



Universidade Federal Fluminense
Instituto de Geociências
Pós Graduação em Dinâmicas dos Oceanos e da
Terra
Departamento de Geologia Marinha



WELLEN FERNANDA LOUZADA CASTELO

Evolução ambiental da Baía de Sepetiba ocorrida no Holoceno médio e superior: Abordagem multiproxy sobre fatores naturais e antropogênicos

Niterói
2020



WELLEN FERNANDA LOUZADA CASTELO



Evolução ambiental da Baía de Sepetiba ocorrida no Holoceno médio e superior: Abordagem multiproxy sobre fatores naturais e antropogênicos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Dinâmicas dos Oceanos e da Terra, Departamento de Geologia Marinha, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutora em Dinâmicas dos Oceanos e da Terra.

Orientadora¹: Dra. Josefa Varela Guerra.
Orientadora²: Dra. Maria Virgínia Alves Martins.

Niterói
Dezembro de 2020

Wellen Fernanda Louzada Castelo

"Influência de fatores naturais e antrópicos na evolução ambiental da Baía de Sepetiba (SE Brasil) durante o Holoceno: aplicação de multiproxies"

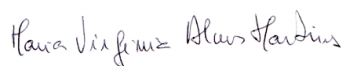
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e Terra, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Dinâmica dos Oceanos e da Terra. Área de Concentração: Geologia e Geoquímica Marinha.

Aprovada em 15 de Dezembro de 2020

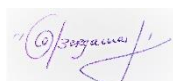
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra, Josefa Varela Guerra (Orientador) - UFF



Prof. Dra. Maria Virgínia Alves Martins (Orientador) - FGEL/UERJ



Prof. Dr. Sergio Bergamaschi - FGEL / UERJ



Prof. Dr. Mauro Cesar Gerald" - FGEL / UERJ



Prof. Dr. Orangel Antônio Aguilera Socorro - BIOMAR /UFF



Prof. Dr. Rodrigo Coutinho Abuchacra - FFP / UERJ



Prof. Dra. Thaise Machado Senez Mello - Instituto de Geociências /UFF

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

L886i Louzada castelo, Wellen Fernanda
Influência de fatores naturais e antrópicos na evolução ambiental da Baía de Sepetiba (SE Brasil) durante o Holoceno: aplicação de multiproxies / Wellen Fernanda Louzada castelo ; Josefa Varela Guerra, orientadora ; Maria Virgínia Alves Martins, coorientadora. Niterói, 2020.
168 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2020.d.97752614220>

1. Foraminíferos. 2. Evolução paleoambiental. 3. Biogeoquímica marinha. 4. Baía de Sepetiba. 5. Produção intelectual. I. Guerra, Josefa Varela, orientadora. II. Alves Martins, Maria Virgínia, coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD -

Dedico este trabalho à minha família.

Em especial para minha Mãe, minha Flor, que sempre me deu apoio incondicional para ir em busca dos meus sonhos, mesmo que para isso precisa-se ficar tão distante, geograficamente, dela

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense (UFF) por ter me concedido a oportunidade de desenvolver a minha tese de doutorado e pelo suporte à pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado;

À Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pela disponibilização do Laboratório de Micropaleontologia da Faculdade de Geologia (FAGEO) para realizar as análises do material assim como me receberam, sendo uma segunda e acolhedora casa por três anos.

Às minhas orientadoras Josefa Varela Guerra e Virgínia Alves Martins, por todo apoio durante a pesquisa, pelas tarde de discussões, incentivo, puxões de orelha quando necessário e paciência de mães ao me auxiliar como que eu precisasse.

À equipe de técnicos do Laboratório de Oceanografia Geológica da Faculdade de Oceanografia (FAOC) – Janaína, Felipe, Moisés e Pedro - pela ajuda (muitas vezes até altas horas da noite) no processamento das amostras de sedimentos.

À minha mãe, por sempre me incentivar a ir em busca dos meus objetivos e desde muito pequena me mostrar que o conhecimento é o bem mais valioso que temos e que ninguém pode tirar de nós.

Ao meu namorado Alex Vilela, por ser meu parceiro na vida, por virar noites comigo para me dar apoio quando o sono queria falar mais alto, por puxar minha orelha nas horas necessária (eu sei que sou muito teimosa as vezes rsrs) por se orgulhar de cada conquista minha, que agora é nossa, por todo amor e por estar sempre comigo.

Gostaria de agradecer também, do fundo do coração aos meus amigos (que graças a Deus são muitos e listar aqui seria complicado rsrs) e à todas as pessoas que me apoiaram, me deram forças, cuidaram de mim e estiveram comigo (mesmo que a distância) durante todo o trajeto do doutorado.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, em momentos tão difíceis da vida, e finalizar em um ano que nem nas mais remotas reloidades poderíamos imaginar.

Do rio que tudo arrasta, diz que é violento.

Mas ninguém chama violentas às margens que o comprimem.

- Bertolt Brecht

RESUMO

O conhecimento sobre as áreas costeiras é um ponto de interesse que remonta desde o início do período moderno. Entender o funcionamento destas zonas tanto regional quanto global se mostra como um fator importante tanto para o presente, quanto para a reconstrução do passado e previsão de possíveis modificações futuras. A fim de melhor compreender essas mudanças no litoral Sudeste do Brasil, mais especificamente a região da Baía de Sepetiba e seu entorno, lançou-se mão de proxies como foraminíferos (levando em conta sua eficiência como bioindicadores), aplicação de índices ecológicos, fator de enriquecimento(EF) e índice de poluição de sedimentos (SPI), além da análise geoquímica, mineralógica de sedimentos, visando caracterizar e compreender mudanças na textura e composição dos sedimentos, assim como nas comunidades de foraminíferos bentônicos, relacionar modelos de idade para a região, além de caracterizar os pacotes sedimentares de acordo com a qualidade ambiental destes. Para tal foram coletados três testemunhos (dois deles próximos a Restinga da Marambaia e um localizado na porção mais central da baía). Os registros obtidos junto aos três testemunhos forneceram evidências pertinentes a cerca da evolução da região. Os testemunhos próximos a Restinga da Marambaia – SP7 e SP8 - apresentaram acurados registros e mais longos da história da região, indo desde períodos pré antrópicos (cerca de ~ 9,5 Ka AP) com evidências de momentos de elevação do nível do mar no Holoceno, como o processo de incursão marinha que inundou a enseada da Marambaia e permitiu o início da colonização pelas assembleias de foraminíferos (passando de condições ruins a favoráveis em torno de 7,8 Ka AP, com ápice de saúde ambiental nos 5 ka AP, durante o período de nível relativo de mar alto no Holoceno médio), até momentos antrópicos marcantes, como o aumento da industrialização na região a partir do início do século XX. Já o SP3 – porção mais central da Baía de Sepetiba – apresentou um registro puramente antrópico, onde a datação por Pb210 e Cs137 permitiram identificar e correlacionar aumentos poluidores significativos de Zn e Cd a entrada de indústrias na região e ao passivo ambiental deixado pela Companhia Inga Mercantil. Este testemunho revelou uma eutrofização significativa a partir de meados dos anos 70, resultantes do aumento de matéria orgânica oriunda de resíduos continentais e humanos. Junto a todas estas evidências notou-se claramente uma correlação lateral do sedimentos entre os três testemunhos analisados, permitindo confirmar a transição de um registro dito natural, com todo seu processo evolutivo desde um ambiente subaéreo com contribuição eólica (~6 ka AP) para um ambiente submerso com maior contato tanto com o oceano (~8300 – 2500) e características de ambiente marinho raso, até o aumento da influência antrópica ocorridas na baía (a partir de 1975 – 2015) e sentidas mesmo nas porções mais distais ao continente.

Palavras-chaves: Multiproxies, Metais, Foraminíferos, Mineralogia, Fator de Enriquecimento, Proveniência Sedimentar.

