 2012. Palaeoenvironmental reconstruction of a Late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multi-proxy analysis. *Journal of Quaternary Science*, 27(2): 181-191.
- Amin Jr., A.H. 2004. *Variações das propriedades granulométricas dos sedimentos da barreira costeira da Pinheira (SC) durante a sua progradação no Holoceno Superior*. Porto Alegre. 73p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Amin Jr., A.H. & Dillenburger, S.R. 2010. Variation in the granulometric properties of the coastal barrier of Pinheira (SC) during its progradation in the Late Holocene. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 2:25–39.
- Angulo, R.J. & Lessa, G. 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, 140(1-2): 141–166.
- Angulo, R.J., Giannini, P.C.F., Suguio, K. & Pessenda, L.C.R., 1999. Relative sea-level changes in the last 5500 years southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid  $^{14}\text{C}$  ages. *Marine Geology*, 159(1-4): 323–339.
- Angulo, R.J., Lessa, G.C. & Souza, M.C. 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25(5-6): 486-506.
- Antunes, R.L. & Melo, J.H.G. 2001. Micropaleontologia e estratigrafia de sequências. In: Severiano Ribeiro, H.J.P. (Ed.). *Estratigrafia de sequências: fundamentos e aplicações*. São Leopoldo, Ed. Unisinos. p. 137-218
- Arai, M., Uesugui, N., Rossetti, D.F. & Góes, A.M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Belém. *Anais...* Belém, SBG, v. 2, p. 738-752.
- Batten, D.J. 1996. Palynofacies. *In*: Jansonius, J. & McGregor, D.J. (Eds.). *Palynology: Principles and Applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, p. 1011–1064.
- 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(3): 383-389.
- Bergamino, L., Schuerch, M., Tudurí, A., Carretero, S. & García-Rodríguez, F. 2017. Linking patterns of freshwater discharge and sources of organic matter within the Río de la Plata estuary and adjacent marshes. *Marine and Freshwater Research*, 68: 1704-1715.
- Borel, C., Guerstein, G. & Prieto, A. 2003. Palinomorfos acuáticos (algas y acritarcos) del Holoceno de la laguna Hinojales (Buenos Aires, Argentina): interpretación paleoecológica. *Ameghiniana*, 40(4): 531-544.
- Borel, C.M. & Gómez, E.A. 2006. Palinología del Holoceno del Canal del Medio, estuario de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana*, 43(2): 399-412.
- Borromei, A.M. & Quattrocchio, M. 2001. Palynological study of Holocene marine sediments from Bahia Lapataia, Beagle channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 33: 61-70.
- Borromei, A.M. & Quattrocchio, M. 2007. Holocene sea-level changes inferred from palynological data in the Beagle channel, Southern Tierra del Fuego, Argentina. *Ameghiniana*, 44(1): 161-171.
- Bueno, G.V., Zacharias, A.A., Oreiro, S.G., Cupertino, J.A., Falkenhein, F.U.H. & Neto, M.A.M. 2007. Bacia de Pelotas. *Boletim de Geociências Petrobras*, 15(2): 551-559.
- Cancelli, R.R. 2012. *Evolução paleoambiental da Planície Costeira sulcatarinense (Lagoa do Sombrio) durante o Holoceno, com base em dados palinológicos*. Porto Alegre. 159p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Cancelli, R.R., Souza, P.A. & Neves, P.C.P. 2012a. Fungos, criptógamas e outros palinomorfos holocênicos (7908±30 anos AP-atual) da Planície Costeira sul-catarinense, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 26(1): 20-37.
- Cancelli, R.R., Souza, P.A. & Neves, P.C.P. 2012b. Grãos de pólen de angiospermas do Holoceno (7908±30 anos AP-atual) da Planície Costeira sul-catarinense, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 26(4): 866-885.
- Candel, M.S., Borrromei, A.M., Martínez, M.A., Gordillo, S., Quattrocchio, M. & Rabassa, J. 2009. Middle–Late Holocene palynology and marine mollusks from Archipiélago Cormoranes area, Beagle Channel, southern Tierra del Fuego, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 273(1-2): 111-122.
- Candel, M.S., Borrromei, A.M., Martínez, M.A. & Bujalesky, G. 2013. Palynofacies analysis of surface sediments from the Beagle Channel and its application as modern analogues for Holocene records of Tierra del Fuego, Argentina. *Palynology*, 37(1): 62-76.
- Candel, M.S., Martínez, M.A. & Borrromei, A.M. 2011. Palinología y palinofacies de una secuencia marina del Holoceno medio-tardío: Albufera Lanushuaia, Canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 14(3): 297-310.
- Candel, M.S., Louwye, S. & Borrromei, A.M. 2017. Reconstruction of the late Holocene paleoenvironment of the western Beagle Channel (Argentina) based on a palynological analysis. *Quaternary International*, 442(Part A): 2-12.
- Carvalho, M.A., Oliveira, D.C., Gandin Machado, L. & Mendonça Filho, J.G. 2005. Sedimentação Albo-Aptiana de partículas vegetais (fitoclastos) em rochas do Membro Taquari, Formação Riachuelo, bacia de Sergipe, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, 63: 411-424.
- Cassino, R.F. & Meyer, K.E.B. 2013. Reconstituição paleoambiental do chapadão dos gerais (Quaternário Tardio) a partir de análises palinológica da Vereda Laçador, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(1):127-146.
- Chiessi, C.M., Mulitza, S., Patzold, J. & Wefer, G., 2010. How different proxies record precipitation variability over southeastern South America. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 9, 012007. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/1755-1315/9/1/012007>> Acessado em: 09out2016.

Cloern, J.E., Canuel, E.A. & Harris, D. 2002. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnology and Oceanography*, 47(3): 713-729.