ABSTRACT

The knowledge about coastal areas is a point of interest that dates back to the beginning of the modern period. Understanding the functioning of these zones, both regionally as globally, is shown to be an important factor both for the present and for the reconstruction of the past as well as the forecast of possible future changes. In order to better understand these changes on the Southeastern Coast of Brazil, more specifically the region of Sepetiba Bay and its surroundings, proxies were used as foraminifera (taking into account their efficiency as bioindicators), application of ecological index, factor of enrichment (EF) and sediment pollution index (SPI), in addition to the geochemical, mineralogical analysis of sediments, aiming to characterize and understand changes in the texture and composition of sediments, as well as in benthic foraminifera communities, to relate age models for the region, besides characterizing the sedimentary packages according to their environmental quality. For this purpose, three sediments cores were collected (two of them near of Marambaia Barrier Island and one located in the most central portion of the bay). The records obtained from the three testimonies provided relevant evidence about the evolution of the region. The cores close to Marambaia Barrier Island - SP7 and SP8 - presented accurate and longest records in the history of the region, ranging from pre-anthropoc periods (about ~ 9.5 Ka AP) with evidence of moments of rising sea levels in the Holocene, as example the process of marine incursion that flooded the Marambaia inlet and allowed the beginning of colonization by the foraminiferous assemblies (going from bad to favorable conditions around 7.8 Ka AP, with environmental health maximum in the 5 ka AP, during the period of relative High Sea Level in the Middle Holocene), until remarkable anthropic moments, such as the increase of industrialization in the region from the beginning of the 20th century. The SP3 core - the most central portion of Sepetiba Bay - presented a purely anthropic record, where the dating by Pb^{210} and Cs^{137} allowed the identification and correlation of significant polluting increases in Zn and Cd to the entry of industries in the region and to the environmental liabilities left by Companhia Inga Mercantil. This record revealed significant eutrophication from the mid-1970's, resulting from the increase in organic matter from continental and human waste. Along with all this evidence, a lateral correlation of the sediments was clearly seen between the three cores analyzed, allowing to confirm the transition from a natural record period, with all its evolutionary process since from an underwater environment with wind contribution (~ 6 ka AP) to a submerged environment with greater contact with the ocean (~ 8300 - 2500) in a shallow marine environment characteristics, until the increase in the anthropic influence that occurred in the Sepetiba Bay (from 1975 to 2015) and reach even in the most distant parts of the continent.

Keywords: Multiproxies, Metals, Foraminifers, Mineralogy, Enrichment Factor, Sedimentary Provenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da área de estudo com a localização dos testemunhos (SP3, SP7 e SP8) analisados neste trabalho.	10
Figura 4: Distribuição das biofácies identificadas por Dias-Brito (1988) para a Baía de Sepetiba. Fonte: Imagem modificada por Anita Pinto em sua tese de doutorado, 2017.	18
Figura 5: Principais tipos de arquitetura de testas de foraminíferos (Petró, 2018).	20
Figura 6: Localização dos testemunhos na área de estudo (Adaptado do Google Earth 2020).	23
Figura 7: Etapas de obtenção dos testemunhos na baía de Sepetiba. Fotografias cedidas por Tatiana Dadalto.	24
Figura 8: Difrátmetro de Raio – X (DRX) do Departamento de Geociências, da Universidade de Aveiro (Portugal).	25
Figura 9: Exemplo de difratograma obtido com a análise mineralógica por DRX. Fonte: A própria autora, 2019.	26
Figura 10: Etapas de tratamento das amostras. A – Amostras acondicionadas e etiquetadas por horizonte; B – Peneiras de lavagem a úmido, malhas 0,500 mm (500 µm) e 0,063 mm (63 µm); C – Balança analítica; D – Microscópio estereoscópio utilizado para triagem do material; E- Plaqueta quadriculada de triagem; F- Pincel de pelo de marta n.º 000, para separação e coleta dos espécimes; G – Lâmina quadriculada para armazenamento dos exemplares encontrados.	31
Figura 11: Foto ilustrativa do MEV (Microscópio eletrônico de varredura) utilizado para obtenção tanto de imagens dos foraminíferos quanto dos teores de EDS, este último consistindo em um equipamento auxiliar acoplado ao microscópio.	34
Figura 12: Foto de A. tepida ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), para ilustrar as áreas selecionadas para análise de EDS: 1 = Câmara Externa; 2 = Câmara intermediária/média; 3 = Câmara Interna	35
Figura 13: Perfis verticais representativos das atividades de ^{210}Pb e ^{137}Cs (Bq kg^{-1}) e atividade do ^{210}Pb não suportado ($\text{In } ^{210}\text{Pbxs}$) e respectiva reta de regressão linear. Nos gráficos, os pontos correspondem aos valores determinados nas análises e a linha tracejada representa as médias móveis dos valores, calculadas com três valores consecutivos.	38
Figura 14: Gráfico ternário de classificação granulométrica do testemunho SP3, de acordo com Folk & Ward (1957).	41
Figura 15: Variáveis texturais em função da idade. São apresentados os valores médios (linhas verticais tracejadas), as médias móveis (linhas contínuas), as linhas de tendência (linhas pontilhadas) e os respectivos valores de R^2 . A área sombreada marca a seção superior do testemunho com granulação mais fina, a partir dos anos 50.	42
Figura 16: Componente mineralógica da fração fina ($< 63\mu\text{m}$) do testemunho SP3 em função da idade. Os valores determinados estão representados por pontos, as médias pela reta tracejada, e a média móvel (média de três valores consecutivos) pela linha contínua. A seção inferior do testemunho, em que se verificou a ocorrência de teores relativamente elevados de anidrita e bassanita, foi sombreada.	47
Figura 17: Valores de TOC, S e C/S ao longo do testemunho SP3. Nesta Figura também estão representados os teores de carbonatos, resíduo insolúvel e nitrogênio total (N), assim como os valores	

isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ e da razão C/N (TOC/N). Os valores encontram-se representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada; a linha contínua representa a média móvel (média de três valores consecutivos). Em alguns gráficos foi representada a reta de regressão (linha pontilhada) e o respectivo R^2 . A seção inferior do testemunho em que se verificou a ocorrência de teores relativamente baixos de várias variáveis foi sombreada.	48
Figura 18: Concentrações de uma seleção de elementos químicos mostrando que os maiores valores ocorrem na seção superior do testemunho onde este é constituído por sedimentos mais finos. Os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada, e a média móvel (média de três valores consecutivos) pela linha contínua. A reta de regressão (tracejado mais grosso) e o respectivo R^2 , mostram que existe, para todos os elementos químicos representados, uma tendência de aumento dos valores em direção ao topo do testemunho.	51
Figura 19: A. Razões entre elementos químicos selecionados e o elemento Sc; foi sombreado o período em que se verifica um aumento das razões do Mg/Sc, Fe/Sc e Mn/Sc, e valores reduzidos das restantes razões. B. Valores dos fatores de enriquecimento (EF) dos elementos químicos potencialmente tóxicos (PTEs) e do P; nesta representação encontram-se sombreados os períodos em que ocorre o aumento significativo dos valores de EF de Zn e Cd e de Co, Pb, Ni. Nos gráficos, os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada, e a média móvel (média de três valores consecutivos) pela linha contínua. Em alguns gráficos foi representada a reta de regressão e o respectivo R^2	52
Figura 20: Gráficos em função da idade dos valores de PLI e de SPI no testemunho SP3. Os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada e a média móvel (média de três valores consecutivos) pela linha contínua. Foi também representada a reta de regressão e o respectivo R^2	55
Figura 21: Gráfico do fator 1 contra o fator 2 da análise de componentes principais. As variáveis estão associadas em 4 grupos em função da sua correlação com os dois principais fatores. Legenda: Qz – quartzo; Carb – carbonatos; Plag. – plagioclásio; Finos – fração fina; Anid. – anidrita; Bas – basanita; MG – média granulométrica; Pir. – pirita; Fil. – filossilicatos, ^{15}N	56
Figura 22: Teores de PTEs em duas ou três câmaras (I - Interna; M - Intermediária e; E – externa) de quatro ou cinco espécimes de <i>A. tepida</i> , recolhidos em três horizontes sedimentares (A : 0-2 cm; B : 14-16 cm; C : 26-28 cm) do testemunho do SP3.	58
Figura 23: A. Média granulométrica, grau de seleção dos grãos (<i>sorting</i>) e percentagem relativa de várias frações granulométricas. B. Percentagem dos principais minerais da fração fina. Foi sombreada a seção superior, mais fina do testemunho SP7. As linhas tracejadas representam a média, enquanto as linhas contínuas representam a média móvel.....	69
Figura 23 (Cont.): A . Média granulométrica, grau de seleção dos grãos (<i>sorting</i>) e percentagem relativa de várias frações granulométricas. B . Percentagem dos principais minerais da fração fina. Foi sombreada a seção superior, mais fina do testemunho SP7. As linhas tracejadas representam a média, enquanto as linhas contínuas representam a média móvel.....	70
Figura 24: Concentrações dos elementos químicos ao longo do testemunho SP7. A seção superior do testemunho, onde são maiores as concentrações de vários elementos químicos, foi sombreada. Foi representada a linha de tendência do Zn e do P e os respectivos R^2	73