Combaz, A. 1964. Les palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*, 7(3): 205-218.

Corrêa, I.C.S. & Villwock, J.A. 1996. Continental Shelf and Coastal Plain Sediments of the Southeast and South Coast of Brazil. In: Corrêa, I.C.S. & Martins, L.R. (Eds). *Exploratory text of Atlas: Morphology and Sedimentology of the Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Peninsula Valdés (Argentina)*. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica. p. 41-54.

Cordeiro, S.H. & Lorscheitter, M.L. 1994. Palynology of Lagoa dos Patos sediments, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Paleolimnology*, 10(1): 35-42.

Corrêa, I.C.S., Martins, L.R., Ketzer, J.M.M., Elias, A.R.D. & Martins, R. 1996. Evolução Sedimentológica e Paleogeográfica da Plataforma Continental Sul e Sudeste do Brasil. *Notas Técnicas*, 9: 51-61.

Coutinho, L.M. 2016 *Biomass brasileiros*. São Paulo: Oficina de Texto. p. 128

Dale, B. 1976 Cyst formation, sedimentation and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trondheimsfjord, Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 22(1): 39-60.

Dale, B. 1996. Dinoflagellate cyst ecology: modeling and geological applications. In: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (Eds). *Palynology: Principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 1249-1275.

de Vernal, A. 2009. Marine palynology and its use for studying nearshore environments. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*, 5(1): 1-13  
Disponível em: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/5/1/012002>.  
Acessado em: 09out2016.

de Vernal, A. & Giroux, L. 1991. Distribution of organic walled microfossils in Recent sediments from the estuary and Gulf of St. Lawrence: some aspects of the organic matter fluxes. In: Therriault, J.C. (Ed). *The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary Canadian. Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 113: 189-199.

de Vernal, A., Bilodeau, G., Hillaire-Marcel, C. & Kassou, N. 1992. Quantitative assessment of carbonate dissolution in marine sediments from foraminifera linings vs. shell ratios: Davis strait, northwest North Atlantic. *Geology*, 20(6): 527-530.

de Vernal, A., Rochon, A. & Radi T. 2013. Dinoflagellates. *In: ELIAS, S.A. (Ed). The Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, p. 800-815.

del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Castiñeira Latorre, C., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, N. & Rodriguez, A. 2011. Evolución Climática Holocénica Para el Sudeste del Uruguay: análisis multi-proxy en testigos de lagunas costeras. *In: García-Rodríguez, F. (Ed). El Holoceno en la Zona Costera de Uruguay*. Montevideo: Universidad de la República, Comisión Sectorial de Investigación Científica. EL Holoceno en la zona costera del Uruguay. p. 117 - 147.

Diehl, F.L. & Horn Filho, N.O. 1996. Compartimentação geológica-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina. *Notas Técnicas*, 9: 39-50.

Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Ayup-Zouain, R.N., Hesp, P.A. & Clerot, L.C.P. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. *In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A (Eds.). Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences, vol 107. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 53-91.

Edwards, L.E. & Andrieu, V.A.S. 1992. Distribution of selected dinoflagellate cysts in modern marine sediments. *In: Head, M.J. & Wrenn, J.H. (Eds). Neogene and quaternary dinoflagellate cysts and acritarchs*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 259-288.

Elsik, W.C. 1996. Fungi. *In: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (Eds). Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 293-305.

Elsik, W.C. & Jarzen, D.M. 2009. New species of the late Cenozoic fungal form-genus *Mediaverrucites* Jarzen & Elsik 1986 ex Nandi & Sinha 2007. *Palynology*, 33(2): 99-104.

Fensome, R.A. & Williams, G.L. The Lentin and Williams index of fossil dinoflagellates 2004 Edition. American Association of Stratigraphic Palynologists, *Contribution Series*, 42: 1-909.



FitzGerald, D., Cleary, W., Buynevich, I., Hein, C., Klein, A., Asp, N., & Angulo, R. (2007). Strandplain Evolution along the Southern Coast of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 50: 152-156.

França, M.C., Alves, I.C.C., Cohen, M.C.L., Rossetti, D.F., Pessenda, L.C.R., Giannini, P.C.F., Lorente, F.L., Buso Jr, A.A., Bendassolli, J.A. & Macario, K. 2016. Millennial to secular time-scale impacts of climate and sea-level changes on mangroves from the Doce River delta, Southeastern Brazil. *The Holocene*, 26(11): 1733-1749.

García-Rodríguez, F., Stutz, S., Inda, H., del Puerto, L., Bracco, R., & Panario. 2010. A multiproxy approach to inferring Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation, paleosalinity levels, and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. *Hydrobiologia*, 646(1): 5-20.

Gorin, G.E. & Steffen, D. 1991. Organic facies as a tool for recording eustatic variations in marine fine-grained carbonates-example of the Berriasian stratotype at Berrias (Ardèche, SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 85(3-4): 303-320.

Grala, M. & Lorscheitter, M.L. 2001. The Holocene paleoenvironment in the Serra Velha region, RS, Brazil through a study of plant succession. *Pesquisas em Geociências*, 28(2): 245-249.

Grill, S., Borromei, A.M., Quattocchio, M., Coronato, A., Bujalesky, G. & Rabassa, J. 2002. Palynological and sedimentological analysis of recent sediments from Rio Varela, Beagle channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 34(2):145-161.

Grimm, A.M. 2009. Clima da Região Sul do Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, N.J., Justi da Silva, M. G. A. & Silva Dias, M.A.F. (Orgs). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, p. 259-274.

Grimm, E.C. 2011. TILIA software version 1.7.16. Illinois State Museum, Research and Collection Center. Springfield USA.

Gu, F., Chiessi, C.M., Zonneveld, K.A.F. & Behling, H. 2018. Late Quaternary environmental dynamics inferred from marine sediment core GeoB6211-2 off southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 496: 48-61.

- Gu, F., Zonneveld, K.A.F., Chiessi, C.M., Arz, H.W., Pätzold, J. & Behling, H. 2017. Long-term vegetation, climate and ocean dynamics inferred from a 73,500 years old marine sediment core (GeoB2107-3) off southern Brazil. *Quaternary Science Reviews*, 172: 55-71.
- Guimarães, J., Nogueira, A., Bandeira Cavalcante Da Silva, J., Lima Soares, J. & Silveira, R. 2013. Fossil Fungi from Miocene Sedimentary Rocks of the Central and Coastal Amazon Region, North Brazil. *Journal of Paleontology*, 87(3): 484-492.
- Gyllencreutz, R., Mahiques, M.M., Alves, D.V.P. & Wainer, I.K.C. 2010. Mid- to late-Holocene paleoceanographic changes on the southeastern Brazilian shelf based on grain size records. *The Holocene*, 20(6): 863-875.
- Hardy, M.J. & Wrenn, J.H. 2009. Palynomorph distribution, deltaic and shelf sediments, Mahakam delta, Borneo, Indonesia. *Palynology*, 33(2): 19-42.
- Harland, R. 1983. Distribution maps of recent dinoflagellate cysts in bottom sediments from the North-Atlantic Ocean and adjacent seas. *Palaeontology*, 26(2): 321-387.
- Hasenack, H. & Ferraro, L. 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. *Pesquisas*, 22(2): 53-70.
- Haug, G.H., Konrad A.H., Sigman, D.M., Peterson, L.C. & Röhl, U. 2001. Southward Migration of the Intertropical Convergence Zone Through the Holocene. *Science*, 293: 1304-1308.
- Head, M.J. 1996. Modern dinoflagellate cysts and their biological affinities. In: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (Eds.). *Palynology: principles and applications*. Dallas. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 1197-1248.
- Hein, C.J., Fitz Gerald, D.M., Cleary, W.J., Albernaz, M.B., De Menezes, J.T. & Klein, A.H. 2013. Evidence for a transgressive barrier within a regressive strandplain system: Implications for complex coastal response to environmental change. *Sedimentology*, 60: 469-502.
- Hesp, P.A., Giannini, P.C.F., Martinho, C.T., Silva, G.M., Neto, N.E.A. 2009. The Holocene Barrier Systems of the Santa Catarina Coast, Southern Brazil. In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A (Eds.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences, vol 107. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 93-129.

Hogg, A.G., Hua, Q., Blackwell, P.G., Niu, M., Buck, C.E., Guilderson, T.P., Heaton, T.J., Palmer, J.G., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Turney, C.S.M. & Zimmerman, S.R.H. 2013. SHcal13 southern hemisphere calibration, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4): 1889-1903.

Horn Filho, N.O. 2003. Setorização da província costeira de Santa Catarina, em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, 18(35): 71-98.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. *Mapa de vegetação do Brasil (1:5000000)*. 3ª. ed., Rio de Janeiro, IBGE. <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf)> Acesso em: 16 ago. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. 2ª. ed., Rio de Janeiro, IBGE, 272p. <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>> Acesso em: 16 ago. 2016.

Kawamura, H. 2004. Dinoflagellate cyst distribution a long a shelf to slope transect of an oligotrophic tropical sea (Sunda Shelf, South China Sea). *Phycological Research*, 52(4): 355-375.

Khan, N.S., Vane, C.H. & Horton, B.P. 2015. Stable carbon isotope and C/N geochemistry of coastal wetland sediments as a sea-level indicator. In: Shennan, I., Long, A.J. & B. Horton, P. (Eds). *Handbook of Sea-Level Research*. John Wiley & Sons, Ltd, p. 295-311.

Köppen, W. 1948. *Climatologia, com un estudio de los climas de la Tierra*. México: Fondo de Cultura Economica. 478 p.

Kowsmann, R.O., Costa, M.P.A., Vicalvi, M.A., Coutinho, M.G.N. & Gamboa, S.A.P. 1977. Modelo de sedimentação holocênica na plataforma continental sul brasileira. *PROJETO REMAC*, 2: 7-26.

Kuhn, L.A., Souza, P.A., Cancelli, R.R., Silva, W.G. & Macedo, R.B. 2017. Palaeoenvironmental evolution of the coastal plain of Southern Brazil: palynological data from a Holocene core in Santa Catarina State. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(4): 2581-2595.

- Lamb, A.L., Vane, C.H., Wilson, G.P., Rees, J.G. & Moss-Hayes, V.L. 2007. Assessing  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios from organic material in archived cores as Holocene sea level and palaeoenvironmental indicators in the Humber Estuary, UK. *Marine Geology*, 244(1-4): 109-128.
- Lamb, A.L., Wilson, G.P. & Leng, M.J. 2006 A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios in organic material. *Earth Science Reviews*, 75(1-4): 29-57.
- Lantsch, H., Hanebuth, T., Chiessi, C., Schwenk, T. & Violante, R. 2014. The high-supply, current-dominated continental margin of southeastern South America during the late Quaternary. *Quaternary Research*, 81(2): 339-354.
- Leal, M.G. & Lorscheitter, M.L. 2006. Pólen, esporos e demais palinóforos de sedimentos holocênicos de uma floresta paludosa, Encosta Inferior do Nordeste, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*, 61(1-2): 13-47.
- Lorente, F.L., Pessenda, L.C.R., Oboh-Ikuenobe, F., Buso Jr, A.A., Cohen, M.C.L., Meyer, K.E.B., Giannini, P.C.F., de Oliveira, P.E., Rossetti, D.F., Filho, M.A.B., França, M.C., Castro, D.F., Bendassolli, J.A. & Macario, K. 2014. Palynofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco (Linhares, Espírito Santo, southeastern Brazil): Depositional settings and palaeoenvironmental evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415(1): 69-82.
- Lorscheitter, M.L. 1988. Palinologia de Sedimentos Quaternários do Testemunho T15, Cone de Rio Grande, Atlântico Sul, Brasil. Descrições Taxonômicas. *Pesquisas em Geociências*, 21(21): 61-117.
- Lorscheitter, M.L. 2003. Contribution to the Holocene history of Atlantic rain forest in the Rio Grande do Sul state, southern Brazil. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 5(2): 261-271.
- Lorscheitter, M.L. & Romero, E.J. 1985. Palynology of Quaternary sediments of the core T15, Rio Grande Cone, South Atlantic, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 55-92.
- Lorscheitter, M.L. & Dillenburger, S.R. 1998. Holocene paleoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 73-97.