Figura 25: Gráficos de valores de EF dos PTEs do testemunho SP7.	75
Figura 26: Gráficos dos valores de PLI e SPI em função da profundidade no testemunho SP7.	76
Figura 27: Gráfico do fator 1 contra o fator 2 da análise de componentes principais baseado em variáveis sedimentológicas do testemunho SP7. As variáveis estão associadas em 3 grupos em função da sua correlação com os dois principais fatores. Legenda: Plag. – plagioclásio; K-Fd – feldspato potássico; Pir – Pirita; MOT – matéria orgânica total; Finos – fração fina (<63µm); AreiaMF – areia muito fina; AreiaF – areia fina; AreiaM – areia média.	77
Figura 28: Gráficos dos fatores loading 1 e 2 da PCA da Figura 28, em função da profundidade, com indicação em sobreado do horizonte de descontinuidade sedimentar/hiato (DS), inferindo pela datação uma perda de registro sedimentar. A análise dos fatores loading do PCA ressaltam também as mudanças ocorridas tanto com as variações nas condições hidrodinâmicas quando as de caráter diagenéticos ocorridas ao longo do período registrado nos horizontes sedimentares.	77
Figura 29: Análise de classificação em modo Q, baseada nas mesmas variáveis usadas na PCA, tendo-se usado para o efeito as correlações de Pearson e como método de agrupamento as ligações completas. O grupo 1 corresponde à seção 2-38 cm enquanto os grupos 2.1 e 2.2 correspondem, respectivamente, às seções 42-58 cm e 82-102 cm.	78
Figura 30: Fotos mostrando: A. presença predominante de partículas muito angulares ou angulares na composição da fração areia muito fina; B. presença de microplásticos na fração >500 µm dos primeiros 6 centímetros do testemunho SP8.	83
Figura 31: Detalhes da fração arenosa de sedimentos do testemunho SP8. A. detalhes da fração 125 a 500 µm, do horizonte 52 a 54 cm. B. Detalhes da fração arenosa da malha 150 a 250 µm do horizonte 162 a 164 cm. C. Detalhes da fração > 500 µm, do horizonte 150 a 152 cm. D. Detalhes da fração > 500 µm, do horizonte 162 a 164 cm. E - F detalhes da fração > 500 µm, do horizonte 162 a 164 cm.	85
Figura 32: Gráficos em escala micra dos valores da média granulométrica vs. os valores da seleção, e da assimetria vs. a curtose.	86
Figura 33: Gráficos, em função da profundidade, de valores da média granulométrica, teores de finos, da fração areia muito fina e areia média, além do grau de seleção e da assimetria ao longo do testemunho SP8. Estão representados o tamanho granulométrico médio do testemunho (reta tracejada), e a reta de regressão (linha pontilhada) e o respectivo R ² . A área sombreada (seção inferior do testemunho) corresponde à seção com sedimentos de granulometria acima do valor médio do testemunho.	88
Figura 34: Gráficos, em função da profundidade, da percentagem dos minerais identificados na fração fina dos sedimentos do testemunho SP8. Os valores encontram-se representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada; a curva entre os valores representa a média móvel (média de três valores consecutivos). Em alguns gráficos foi representada a reta de regressão e o respectivo R ² . A seção inferior do testemunho onde tendem a aumentar os teores de anidrita e a reduzir a percentagem de calcita e dos valores da razão Feldspatos/Quartzo, sem presença de pirita, foi sombreada.	90
Figura 35: Gráficos, em função da profundidade, dos teores de elementos químicos dos sedimentos do testemunho SP8. A média dos valores no testemunho foi representada pela reta tracejada.	93

Figura 36: Gráfico do fator 1 contra o fator 2 da análise de componentes principais. As variáveis estão associadas em 4 grupos em função da sua correlação com os dois principais fatores. Legenda: AreiaM – fração areia média; AreiaG – fração areia grossa; Areia+C – fração areia + cascalho; Qz – quartzo; Carb – carbonatos; Plag. – plagioclásio; Finos – fração fina; Anid. – anidrita; MG – média granulométrica; Pir. – pirita; Fil. – filossilicatos. Opal – Opala C/T; Hem – hematita; Anat – anatase; areiaF – areia fina; AreiaMF – areia muito fina; MOT – matéria orgânica total; Calc – calcita.	95
Figura 37: Gráficos de razões entre vários elementos químicos e Sc, ilustrando diferentes padrões de distribuição ao longo do testemunho. Os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada. Também foi representada a reta de regressão (linha pontilhada) e o respectivo R ² em alguns gráficos. A seção inferior do testemunho, onde algumas razões são menores ou mais elevadas, foi sombreada.....	96
Figura 38: Valores dos fatores de enriquecimento (EF) dos elementos químicos potencialmente tóxicos (PTEs). Nos gráficos, os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada. Em alguns gráficos foi representada a reta de regressão e o respectivo R ² . PLI: Índice de Carga de Poluição.	99
Figura 39: Teores de PTEs nas câmaras I - Interna; M - Intermediária e; E – externa, de quatro a cinco espécimes de A. tepida (representados pelo prefixo F), recolhidos em quatro horizontes sedimentares (4 cm, 32 cm, 64 cm e 134 cm), do testemunho do testemunho SP8. O gráfico em barra destacam os 5 teores elementares que apresentaram maiores variações ocorridas nas composições das testas.	101
Figura 40: Densidade, riqueza específica, dominância, equitabilidade, índice de Shannon e da razão Ammonia/Elphidium ao longo do testemunho SP8. Foi representada em todos os gráficos a reta de regressão (linha pontilhada) e o respectivo R ² . A reta de regressão da razão Ammonia/Elphidium é logarítmica, a dos restantes gráficos é linear caracterizando a diminuição exponencial dessas variáveis com a profundidade. Foram assinaladas (sombreadas) a seção inferior do testemunho, sem foraminíferos e a superior onde os valores da razão Ammonia/Elphidium aumentam exponencialmente.	103
Figura 41: Fotos das principais espécies de foraminíferos identificadas ao longo do testemunho SP8. 1. E. poeyanum. 2. A. tepida. 3 – A. tepida. 4. A. parkinsoniana. 5 – A. rolshauseni. 6. C. excavatum. 7. B. peruviana. 8. B. aculeata. 9. B. elegantissima. 10. B. striatula. 11. B. compacta. 12. B. fragilis. 13 H. pacifica. 14. Q. laevigata. 15. P. japonicum. 16. A. gallowayi. 17. R. auberii. 18. C. exilis. 19. R. squamiformis.	108
Figura 42: Percentagem das espécies mais abundantes na seção 136-0 cm do testemunho SP8. Foi representada a reta de regressão e respectivo R ² para a curva de A. tepida e de Bolivina striatula. Foi assinalada a seção superior do testemunho onde aumenta a abundância relativa de A. tepida, assim como as faixas inferiores onde a abundância relativa de E. poeyanum aumenta consideravelmente.	109
Figura 43: Gráfico do fator 1 contra o fator 2 da análise de componentes principais (PCA) com base numa seleção de dados granulométricos, mineralógicos, geoquímicos e bióticos. Estão assinalados conjuntos de variáveis mais positiva e negativamente relacionadas com cada um destes fatores. Legenda: C.poey - <i>Cribroelphidium poeyanum</i> ; A.tepi - <i>Ammonia tepida</i> ; B.eleg - <i>Buliminella</i>	

<i>elegantissima</i> ; A.rols - <i>Ammonia rolshauseni</i> ; P.canan - <i>Pararotalia cananeiaensis</i> ; C.exca - <i>Criboelphidium excavatum</i> ; E.ocea - <i>Elphidium oceanense</i> ; E.ince - <i>Elphidium incertum</i> ; E.adve - <i>Elphidium advenum</i> ; P.gran- <i>Porosonion granosum</i> ; A.park - <i>Ammonia parkinsoniana</i> ; B.stri - <i>Bolivina striatula</i> ; E.disc - <i>Elphidium discoidale</i> ; B.acul - <i>Bulimina aculeata</i> ; P.japo <i>Pseudonion japonicum</i> ; B.peru - <i>Buccella peruviana</i> ; C.gunt - <i>Criboelphidium gunteri</i> ; RS – riqueza específica; H' – Índice de Shannon; J' – equitabilidade; DF - Densidade de foraminíferos; Calc - Calcita; Opal - Opala C/CT; Plag – Plagioclásio; Qz - Quartzo; Finos – fração fina; MOT – matéria orgânica total; Carb – carbonatos; Am/Elh – <i>Ammonia/Elphidium</i> ; Fd/Qx – feldspatos/quartzo; MG – média granulométrica; ArG – areia grossa; Ar.M – areia média.	111
Figura 44: Modelo de idades do testemunho SP8, estabelecido por interpolação das idades de radiocarbono e outros registros sedimentares (ver a discussão no texto).	117
Figura 45: Comparação dos valores dos parâmetros texturais Y1 e Y3, das razões Th/Sc e Feldspato/Quartzo (Felds/Qz) e da densidade de foraminíferos (DF), Estão sinalizados os níveis datados por radiocarbono; a descontinuidade sedimentar a ≈36 cm de profundidade e; duas idades estimadas: (*) por comparação com dados geoquímicos do testemunho SP3, com o mesmo tipo de registro para as concentrações de Zn e Cd e; (**) com base nas idades de radiocarbono obtidas deste testemunho. Está representada a reta de regressão e o respectivo R ² das variáveis. Foram assinalados na imagem alguns eventos, estabelecidos com base na interpretação dos dados do testemunho SP8. Legenda: DS – descontinuidade sedimentar; S/F – sem foraminíferos.....	125
Figura 46: Comparação dos valores dos dois primeiros fatores score da PCA da Figura 45 com os valores da média granulométrica, razão <i>Ammonia/Elphidium</i> e dos fatores de enriquecimento (EF) de Zn e Cd. Estão sinalizados os níveis datados por radiocarbono; a descontinuidade sedimentar em torno de ≈36 cm de profundidade e; duas idades estimadas: (*) por comparação com dados geoquímicos do testemunho SP3, com o mesmo tipo de registro para as concentrações de Zn e Cd e; (**) com base nas idades de radiocarbono obtidas neste testemunho. Está representada a reta de regressão e o respectivo R ² para os valores do factor score 1 da PCA e a média granulométrica. Foram assinalados na imagem alguns eventos, estabelecidos com base na interpretação dos dados do testemunho SP8. Legenda: DS – descontinuidade sedimentar; S/F – sem foraminíferos.....	126