- Macedo, R.B., Souza, P.A. & Bauermann, S.G. 2009. Catálogo de pólenes, esporos e demais palinóforos em sedimentos holocênicos de Santo Antônio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, Série Botânica, 62(2): 43-78.
- Mahiques, M.M., Wainer, I.K.C., Burone, L., Nagai, R., Sousa, S.H.M., Figueira, R.C.L., Silveira, I.C.A., Bicego, M.C., Alves, D.P.V. & Hammer, Ø. 2009. A high-resolution Holocene record on the Southern Brazilian shelf: Paleoenvironmental implications. *Quaternary International*, 206(1–2): 52-61.
- Malamud-Roam, F. & Ingram, B.L. 2004. Late Holocene  $\delta^{13}\text{C}$  and pollen records of paleosalinity from tidal marshes in the San Francisco Bay estuary, California. *Quaternary Research*, 62(2): 134-145.
- Marret, F. & Zonneveld, K.A.F. 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 125(1-2): 1-200.
- Martin, L., Suguio, K. & Flexor, J.M. 1993. As flutuações do nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. *Boletim IG-USP*, Publicação Especial 15: 1-186.
- Martin, L., Dominguez, M.L. & Bittencurt, A.C.S.P. 2003. Fluctuating Holocene Sea Levels in Eastern and Southeastern Brazil: Evidence from Multiple Fossil and Geometric Indicators. *Journal of Coastal Research*, 19(1): 101-124.
- Martínez, S. & Rojas, A. 2013. Relative sea level during the Holocene in Uruguay. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 374: 123-131.
- Matsuoka, K., Yurimoto, T., Chong, V.C. & Man, A. 2017. Marine palynomorphs dominated by heterotrophic organism remains in tropical coastal shallow-water sediment, the case of Selangor coast and the estuary of the Manjung river in Malaysia. *Paleontological Research*, 21(1): 14-26.
- Melo, M.L.D. & Marengo, J.A. 2008a. The influence of changes in orbital parameters over South American climate using the CPTEC AGCM: simulation of climate during the mid Holocene. *The Holocene*, 18(4): 501-516.
- Melo, M.L.D. & Marengo, J.A. 2008b. Simulações do clima do Holoceno médio na América do Sul com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23(2): 191-205.
- Mendonça, F.A. & Danni-Oliveira, I.M. 2007. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, p. 208.

- Meyer, K.E.B., Mendonça Filho, J.G., Ashraf, A.R., Souza, P.A. & Reichhart, K. 2005a. Análise de palinofácies em sedimentos holocênicos da Lagoa dos Quadros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 8(1): 57-72.
- Meyer, K.E.B., Reichhart, K., Ashraf, A. R., Marques-Toigo, M. & Mosbrugger, V. 2005b. Holocene Evolution of Itapeva lake, Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorphs and Corg, N, S Records. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(2): 181-192.
- Meyers, P.A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, 114(3-4): 289-302.
- Meyers, P.A. 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry*, 27(5-6): 213–250.
- Meyers, P.A. 2003. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, 34(2): 261–289.
- Moreira, J.L.P., Madeira, C.V., Gil, J.A. & Machado, M.A.P. 2007. Bacia de Santos *Boletim de Geociências Petrobras*, 15(2): 531-549.
- Mourelle, D., Prieto, A.R., Pérez, L., García-Rodríguez, F. & Borel, C.M. 2015. Mid and late Holocene multiproxy analysis of environmental changes linked to sea-level fluctuation and climate variability of the Río de la Plata estuary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 421: 75-88.
- Mudie, P.J. & Harland, R. 1996. Aquatic Quaternary. *In*: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (Eds). *Palynology: Principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 843–878.
- Mudie, P.J., Leroy, S.A.G., Marret, F., Gerasimenko, N.P., Kholeif, S.E.A., Sapelko, T. & Filipova-Marinova, M. 2011. Nonpollen palynomorphs: indicators of salinity and environmental change in the Caspian–Black Sea–Mediterranean corridor. *In*: Buynevich, I.V., Yanko-Hombach, V., Gilbert, A.S. & Martin, R.E. (Eds.). *Geology and Geoarchaeology of the Black Sea Region: Beyond the Flood Hypothesis*. *Geological Society of America Special Paper*, 473: 89–115.
- Mudie, P.J., Marret, F., Rochon, A. & Aksu, A.E. 2010. Non-pollen palynomorphs in the Black Sea corridor. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19(5-6): 531-544.

- Muller, J. 1959. Palynology of Recent Orinoco delta and shelf sediments, reports of the Orinoco shelf expedition, volume 5. *Micropaleontology*, 5(1):1-32.
- Nandi, B., & Sinha, A. 2007. Validation of the Miocene fungal spore *Mediaverrunites* from Mizoram, India. *Palynology*, 31: 95–100.
- Neves, P.C.P. 1998. *Palinologia de sedimentos quaternários no estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Guaíba e Capão do Leão*. Porto Alegre. 513p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Neves, P.C.P. & Lorscheitter, M.L. 1992. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, Planície Costeira Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. Descrições taxonômicas, parte I: fungos, algas, briófitos, pteridófitos, palinomorfos outros e fragmentos de invertebrados. *Acta Geologica Leopoldensia*, 15: 83-114.
- Neves, P.C.P. & Lorscheitter, M.L. 1995. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, Planície Costeira Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. Descrições Taxonômicas, Parte - II: Gimnospermas e Angiospermas. *Acta Geologica Leopoldensia*, 18(4): 45-82.
- Neves, P.C.P. & Bauermann, S.G. 2001. Feições de uma mata de restinga em Capão do Leão, Planície Costeira Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas, Botânica*, 51: 73-86.
- Neves, P.C.P. & Bauermann, S.G. 2003. Catálogo palinológico de coberturas quaternárias no estado do Rio Grande do Sul (Guaíba e Capão do Leão), Brasil. Descrições taxonômicas – Parte I: Fungos, Algas, Palinomorfos outros e fragmentos de invertebrados. *Pesquisas, Botânica*, 53: 121-149.
- Neves, P.C.P. & Bauermann, S.G. 2004. Catálogo palinológico de coberturas quaternárias do estado do Rio Grande do Sul (Guaíba e Capão do Leão), Brasil. Descrições taxonômicas – Parte II: Bryophyta e Pteridophyta. *Pesquisas Botânica*, 55: 227-251.
- Ní Fhlaithearta, S., Ernst, S.R., Nierop, K.G.J., de Lange, G.J. & Reichart, G-J. 2013. Molecular and isotopic composition of foraminiferal organic linings. *Marine Micropaleontology*, 102: 69-78.

- Nuñez, N.O., di Pasquo, M. & Bianchinotti, M.V. 2017. The occurrence of *Potamomyces palmarensis* sp. nov. in the Late Holocene of El Palmar National Park (Colón, Entre Ríos, Argentina) and transfer of fossil species of *Mediaverrunites* to *Potamomyces*. *Palynology*, 41(2): 267-277.
- Ogrinc, N., Fontolan, G., Faganeli, J. & Covelli, S. 2005. Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry*, 95(3-4): 163-181.
- Oliveira, R., Zaú, A., Lima, D., Silva, M., Vianna, M., Sodr , D. & Sampaio, P. 1995. Significado ecol gico da orienta o de encostas no maci o da Tijuca, Rio de Janeiro. *Oecologia Australis*, 1(1): 523-541.
- Pessenda, L.C.R., Vidotto, E., de Oliveira, P.E., Buso Jr, A.A., Cohen, M.C.L., Rossetti, D.F., Ricardi-Branco, F. & Bendassolli, J.A. 2012. Late Quaternary vegetation and coastal environmental changes at Ilha do Cardoso mangrove, southeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 363-364: 57-68.
- Prado, L.F., Wainer, I., Chiessi, C.M., Ledru, M.P. & Turcq, B. 2013. A mid-Holocene climate reconstruction for eastern South America. *Climate of the Past*, 9: 2117-2133.
- Prauss, M. 2000. The oceanographic and climatic interpretation of marine palynomorph phytoplankton distribution from Mesozoic, Cenozoic and Recent sections. *G ttinger Arbeiten Geologie Pal ontologie*, 76: 3-235.
- Prieto, A.R., Mourelle, D., Peltier, W.R., Drummond, R., Vilanova, I. & Ricci, L. 2017. Relative sea-level changes during the Holocene in the R o de la Plata, Argentina and Uruguay: A review. *Quaternary International*, 442(Part A): 35-49.
- Razik, S., Chiessi, C.M., Romero, O.E. & Dobeneck, T. 2013. Interaction of the South American Monsoon System and the Southern Westerly Wind Belt during the last 14kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 374: 28-40.
- Rochon, A., de Vernal, A., Turon, J-L., Matthiessen, J. & Head, M.J. 1999. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. *Special Contribution Series of the American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*, 35: 1-152.



- Roncaglia, L. 2004. Palynofacies analysis and organic-walled dinoflagellate cysts as indicators of palaeo-hydrographic changes: an example from Holocene sediments in Skálafjord, Faroe Islands. *Marine Micropaleontology*, 50: 21-42.
- Saia, S.E.M.G., Pessenda, L.C.R., Gouveia, S.E.M., Aravena, R. & Bendassolli, J.A. 2008. Last glacial maximum (LGM) vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. *Quaternary International*, 184(1): 195-201.
- Sebag, D., Copard, Y., Di-Giovanni, Ch., Durand, A., Laignel, B., Ogier, S. & Lallier-Verges, E. 2006. Palynofacies as useful tool to study origins and transfers of particulate organic matter in recent terrestrial environments: synopsis and prospects. *Earth-Science Reviews*, 79(3-4): 241-259.
- Slagado-Labouriau, M.L. 2007. *Critérios e técnicas para o Quaternário*. São Paulo. Edgard Blücher. 387p.
- Sparica, M., Koch, G., Belak, M., Miko, S., Sparica-Miko, M., Vilicic, D., Dolenc, T., Bergant, S., Lojen, S., Vreca, P., Dolenc, M., Ogrinc, N. & Ibrahimasic, H. 2005. Recent sediments of Makirina Cove (Northern Dalmatia, Croatia): their origin viewed through a multidisciplinary approach. *Geologia Croatica*, 58(1): 21-72.
- Stockmarr, J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13: 615–621.
- Stríkis, N.M. & Novello, V. 2014. Evolução hidrológica do Brasil durante o Pleistoceno Superior e Holoceno. In: Carvalho, I.S, Garcia, M.J, Lana, C.C. & Strohschoen Jr, O. (Eds). *Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, p.343-351.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. & Reimer, R.W. 2016. *CALIB 7.1*. Disponível em: <<http://calib.org/calib/calib.html>>. Acesso em: 12 dez. 2017.
- 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*, 15(4): 273-286.
- Tomazelli, L. 1993. O regime dos ventos e a taxa de migração das Dunas Eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 20(1): 18-26.
- Tonhasca Jr., A. 2005. Ecologia e história natural da Mata Atlântica. Rio de Janeiro: Interciência. p. 198.