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Classificação do fator de enriquecimento (Sutherland, 2000).	28
Tabela 2: Classificação de sedimentos segundo o índice de geoacumulação de Müller (1986).	29
Tabela 3: Definições de SPI para classificar os sedimentos determinadas por Singh et al. (2002). ...	30
Tabela 4: Resultados da atividade isotópica de ^{210}Pb e ^{137}Cs e estimativa das idades determinadas ao longo do testemunho SP3, de acordo com o modelo da sedimentação constante, com indicação do pico máximo de decaimento de ^{137}Cs (em 1963). *#N/D – Valores não detectados.....	39
Tabela 5: Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão de frações (F.) granulométricas e outros parâmetros texturais do testemunho SP3.	40
Tabela 6: Abundância relativa dos principais minerais presentes nos sedimentos do testemunho SP3, de acordo com a idade registrada. São também apresentados os respectivos valores máximos, mínimos, médias e desvio padrão (DesvPad).	44
Tabela 7: Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de TOC, S e C/S ao longo do testemunho SP3. DL: teores não detectáveis. Os horizontes/períodos de maiores aprisionamento de carbonato concordantes com pulsos de maior crescimento populacional/ econômico associados a implantações de empresas e criação do porto de Sepetiba, encontram-se sombreados na tabela.	46
Tabela 8: Valores máximos (max.), mínimos (min.), médios (med.) e desvio padrão (DesvPad) da concentração de elementos químicos presentes nos sedimentos do testemunho SP3.....	50
Tabela 9: Valores do fator de enriquecimento (EF) para os elementos químicos potencialmente tóxicos (PTEs) encontrados no testemunho SP3. Foram sombreados os valores mais elevados (>2).	53
Tabela 10: Valores do Índice de Geoacumulação (I_{geo}) para os elementos químicos potencialmente tóxicos no testemunho SP3. Foram sombreados os valores mais elevados (≥ 2).	54
Tabela 11: Variação global dos teores dos elementos químicos estimados por EDS em A. tepida, em três níveis do testemunho SP3. Legenda: Max. – máximo; Min. – mínimo; Med. – média; Desv.Pad – desvio padrão.	57
Tabela 12: Fator de enriquecimento (EF) de elementos químicos essencialmente litogênicos, em duas a três câmaras, obtidos em quatro a cinco espécimes recuperados de A. tepida, em três horizontes sedimentares (A : 0-2 cm; B : 14-16 cm; C : 26-28 cm), do testemunho do SP3. Legenda: Horizontes - 0: 0-2cm, 14: 14-16 cm, 26: 26-28 cm; Espécimes: F1 a F5 (identificação numérica dada aos espécimes, de acordo com a disponibilidade para análise); Câmara: I - Interna; M - Intermediária e; E - externa. Valores de EF maiores que 2 foram sombreados.....	60
Tabela 13: Fator de enriquecimento de PTEs em duas a três câmaras (Internas: I ; Intermédias: M ; Externas: E .), obtidos em quatro a cinco espécimes recuperados de A. tepida, em três horizontes sedimentares (A : 0-2 cm; B : 14-16 cm; C : 26-28 cm), do testemunho SP3. Legenda: Horizontes - 0: 0-2cm, 14: 14-16 cm, 26: 26-28 cm; Espécimes: F1-F5; Câmara: I - Interna; M - Intermediária e; E - externa. Valores de EF maiores que 2 foram sombreados.	61
Tabela 14: Percentagem dos minerais na fração sedimentar inferior a 63 μm do testemunho SP7, em função da profundidade, e respectivos valores máximos, mínimos e médios. Minerais que estiveram em menos de três horizontes foram considerados acessórios, e por esse fator foram retirados do cálculo das médias, a exemplo do Anatásio, Aragonita, Dolomita e Opala C/T.	71
Tabela 15: Valores máximos (Max.), mínimos (Min.), médios (Med.) e desvio padrão (Desv.Pad) dos teores dos elementos químicos analisados nos sedimentos do testemunho SP7.	72
Tabela 16: Fatores de enriquecimento (EF) dos PTEs em função da profundidade (cm) no testemunho SP7. Foram assinalados os valores >2.....	74
Tabela 17: Valores de I_{geo} dos PTEs em função profundidade (cm) no testemunho SP7. Foram assinalados os valores ≥ 2	74
Tabela 18: Idades de radiocarbono para os níveis analisados no testemunho SP8. A datação obtida no nível 132-134 cm foi considerada um dado espúrio, devido à grande variação de idades registrada. 82	
Tabela 19: Variação dos valores de parâmetros granulométricos e suas respectivas médias e desvio-padrão.	84

Tabela 20: Variação da percentagem dos principais minerais que compõem a fração fina dos sedimentos do testemunho SP8. É também apresentada a média e o desvio padrão (Desv.Pad) de cada variável.	89
Tabela 21: Variação das concentrações dos elementos químicos analisados ao longo do testemunho SP8 e também dos teores de matéria orgânica (MOT) e carbonatos (carb.)	92
Tabela 22: Valores de: A. Fatores de Enriquecimento (EF) e B. Índice de Geoacumulação (I_{geo}) para os Elementos Potencialmente Tóxicos (PTEs) ao longo do testemunho SP8. Estão assinalados os valores >2.....	97
Tabela 22 (cont.): Valores de: A. Fatores de Enriquecimento (EF) e B. Índice de Geoacumulação (I_{geo}) para os Elementos Potencialmente Tóxicos (PTEs) ao longo do testemunho SP8. Estão assinalados os valores >2.....	98
Tabela 23: Variação dos teores dos elementos químicos estimados por EDS em <i>A. tepida</i> , em quatro níveis (4 cm, 32 cm, 64 cm e 134 cm) do testemunho SP8. Legenda: Desv.Pad – desvio padrão. Destacados em laranja os elementos que apresentaram maiores variações elementares.	100
Tabela 24: Parâmetros bióticos. Legenda: N – exemplares contados em cada amostra; RE – riqueza específica. Nenhum espécime de foraminífero foi encontrado entre a base do testemunho e o horizonte 134 cm.....	104
Tabela 25: Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão, das espécies que atingiram abundância relativa $\geq 2\%$, em pelo menos um nível da seção 136-0 cm do testemunho SP8, por ordem decrescente de máxima abundância relativa.	106
Tabela 26: Correlações das variáveis com os dois primeiros fatores da PCA (Figura 43). Legenda: C.poey - <i>Criboelphidium poeyanum</i> ; A.tepi - <i>Ammonia tepida</i> ; B.eleg - <i>Buliminella elegantissima</i> ; A.rols - <i>Ammonia rolshauseni</i> ; P.canan - <i>Pararotalia cananeaensis</i> ; C.exca - <i>Criboelphidium excavatum</i> ; E.ocea - <i>Elphidium oceanense</i> ; E.ince - <i>Elphidium incertum</i> ; E.adve - <i>Elphidium advenum</i> ; P.gran - <i>Porosonion granosum</i> ; A.park - <i>Ammonia parkinsoniana</i> ; B.stri - <i>Bolivina striatula</i> ; E.disc - <i>Elphidium discoidale</i> ; B.acul - <i>Bulimina aculeata</i> ; P.japo - <i>Pseudononion japonicum</i> ; B.peru - <i>Buccella peruviana</i> ; C.gunt - <i>Criboelphidium gunter</i> ; RS – riqueza específica; H' – Índice de Shannon; J' – equitabilidade; DF - Densidade de foraminíferos; Calc - Calcita; Opal – Opala C/CT; Plag – Plagioclásio; Qz - Quartzo; Finos – fração fina; MOT – matéria orgânica total; Carb – carbonatos; Am/Elh – <i>Ammonia/Elphidium</i> ; Fd/Qz – feldspatos/quartzo; MG – média granulométrica; ArG – areia grossa; Ar.M – areia média.	112
APÊNDICE VII - Tabela 27: Dados dos elementos químicos retidos nas as testas de <i>A. tepida</i> em 3 níveis de profundidade, obtidos através da técnica EDS, aplicada sobre do testemunho SP3.	148

SIGLAS

AMS - Accelerator Mass Spectrometry (Espectômetro de massa com acelerador acoplado)

BP – Antes do presente (Before present)

DC – Depois de Cristo

DS – Descontinuidade sedimentar

EF – Fator de enriquecimento (Enrichment factor)

FSI – Índice de estresse para foraminíferos (Foraminifera Stressor Index)

H' – Índice de Diversidade de Shannon

Igeo - Índice de Geoacumulação

J' – Índice de Equitabilidade

LGQM - Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica

MEV – Microscopia Eletrônica por Varredura

MEV/EDS - Microscópio Eletrônico de Varredura com Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X.

MIRACLE - Microfossil Image Recovery and Circulation for Learning and Education

MO – Matéria orgânica

NOSAMS/WHOI - National Ocean Sciences Accelerator Mass Spectrometry

NRM – Nível Relativo do mar

N_{Tot.}- Nitrogênio total

PLI - Índice de carga de poluição (Pollution load index)

SPB - Sepetiba

S_{Total} – Enxofre Total

TOC – Total Organic Carbon (Carbono Orgânico Total)

Sumário

Capítulo 1	5
1. INTRODUÇÃO	5
Capítulo 2	9
2. ÁREA DE ESTUDO	9
2.1. GEOLOGIA REGIONAL	11
2.2. HIDROGRAFIA E HIDRODINÂMICA	15
Capítulo 3	16
3. ESTUDOS DE MICROPALEONTOLOGIA NA BAÍA DE SEPETIBA	16
Capítulo 4	19
4. FORAMINÍFEROS	19
Capítulo 5	22
5. MATERIAIS E MÉTODOS	22
Capítulo 6	38
TESTEMUNHO SP3	38
6.1. Resultados obtidos no testemunho SP3	38
6.2. Discussão dos resultados obtidos no testemunho SP3	62
Capítulo 7	67
TESTEMUNHO SP7	67
7.1. Resultados obtidos no testemunho SP7	67
7.2. Discussão	78
Capítulo 8	82
TESTEMUNHO SP8	82
8.1. Resultados do testemunho SP8	82
8.2. Discussão	113
8. BIBLIOGRAFIA	127
APÊNDICES	140

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre as áreas costeiras é um ponto de interesse que remonta desde o início do período moderno (Lins de Barros, 2010). Entender como estas zonas se comportam e respondem às variações do meio, tanto regional quanto global é um fator importante tanto para o presente, quanto para a reconstrução do passado e previsão de possíveis modificações futuras.

Estudos recentes, à exemplo de Kuniansky & Rodriguez (2010), têm revelado um declínio mundial substancial no serviço e funcionamento do ecossistema estuarino, graças à sua excessiva exploração socioeconômica. Numerosos esforços em todo o mundo foram efetuados para entender a resiliência estuarina a estressores induzidos antropogenicamente, como descarga de esgoto, por exemplo (Alegria *et al.*, 2016), assim como a entrada de elementos potencialmente tóxicos nesses ecossistemas (PTEs), conforme definido por Martínez-Colón *et al.* (2009).

Logo, a necessidade do melhor conhecimento da dinâmica, envolvendo tanto o desenvolvimento quanto a ocupação das áreas costeiras é objeto de interesse e estudo de pesquisadores ao redor do mundo, levando-os a constatar que as variações ocorridas ao redor do globo não seguem o mesmo padrão. Elas obedecem características regionais como a batimetria da bacia, evapo-precipitação, circulação, ventos, ocupação humana, entre outros (Suguio *et al.*, 1993; Wigley, 1999; Turner & Homes, 2001; Verstraete, 2001; Alegria *et al.*, 2016, Reis *et al.*, 2011). A evolução das características dos ambientes costeiros é importante, tendo em vista que as modificações ocorridas afetam diretamente tanto a vida quanto as atividades humanas.

Atualmente, considera-se que em torno de 26% da população brasileira vive na adjacência das zonas costeiras (IBGE, 2011), explorando recursos (e.g., fonte de alimento, fonte de renda, matéria prima para construção), desenvolvendo atividades industriais e portuárias, entre outras. Dessa forma causam impactos diretos ou indiretos o que reforça a necessidade do refinamento das informações que essas áreas registram com o passar do tempo (Mc Granaham *et al.*, 2007, Neumann *et al.*, 2015 e Alves Martins *et al.*, 2018).

Um exemplo da ocupação populacional dessas áreas no litoral do Brasil, em períodos que antecedem a colonização é registrada em estudos feitos com sambaquis. São exemplos os estudos efetuados nos Sambaqui do sítio COSIPA (Figuti, 1993) e o Sambaqui da Tarioba (Souza *et al.*, 2010), onde o conteúdo fossilífero indica a forma de adaptação da vida na costa, tipo de fauna existente e o consumo de insumos marinhos por parte da população, além da não alteração significativa na posição

dessas populações nos últimos 4 mil anos, ressaltando o estabelecimento da população no ambiente costeiro no Holoceno.

A evolução costeira do litoral brasileiro assim como as variações do Nível Relativo do Mar (NRM) nela percebida, são alvos de estudo de diversos pesquisadores, lançando mão de diversos proxies para a análise destes registros (Angulo *et al.* 2006; Reis *et al.*, 2009, 2011; Angulo & Souza, 2014; Nascimento *et al.*, 2019; Toniolo *et al.* 2020).

Como é sabido atualmente, o fenômeno da Eustasia ocorre e se comporta de diferentes maneiras em cada região do globo, em função do volume das águas, da formação/degelo de glaciares nos polos e da fisiografia da bacia oceânica. Por não ter a mesma expressão em todas as partes do globo e requer a elaboração de curvas de variação do nível relativo do mar com caráter regional/local (Williams, 2013). Partindo desse princípio e da dimensão da costa do Brasil, as variações do NRM são sentidas e consequentemente registradas de diferentes formas na costa do Brasil (Dominguez *et al.*, 1992; Rossetti, 2001; Angulo *et al.* 2006; Passos *et al.* 2019; Nascimento *et al.*, 2019; Toniolo *et al.* 2020) (e.g. Apêndice XII – Figura complementar).

Neste sentido, fica evidente na literatura científica a relevância dos estudos efetuados por diversos pesquisadores, como exemplo de Suguio & Martin (1976, 1978), Martin *et al.* (1993), Rossetti (2001), Ângulo *et al.* (2006) e Angulo & Souza (2014) como pioneiros no avanço de pesquisas desse âmbito, a partir da década de 1970, e fundadores de bases para a pesquisa da evolução paleoambiental ocorrida no litoral sul americano durante o Quaternário. No entanto, apesar das pesquisas com esse foco terem avançado bastante nos últimos 50 anos, não se tem definida ainda, uma curva de variação do NRM para a plataforma sudeste, fazendo-se sentir uma necessidade de maior refinamento da questão de como essas oscilações – por menores que ocorram temporalmente – são sentidas nesta região.

Para o litoral Sudeste, mais recentemente Castro *et al.* (2014) e Jesus *et al.* (2017), inferiram um máximo transgressivo ocorrido em torno dos 4.700 a 4.500 anos AP, com altitude máxima em torno de ± 2.4 m.

Passos *et al.* (2019) por sua vez fizeram predições para a região de Mangaratiba das consequências de uma possível elevação do NRM em 2.5 m para o próximo século. Esta poderá inundar uma área de cerca de 7,4% do litoral e afetar diretamente a vida e a economia das cidades adjacentes, com os seus cerca de cerca de 200 mil habitantes (Senso 2020, IBGE). Ela resultaria ainda no afogamento de pastagens e sítios arqueológicos, assim como provocaria erosão e/ou migração da restinga, dunas e áreas de manguezal na região.

Com base no prévio levantamento sobre os estudos na Baía de Sepetiba, nota-se que há uma carência quanto a maior resolução de dados científicos, trabalhando de forma integrada (multiproxies) no refinamento das informações do processo de evolução do ambiente sedimentar da Baía de Sepetiba. Sendo assim este trabalho pretende contribuir para o refinamento do conhecimento acerca da evolução Holocênica da região e o impacto antropogênico infligido sobre ele, através de uma abordagem *multiproxy* (sedimentológica, geoquímica, biogênica e aplicação de índices ecológicos) realizada sobre a análise de testemunhos sedimentológicos com ênfase nas alterações naturais associadas às variações do NRM e modificações associadas à ação antropogênica no meio.

Um dos principais *proxies*, empregados aqui para identificar mudanças no ambiente sedimentar foram os foraminíferos. O uso dos foraminíferos neste estudo e em diversos outros pelo mundo (Barbosa *et al.*, 2005, Bernal *et al.*, 2008, Barbosa 2010, Eichler, 2017) leva em conta a sua eficiência como bioindicadores, tendo em vista sua elevada sensibilidade e rápida resposta às mudanças ambientais (Fiorini, 2004, Horton *et al.*, 2005, Prazeres *et al.*, 2020; Hess *et al.*, 2020). Pelo fato das suas testas ficarem facilmente bem preservadas no registro sedimentar (sobretudo os calcários), são também de grande utilidade em estudos de paleoecologia e de reconstituição paleoambiental (Smith *et al.*, 2013; Waśkowska & Kaminski, 2019).