- Traverse, A. 1994. Sedimentation of palynomorphs and palinodebris: an introduction. *In: Traverse, A. (Ed.). Sedimentation of organic particles.* Cambridge University Press, p.1-8.
- Traverse, A. 2007. *Paleopalynology.* Dordrecht, Springer, 815p.
- Tschudy, R.H. & Scott, R.A. 1969. Introduction. *In: Tschudy, R.H. & Scott, R.A. (Eds.). Aspects of palynology.* New York: Wiley-Interscience, p. 1-4.
- Tyson, R.V. 1993. Palynofacies analysis. *In: Jenkins, D.G. (Ed.). Applied Micropaleontology.* Kluwer Academic Publishers. The Netherlands, Amsterdam, p. 153-191.
- Tyson, R.V. 1995. *Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies.* Chapman and Hall. 615 p.
- Val, C. 2015. *Ocupação pré-histórica e mudanças paleoambientais na planície costeira sul-catarinense: abordagem integrada com base em dados palinológicos.* Vila Real, Portugal, 147p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto Politécnico de Tomar, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Van Geel, B. & Grenfell, H.R. 1996. Spores of Zygnemataceae. *In: Jansonius, J., McGregor, D.C. (Eds.). Palynology: principles and applications.* American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p173–179.
- Van Geel, B. 1976. Fossil spores of Zygnemataceae in ditches of a prehistoric settlement in Hoogkarspel (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 22: 337–344.
- Van Geel, B. 1979. Preliminary report on the history of Zygnemataceae and the use of their spores as ecological markers. *Proc. IVth Int. Palynol. Conf. Lucknow (1976–1977)* 1, p. 467–469.
- Van Geel, B. 2001. Non-Pollen Palynomorphs. *In: Smol J.P., Birks H.J.B., Last W.M., Bradley R.S. & Alverson K. (Eds.) Tracking Environmental Change Using Lake Sediments.* Developments in Paleoenvironmental Research, vol 3. Springer, Dordrecht. p. 99-119.
- Van Waveren, I.M. 1994. Tintinnomorphs from deep-sea sediments of the Banda Sea (Indonesia). *Scripta Geologica*, 105: 27–51.

- Viana, D.R. 2009. *Comportamento espaço-temporal da precipitação na região sul do Brasil utilizando dados TRMM e SRTM*. São José do Campos, 164p. Dissertação de Mestrado (Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Vilanova, I. & Prieto, A.R. 2012. Historia de la Vegetación de Las Llanuras Costeras de la Bahía Samborombón (~35,5°s), Argentina, desde 7800 <sup>14</sup>C Años. *Ameghiniana*, 49(3): 303-318.
- Vilanova, I., Guerstein, G.R., Akselman, R. & Prieto, A.R. 2008. Mid- to Late Holocene organic-walled dinoflagellate cysts from the northern Argentine shelf. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 152(1-2): 11-20.
- Vilanova, I., Prieto, A.R. & Stutz, S. 2006. Historia de la vegetación en relación con la evolución geomorfológica de las llanuras costeras del Este de la provincia de Buenos Aires durante el Holoceno. *Ameghiniana*, 43(1): 147–159.
- Villwock, J.A. & Tomazelli, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, 8: 1-45.
- Villwock, J.A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Pesquisas*, 16(16): 5-49.
- Wall, D., Dale, B., Lohman, G.P. & Smith, W.K. 1977. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern sediments from regions in the North and South Atlantic oceans and adjacent seas. *Marine Micropaleontology*, 2: 121-200.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, I.C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M. & Widmann, M. 2008. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27(19–20): 1791-1828.
- Wilson, G.P., Lamb, A.L., Leng, M.J., Gonzales, S. & Huddart, D. 2005a. Variability of organic  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N in the Mersey Estuary, U.K. and its implications for sea-level reconstruction studies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64(4): 685-698.
- Wilson, G.P., Lamb, A.L., Leng, M.J., Gonzales, S. & Huddart, D. 2005b.  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N as potential coastal palaeoenvironmental indicators in the Mersey Estuary, UK. *Quaternary Science Reviews*, 24(18-19): 2015-2029.
- Wood, G.D., Gabriel, A.M., Lawson, J.C. & Batten, D.J. 1996. Palynological techniques-processing and microscopy. *In: Jansonius, J. & Mcgregor, D.C. (Eds).*

*Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, p. 29-50.

Zonneveld, K.A.F. & Pospelova, V.A. 2015. Determination Key for Modern Dinoflagellate Cysts. *Palynology*, 39(3): 387-409.

Zonneveld, K.A.F., Marret, F., Versteegh, G.J.M., Bogus, K.B.S., Bouimetarhan, I., Crouch, E., de Vernal, A., Elshanawany, R., Edwards, L., Esper, O., Forke, S., Grøsfjeld, K., Henry, M., Holzwarth, U., Kieft, J-F., Kim, S-Y., Ladouceur, S., Ledu, D., Chen, L., Limoges, A., Londeix, L., Lu, S-H., Mahmoud, M.S., Marino, G., Matsouka, K., Matthiessen, J., Mildenthal, D.C., Mudie, P.J., Neil, H.L., Pospelova, V, Qi, Y., Radi, T., Richerol, T., Rochon, A., Sangiorgi, F., Solignac, S., Turon, J-L., Verleye, T., Wang, Y., Wang, Z. & Young, M. 2013. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution base on 2405 data points. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 191: 1-197.