Para além disso, a calcificação das suas testas carbonáticas se dá em equilíbrio químico com a água do mar, nos dando diversas informações de como era o ambiente no momento de formação/ vida destes organismos. Mudanças no suprimento de sedimentos, oxigênio dissolvido (OD), presença de elementos potencialmente tóxicos (PTEs), matéria orgânica (OM) (Duleba *et al.*, 2003; Petró *et al.*, 2012, Taheri *et al.*, 2015; Hermans *et al.*, 2017; Aylagas *et al.*, 2017; Franzo *et al.*, 2019).

Considerando estas particularidades, as assembleias de foraminíferos quer vivas, mortas, subfósseis ou fósseis são excelentes indicadores de mudanças naturais e antrópicas ocorridas no meio marinho. Por esta razão, são frequentemente utilizadas em estudos sobre a variação do nível do mar, produtividade marinha, padrão de circulação das correntes, massas de água e alterações nas características físico-químicas dos sedimentos.

Sendo a região costeira, sujeita a constantes variações hidrodinâmicas, a utilização das assembleias de foraminíferos ganha maior relevância quando associada a informações sedimentares, como por exemplo, granulometria, mineralogia e geoquímica (teores de matéria orgânica, carbonato, teores dos elementos químicos associados tanto aos grãos quanto aos foraminíferos, isótopos estáveis, aplicação de

índices ecológicos, entre outros). Logo, para uma melhor leitura das colunas sedimentares obtidas na Baía de Sepetiba foram empregados dados diversos obtidos tanto nos sedimentos quanto nas testas dos foraminíferos.

Desta forma, temos como principal hipótese que: o alto poder de retenção de informações contidas nas associações de foraminíferos aliadas/associadas às encontradas nos sedimentos de fundo da Baía de Sepetiba nos fornecem acurados registros a cerca tanto da sua evolução holocênica como das ações antrópicas que têm vindo a impactar o meio e podem vir a influenciar as características futuras da área.

Levando em conta as sequências sedimentares de três testemunhos, o presente estudo tem como *Objetivo Geral*:

- Identificar as consequências de impactos naturais e antrópicos na baía de Sepetiba que levaram ao desenvolvimento/ modificação da área, como por exemplo variações: do nível do mar, hidrodinamismo, paleoprodutividade, variações na dinâmica sedimentar e presença de poluentes.

A fim de responder esta questão foram estabelecidos os *Objetivos Específicos* em:

- Identificar, caracterizar e entender mudanças na textura e composição (mineralógica e geoquímica) dos sedimentos que adentram (proveniência de material) a área de estudo.

- Realizar a leitura da composição da comunidade de foraminíferos, afim de identificar possíveis mudanças faunísticas relacionadas com a evolução da área de estudo.

- Relacionar modelos de idade, estabelecidos a partir de datações de radiocarbono e/ou de Pb^{210} e Cs^{137} , com características das associações de foraminíferos e dos sedimentos, visando uma identificação das causas de mudanças temporais ocorridas na área de estudo.

- Realizar aplicação de índices ecológicos como Igeo e EF (fator de enriquecimentos dos elementos químicos), visando caracterizar a qualidade ambiental dos pacotes sedimentares presentes na área, com o processo de evolução.

Capítulo 2

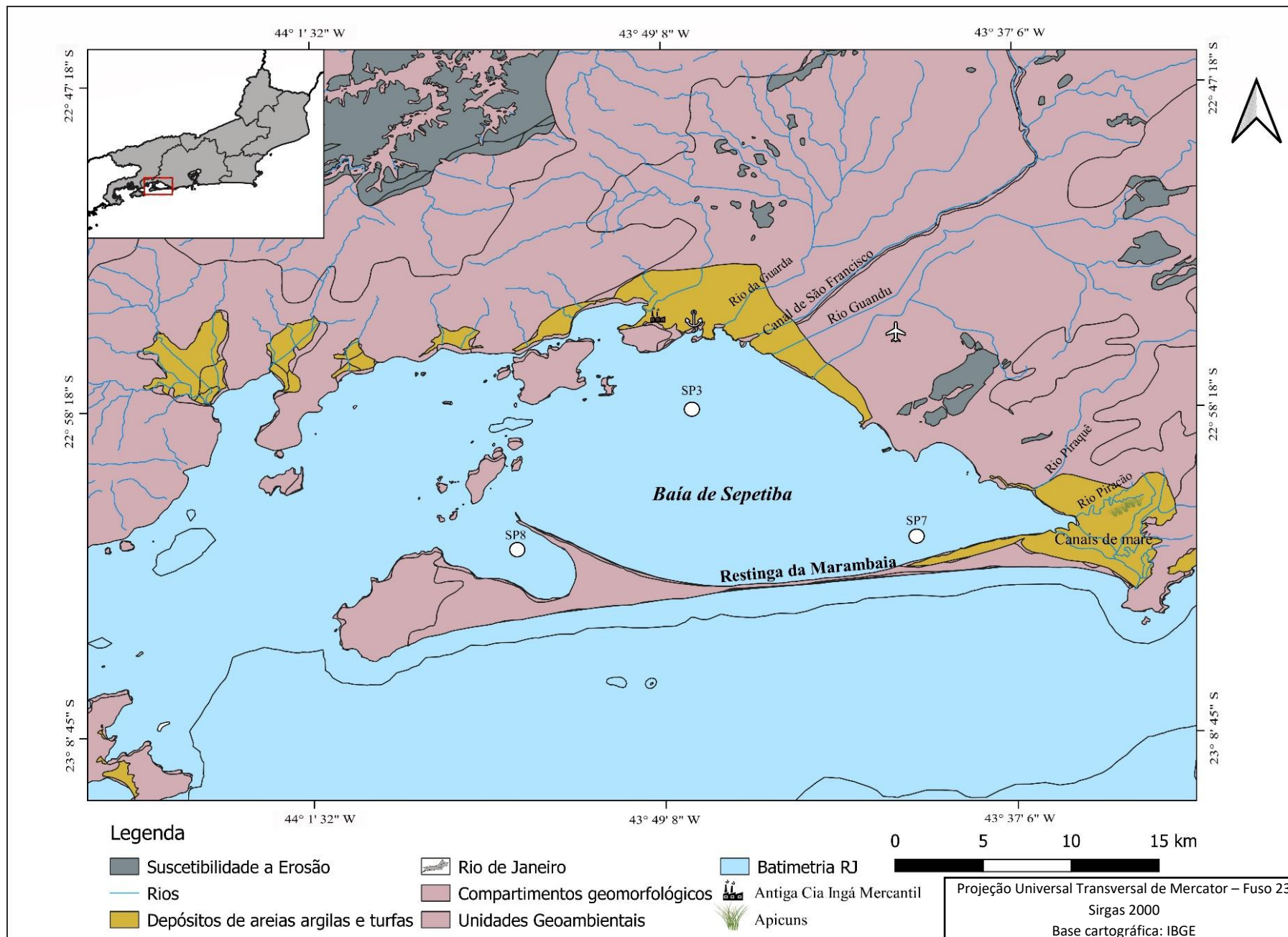
2. ÁREA DE ESTUDO

A Baía de Sepetiba localiza-se nas proximidades do principal eixo econômico brasileiro (Rio – São Paulo), entre as latitudes 22°53' e 23°05' S e longitudes 44°01' e 43°33" O, cerca de 50 km a oeste da cidade do Rio de Janeiro (Figura 1). Limitada ao Norte pelo embasamento rochoso da Serra do Mar, ao Leste pelo Morro da Marambaia - onde possui um contato restrito com o oceano a partir de pequenos canais adjacentes à planície de maré do mangue de Guaratiba, ao Sul, pela restinga de Marambaia e a oeste, por um cordão de ilhas migmatíticas. O contato com o oceano ocorre mais fortemente pelo setor oeste, entre as ilhas de Itacuruçá e Jaguanum. Uma outra área de ligação com o oceano é feita pelo canal de maré da Barra de Guaratiba, no limite leste da restinga. Esta para além de constituir uma fronteira entre o manguezal e o oceano (Brönnimann *et al.*, 1981; Muehe *et al.*, 2006; Dourado *et al.*, 2012) (Figura 1), também a protege da atuação direta das forçantes oceanográficas.

A Baía de Sepetiba compreende um corpo d'água de forma semi-elipsoidal com cerca de 300Km², semifechada Sul por um cordão litorâneo, denominada de Restinga da Marambaia, que a separa do contato direto com o Atlântico e a protege das ações diretas das ondas (Pereira *et al.*, 2004) (Figura 1). Esta barreira é formada, em grande parte, por sedimentos quaternários, arenosos e areno-lamosos.

Aliados ao contato da Baía de Sepetiba com o Atlântico, a forte presença da Serra do Mar e seus efeitos orográficos circundantes conferem à região a possibilidade de ter um microclima com características marcantes, como por exemplo, variações de pluviosidade ocorrendo a pequenas distâncias. De forma geral, o clima atual da região está caracterizado como quente-úmido, com regime de chuvas presente mais fortemente nos meses de verão (Dezembro a Março, com janeiro sendo o mês mais chuvoso) e menor precipitação nos meses de inverno (Junho a Agosto, com Julho sendo o período mais seco), com precipitação média entre 1.200 e 2.500 mm/ano (Lacerda *et al.*, 2001, SEMADS, 2001).

Graças à configuração geomorfológica da área e à proximidade com o oceano, são predominantes os ventos do Quadrante Sul (S) e Oeste-Sudoeste (OSO) e, secundariamente, os que adentram os quadrantes Norte-Nordeste (NNE) e Este-Nordeste (ENE). A velocidade média estimada dos ventos varia entre 1,5 e 5,0 m/s, na Base Aérea de Santa Cruz (SEMADS, 2001).



2.1. GEOLOGIA REGIONAL

Ao longo do litoral sudeste do Brasil ocorre a presença de diversos riftes litorâneos, onde estão inseridos os Grábens da Barra de São João, Guanabara, Ubatuba, Santos, Ribeira do Iguape, Cananéia e Paranaguá (Zalán & Oliveira, 2005), sendo o Gráben da Guanabara o mais importante. Essa relevância está relacionada com a sua extensão, a qual comporta toda a área de estudo, e por estar associado à gênese das morfologias que hoje encontramos na porção oeste do litoral do Rio de Janeiro.

A área de extensão do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), é composta por diversas bacias interiores, como é o caso da Bacia de São Paulo, Taubaté, Resende e Itaboraí, formadas por atividades de reativação neotectônicas que tiveram início no Cretáceo e deram origem ao *Rifte da Guanabara* – como foi inicialmente designado por Almeida (1976). Atualmente, este rifte é conhecido como Gráben da Guanabara, e tem sua formação relacionada a processos de extensão e compressão pós-rift iniciados no Paleógeno e que se estenderam até o Neógeno, passando por fases de fraturamento e deposição de sedimentos (Riccomini *et al.*, 2000; Ferrari, 2001; Silva *et al.*, 2001; Zalán & Oliveira, 2005). Este rifte está localizado dentro do Segmento Oriental da compartimentação feita por Riccomini *et al.* (2000) para o RCSB, que por vez também engloba o Gráben de Barra de São João (na região submersa entre Búzios e Macaé, RJ).

O Gráben da Guanabara (como “*Rifte da Guanabara*”) é uma depressão (Ruellan, 1944; Almeida, 1976) que se estende por uma área de cerca de 200 Km, entre Barra de São João no litoral nordeste do estado do Rio de Janeiro e a Baía de Sepetiba na porção oeste do mesmo. Circundada pela Serra do Mar ao norte, a região possui camadas restritas e finas de sedimentos no seu interior e apresenta cotas de até 1000 m de altitude na elevação da borda sul do depocentro, porção esta que compreende os maciços litorâneos.

Ferrari (1990) acrescenta que na porção central do gráben as maiores cotas atingem 1000 m no maciço alcalino, no entanto, a média não ultrapassa os 100 m de altitude. A partir da análise de bacias da porção ocidental (Bacia do Macacu e de São José de Itaboraí), de maciços alcalinos, da estrutura de discos, entre outras que compõem o Gráben da Guanabara, Ferrari (2001) deduziu que as paleotensões ocorreram nessa porção do sudeste, entre o Cretáceo Superior e o Holoceno.

Mais tarde, o Gráben da Guanabara foi subdividido por Zalán & Oliveira (2005), em três (03) porções, os sub-grábens da Baía, Guandu-Sepetiba e o sub-gráben de Paraty (Figura 2), separados pela Zona de Transferência Tinguá-Tijuca e pelo conjunto de ilhas migmatíticas que separa a Baía de Sepetiba da Baía de Ilha Grande. No entanto, apesar da área de estudo estar englobada no Gráben da Guanabara, regionalmente, ela é melhor representada pelo Sub-Graben Guandu-Sepetiba (Zalan, 2004).

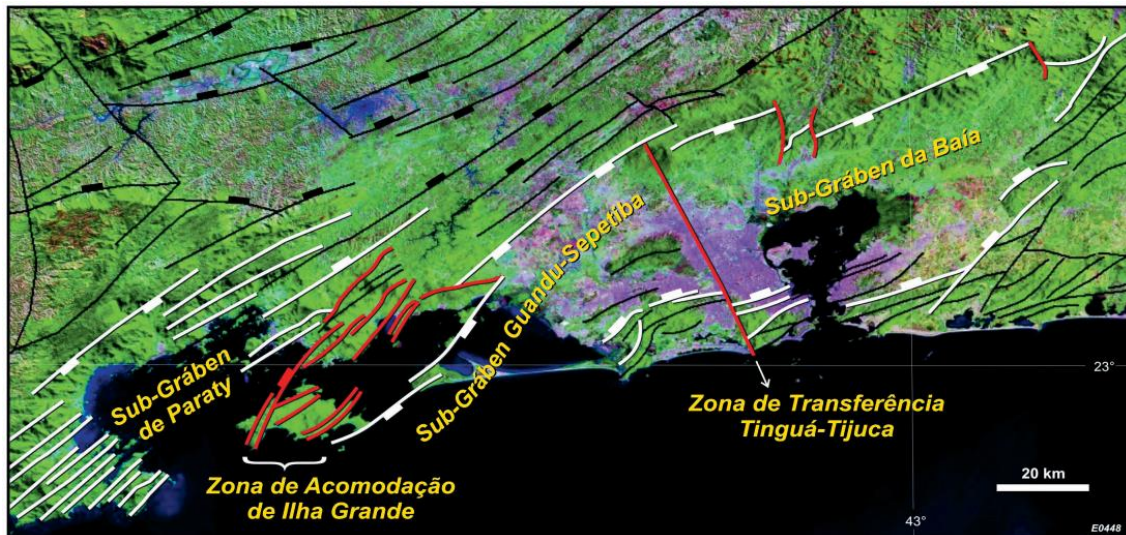


Figura 2: Imagem de satélite com a demonstração da delimitação estrutural das subdivisões do Gráben da Guanabara em sub-grabens, determinados por Zalán (2004) e suas zonas divisórias indicadas em vermelho.

A área do SGGS é delimitada por duas grandes estruturas rúpteis, conhecidas por Sistema de Falhas de Transferência e de Borda, as quais sofreram reativação e constituem o principal evento tectônico ocorrido no Cenozóico.

Segundo Misumi *et al.* (2014), a Bacia Hidrográfica do Rio Guandu é parte integrante da Bacia de Sepetiba, cuja área apresenta cerca de 2000 km², abrange diversos municípios fluminenses e corresponde a uma das bacias interiores que compõe o então conhecido Sub-Gráben Guandu-Sepetiba (Figura 2).

A bacia compreende rochas pré-cambrianas, como migmatitos, gnaisses e gnaisses-granitóides do Terreno Paraíba do Sul, além de rochas alcalinas, os maciços Tinguá, maciços costeiros da Ilha da Marambaia, Pedra Branca e Mendanha, diques cretáceos, depósitos quaternários fluviais e fluviomarinheiros entrecortados por rios que desaguam na Baía de Sepetiba (Misumi *et al.*, 2014; Rodrigues *et al* 2018).

Segundo o mapa geológico do estado do Rio de Janeiro, desenvolvido por Silva *et al* (2001) e divulgado pela CPRM a Bacia hidrográfica do Rio Guandu além de atravessar depósitos fluvio-lagunares é recortada ao meio por duas unidades litoestratigráficas: a faixa norte da Unidade Duas Barras, com direção NE-SW de composição tonalítica a trondhjemítica, e pelo Complexo Rio Negro, composto por gnaiss biotítico bandado. Esta última, com idade Neoproterozóica associada ao Arco Magmático Rio Negro, evolui para um tipo mais homogêneo identificado como gnaiss granítico (Figura 4).