Zonneveld, K.A.F., Versteegh, G.J.M. & de Lange, G.J. 1997. Preservation of organic walled dinoflagellate cysts in different oxygen regimes: a 10,000 years natural experiment. *Marine Micropaleontology*, 29(3-4): 393-405.

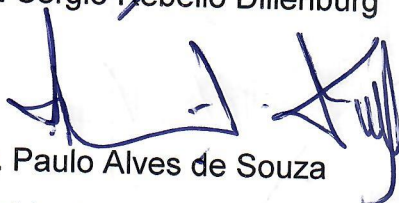
**ATA Nº 023/2018**

Às nove horas do dia vinte e um de dezembro de dois mil e dezoito no Anfiteatro do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO, no Campus do Vale, reuniu-se a Comissão Examinadora constituída pelos doutores: Marcelo de Araújo Carvalho (Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ), Maria Judite Garcia (Universidade de São Paulo - USP) e Sergio Rebello Dillenburg (PPGGEO/IG/UFRGS) para a defesa da tese intitulada: **“PALEOAMBIENTES DA PORÇÃO CENTRAL DA PLANÍCIE COSTEIRA CATARINENSE (PRAIA DA PINHEIRA, BRASIL) DURANTE O HOLOCENO”**, a que se submete **WAGNER GUIMARÃES DA SILVA** depois de haver cumprido as exigências regulamentares do Programa. O Coordenador do Programa Prof. Dr. Rommulo Vieira Conceição fez a abertura da sessão e passou a presidência dos trabalhos ao Orientador Prof. Dr. Paulo Alves de Souza, conforme o previsto no artigo 69 do Regimento do Programa. O candidato fez a apresentação do seu trabalho e a seguir foi arguido pelos membros da Comissão Examinadora. Às treze horas e cinco minutos a sessão foi suspensa por cinco minutos para julgamento e atribuição dos conceitos, que foram os seguintes: Marcelo de Araújo Carvalho “B” (BOM), Maria Judite Garcia “B” (BOM), e Sergio Rebello Dillenburg “B” (BOM). Face aos conceitos foi conferido ao candidato o grau de **DOUTOR EM CIÊNCIAS** pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Às treze horas e quinze minutos a sessão foi encerrada, do que para constar, eu, Roberto Martins Pereira, lavrei a presente Ata que é assinada pela Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho

  
Profa. Dra. Maria Judite Garcia

  
Prof. Dr. Sergio Rebello Dillenburg

  
Prof. Dr. Paulo Alves de Souza  
(Presidente)

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

**"PALEOAMBIENTES DA PORÇÃO CENTRAL DA PLANÍCIE COSTEIRA CATARINENSE (PRAIA DA PINHEIRA, BRASIL) DURANTE O HOLOCENO"**

Área de Concentração: Paleontologia

Autor: **Wagner Guimarães da Silva**

Orientador: Paulo Alves de Souza

Examinadora: Profa. Dra. Maria Judite Garcia

Data: 21 de dezembro de 2018

Conceito: B

PARECER:

A apresentação do candidato foi boa e esclareceu muitas pontos que estavam duvidosos. O documento apresentado (tese) mostra que o candidato lefeceu a análise de vários próximos e os datou em 3 artigos. Também efetuou uma síntese final. No entanto a tese não apresenta, na maioria, boas figuras, porque estão em preto/branco dificultando a observação das inferências. Nada mais.



Tese: Paleoambientes da porção central da planície costeira catarinense (Praia da Pinheira, Brasil) durante o Holoceno

Área de Concentração: Paleontologia

Autor: Wagner Guimarães da Silva

Orientado: Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

Examinador: Sergio Rebello Dillenburg

Data: 21/12/2018

Conceito: B (Bom)

A Tese de doutorado de Wagner G. da Silva é apresentada na forma de um capítulo de aspectos introdutórios, seguido de três artigos e com a apresentação de um texto integrador dos mesmos ao final. De uma maneira geral o trabalho de tese está bem apresentado, com uma boa redação e também boas ilustrações. Todavia, faço crítica à numeração não sequencial das páginas, fato que atrapalhou um pouco a leitura do trabalho. Também teria sido apropriada a inserção das figuras no texto, dos artigos II e III. Faltou um pouco de preocupação do autor com a facilitação da leitura dos examinadores da tese. Apresentamos a seguir outras observações sobre a tese, organizadas em conformidade com a estruturação do trabalho.

Parte I – Aspectos Introdutórios. Este capítulo apresenta as bases do trabalho, e de uma maneira geral alcançou seus objetivos. Porém, destaco alguns momentos deste capítulo, nos quais há uma falta de precisão em algumas colocações, ou então problemas conceituais, a saber: na pg. 4, último parágrafo, o autor coloca que: ao longo do litoral de Santa Catarina são identificadas praias, barreiras arenosas, dunas, lagoas, lagunas e manguezais, entremeadas a afloramentos rochosos de litologias variáveis. Praias e dunas são os elementos morfológicos básicos das barreiras costeiras. Então, poderias ter colocado da seguinte forma: barreiras costeiras (praias e dunas), lagoas, lagunas e manguezais, .... Ainda que sejam colocações de outro autor, você pode (deve) ser crítico, o que pode resultar na não utilização do trabalho do autor. Na página 6, desaparece a praia como feição morfológica, e aparece cordão e planície de maré? Onde foram parar a praia e a barreira costeira? Aproveito o momento para também criticar este Capítulo 2 (Revisão do Conhecimento), pela ausência de trabalhos mais atuais sobre a geologia e geomorfologia específica da sua área de estudo (Hesp et al. 2009 e Hein et al. 2013). Na pg. 5, percebe-se a confusão entre comportamento do nível do mar e transgressão e regressão marinhas. Na pg. 10, 2º parágrafo, um trabalho realizado com coleta na plataforma continental de SC (Gu et al., 2017) aparece como trabalho de palinologia da região costeira de SC. Fosse na plataforma interna, tudo bem, mas verifica-se na Fig. 3 da página 12, que a coleta se deu no talude continental, a uma profundidade de cerca de 1300 m. Neste mesmo parágrafo é mencionado o trabalho de Behling & Negerelle (2001) na localidade de Volta Velha. Onde se localiza? Na pg. 15 já deveria ter sido mencionada a importante informação que é a da profundidade alcançada pela sondagem. E a altimetria da boca da sondagem não foi feita? Na pg. 20, 2º parágrafo, o que é a análise CONISS? É uma sigla? O que significa?



Parte II – Corpo Principal da Tese. No artigo 2, pg. 2, último parágrafo, o autor dá a entender que contribuições enfocando cistos de dinoflagelados e suas aplicações nas interpretações ambientais do Quaternário brasileiro são conhecidas apenas para a Bacia de Campos. E os trabalhos de Lorscheitter no Quaternário do RS, e muitos outros, nos anos 80, 90 e 2000? E nas pgs. 13 e 14 do artigo, estes outros trabalhos aparecem. Faltou coerência dentro do próprio artigo. Na pg. 5, parágrafo 1 dos Resultados, o autor coloca que: Os resultados mostram que a **deposição do poço** ocorreu entre o Holoceno médio e tardio. Deposição do poço???? Nas Conclusões (pg. 16), a interpretação de condições de deposição plataformais para grande parte do intervalo estudado não é coerente com a evolução geológica da área (Hein et al. 2013). Veja que já em 265 cm tens uma idade de 3522 cal AP. Nesta idade a barreira já estava formada desde 6 ka e progradava, não sendo prudente admitir condições plataformais desde então, no local de coleta do seu testemunho de sondagem.

Contrariamente ao apresentado na Parte I, no artigo 3, pg. 4, último parágrafo são citados elementos geomorfológicos da SCCP segundo Hesp et al. (2009). A última frase deste parágrafo considera de maneira equivocada que a linha de costa (e não a SCCP) também apresenta coluviões, aluviões, áreas úmidas e ambientes deposicionais eólicos. Na pg. 5 o autor dá destaque a duas bacias hidrográficas relacionadas aos Rios Maciambu e da Madre e faz chamada à Fig.1, na qual estes rios não aparecem. E esta Fig. 1 tem muito baixa qualidade e sua parte que corresponde à imagem do Google Earth. Na pg. 6, no Cap. 3 -Materiais e Métodos, o autor não descreve o processo/técnica de coleta do testemunho, que ele apresenta na parte introdutória (Parte I), e inapropriadamente já apresenta resultados da análise sedimentológica do testemunho. Em Materiais e Métodos (Cap. 3) a ordem de apresentação dos itens não é a mesma apresentada no Cap. 4 (resultados).

Caps. 5.3 (pg. 16) e 5.4 (pg. 20). Em que momento eles se relacionam com seu trabalho? Do jeito que estes capítulos estão apresentados, eles são apenas uma revisão do conhecimento. O Cap. 6 não é um capítulo de Conclusões, mas sim uma Discussão parcial. Na pg.23, último parágrafo, é apresentada uma discussão nova, na qual, pela primeira vez aparece a citação de um trabalho que cobrei anteriormente: Hein et al (2013). Mesma observação faço em relação ao penúltimo parágrafo das conclusões na pg. 25. Trata-se novamente de uma discussão dos resultados que não foi anteriormente apresentada.

Por fim, considero que a parte III não precisava ser apresentada, pois trata-se de uma repetição de conteúdo.



Sergio R. Dillenburg

**ANEXO I**

Título da Tese:

***“Paleoambientes da porção central da Planície Costeira Catarinense (Praia da Pinheira, Brasil) durante o Holoceno”***Área de Concentração: **Paleontologia**Autor: **WAGNER GUIMARÃES DA SILVA**Orientador: **Prof. Dr. Paulo Alves de Souza**Examinador: **Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho**

Data: 21 de dezembro de 2018.

Conceito: B (Bom).

**PARECER:**

A tese apresenta três artigos que são conectados trazendo uma visão geral da evolução peloambiental da região nos últimos ~8,000 AP. A apresentação do candidato foi clara e concisa elucidando alguns pontos que estavam problemáticos no documento.

Com relação ao primeiro artigo que trata dos tintinidiomorfos, o autor trouxe importante contribuição a respeito do grupo. Como sugestão o trabalho deveria ter apresentado as curvas estratigráficas de cada morfotipo.

O segundo trabalho que trata da ocorrência de dinoflagelados, o autor destaca a maior diversidade e abundância após a utilização de nona metodologia. Destaco que também nesse trabalho seria importante apresentar curvas de abundância, curva das razões Peridinióide/gonyaulacoide e continental/marinho. Ressalto ainda que deveria enfatizar o motivo da ausência do grupo nas amostras do topo.

O artigo sobre palinofácies traz informação importante sobre a evolução paleoambiental da região. Eu sugiro uma revisão da classificação da matéria orgânica particulada, especialmente do grupo dos Fitoclastos. Também sugiro a retirada da parte de palinologia que está subestimada no trabalho, devendo essa ser publicada em um outro artigo.

De forma geral, o trabalho tem mérito para ser considerado aprovado.

Assinatura: *Wagner da Silva*

Data: 21/12/2018.

Ciente do Orientador:

*[Handwritten signature]*

Ciente do Aluno: *Wagner da Silva*