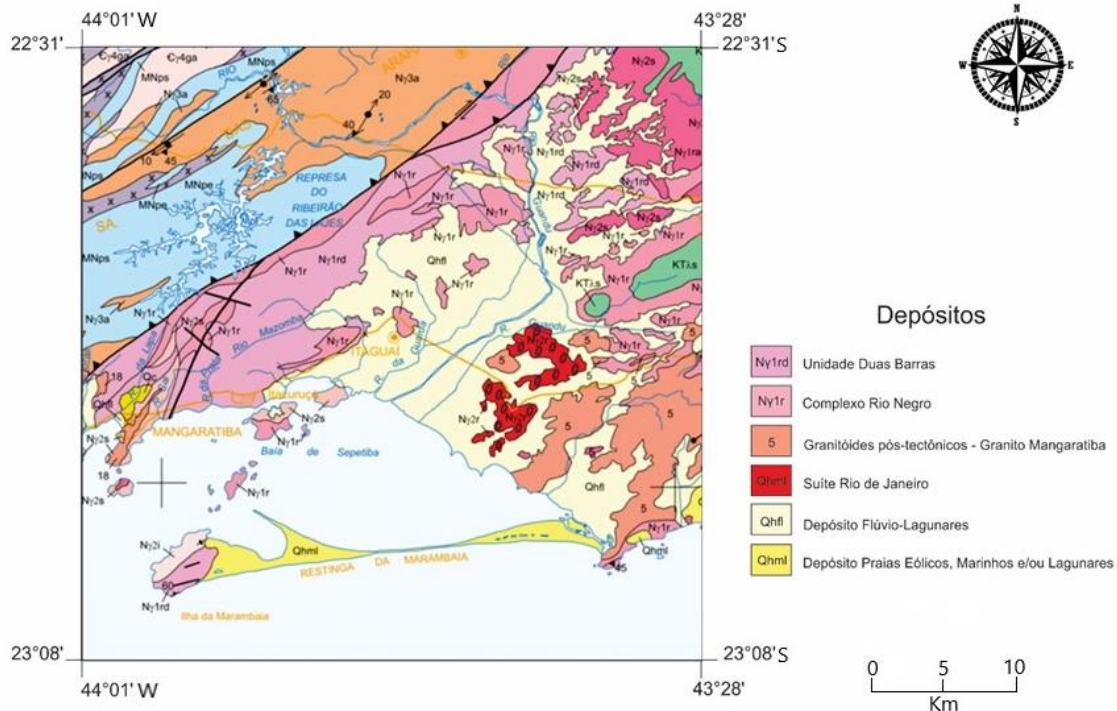


Figura 4: Mapa geológico da área que compõe a Bacia do Rio Guandu. Modificado do Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro (Silva *et al.*, 2001).

Ao se falar de variações ocorridas ao longo da evolução do sistema litorâneo costeiro, é importante também, fazer uma síntese da composição da bacia sedimentar adjacente.

Para Zalán & Oliveira (2005), o Rifte litorâneo condicionou a presença de areias Meso-Eocênicas na Bacia de Santos. Chang *et al.* (2008) por sua vez, ressalta que a seção neógena da Bacia de Santos é bem marcada por duas discordâncias: Oligoceno Inferior a Médio e Mioceno Médio. No Eoceno, instalou-se um sistema de mar baixo com cunhas progradantes e *onlap* costeiro, propiciando a formação de importantes reservatórios turbidíticos na base destas cunhas. Em geral, a seção neógena da bacia é composta por fandeltas nas porções proximais, passando para plataformas carbonáticas da Formação Sepetiba, e para depósitos de talude e de bacia profunda da Formação Marambaia (Pereira *et al.* 1986).

A Baía de Sepetiba recebe o mesmo nome da formação estratigráfica que ocorre na porção marinha (pacote superior à Bacia de Santos) defronte dela, a Formação Sepetiba (citada anteriormente), que corresponde a uma sequência deposicional quaternária, constituída de areia cinza-esbranquiçada, com granulometria de grossa a fina, quartzosa, de plataforma carbonática que se encontra presente na porção marginal superior da Bacia de Santos, como descrita por Pereira & Feijó (1994) e Moreira *et al.* (2007).

A porção do Gráben que está sotoposta aos sedimentos da região de Sepetiba corresponde, segundo Brönnimann *et al.* (1981b), ao embasamento granito-gnáissico que

constitui a Serra do Mar adjacente à área. Sobre esta, as unidades litológicas da bacia da baía ocorrem em geral disseminadas entre si, com litologias de idade Proterozóica (Carelli *et al.*, 2011) e sedimentos Neógenos espalhados nas áreas de baixada.

Os sedimentos de fundo da Baía de Sepetiba foram alvo de diversos estudos. Refere-se a título de exemplo os trabalhos realizados por Borges (1990), Barcellos *et al.* (1997), Borges & Nittrouer (2016), Pereira (1998), Carelli *et al.* (2011), Roncarati & Carelli (2012) e Nascimento *et al.* (2013). Estes autores identificaram sedimentos arenosos na entrada e nos canais principais da baía, em áreas onde as correntes de fundo, possuem maior hidrodinamismo. Nesta região, o balanço sedimentar é fortemente controlado pela entrada de material externo.

De acordo com Barcellos *et al.* (1997), o processo de sedimentação da Baía de Sepetiba é regido pela mistura de material fluvial, predominante na baía, com material transportado através da deriva litorânea. A maior espessura sedimentar ocorre principalmente na região leste, sendo constituída principalmente por sedimentos marinhos e continentais, observados mais expressivamente nos depósitos da porção ocidental da mesma.

Pereira *et al.* (2012) descrevem a presença de sedimentos mais finos (lamas), a partir da porção central em direção à área mais rasa e confinada da baía. Os sedimentos finos acumulam-se nesta região devido à fraca intensidade das correntes e proximidade das fontes continentais. Os sedimentos arenosos, que se encontram na porção SE, próxima à restinga, poderão também ser provenientes da ação eólica, a partir de sedimentos das dunas da restinga. A distribuição de lamas, nas proximidades da Ponta da Pombeba, está associada ao giro da circulação local. As correntes que contornam a baía passam pela desembocadura dos rios, transportando materiais finos introduzidos pela rede fluvial neste sistema e depositam esses sedimentos mais finos na região S-SW da baía.

Em síntese, a entrada do material sedimentar que compõem os pacotes estratigráficos distribuídos na área da Baía de Sepetiba representa, de certa forma, o balanço entre a descarga dos rios que erodem/lavam a porção emersa do sub-gráben Guandu-Sepetiba e oceânicos introduzidos pelas correntes litorâneas neste sistema. As variações ocorridas no nível do mar, ao longo do Quaternário, e, particularmente, no Holoceno tardio tiveram uma influência marcante na constituição da cobertura sedimentar desta baía.

2.2. HIDROGRAFIA E HIDRODINÂMICA

Os estudos descritivos e de padrões de circulação e hidrodinâmica que regem a Baía de Sepetiba ainda são escassos atualmente. Se restringindo principalmente a artigos descritivos de séries e modelagens numérica.

No entanto é bem conhecido atualmente que a Baía de Sepetiba é fortemente influenciada pela descarga fluvial e de canais adjacentes, pela conexão com o mar, pelo tipo de circulação e pelo padrão de ventos na região (Fragoso, 1999; Hamacher, 2001). Em comparação a Baía de Ilha Grande, sua vizinha nesse sistema, a influência de maré é bem mais intensa que em Ilha Grande (Fragoso, 1999).

A bacia hidrográfica do Rio Guandu, um dos principais rios que deságuam na Baía de Sepetiba, está dividida em três sub-bacias: rio Guandu, rio da Guarda e rio Guandu-Mirim, representando cerca de 70% da área total da bacia que flui para a Baía de Sepetiba (SEMADS, 2001; Misumi *et al.*, 2014). O Rio Guandu apresenta a vazão média, a longo prazo, de cerca de 22 m³/s para o interior da baía, contribuindo fortemente para a entrada de água doce no corpo da bacia, segundo dados registrados no PARH Guandu (Plano de Ação de Recursos Hídricos do Rio Guandu, 2010), havendo variações sazonais nos valores de vazão de acordo com a precipitação. Os maiores valores de vazão média registram-se a partir de novembro, atingindo o seu pico máximo em janeiro (verão) com 42,1 m³/s.

A circulação na Baía de Sepetiba é controlada pelas interações das ações da maré e vento, sendo a maré o principal mecanismo de geração de correntes. As correntes que adentram a baía são fortemente controladas pela entrada e saída das massas d'água, associadas aos processos de enchente e vazante da maré, sendo estes processos mais intensos na conexão com a região oceânica situada a oeste da restinga da Marambaia. No entanto a troca de águas com o oceano adjacente é mais restrita, graças a presença da Restinga da Marambaia (Fragoso, 1999; Cunha *et al.*, 2001). Signorini (1980) afirma que o sinal de maré nas correntes da baía é bastante marcado e forte, ficando com velocidades máxima na casa de 1m/s.

Além do padrão de curso das correntes ocorrerem predominantemente no sentido horário no corpo da baía, a região apresenta diversos pontos de baixo gradiente de profundidade da lâmina de água, com profundidades variando de 2 a 8 m, fator esse que corrobora com a presença de características assimétricas aos movimentos de entrada e saída da água (Cunha *et al.*, 2001, Copeland *et al.*, 2003 e Duque *et al.*, 2008). Já os ventos que predominam nessa região são advindos dos quadrantes S/SO, sendo os mais frequentes e com maiores velocidades médias entre 3 a 5 m/s (Signorini,1980; Borges, 1990; Fragoso, 1995, 1999).

3. ESTUDO DOS FORAMINÍFEROS NA BAÍA DE SEPETIBA

Atualmente poucos são os estudos sobre ecologia e paleoecologia de foraminíferos na Baía de Sepetiba. No entanto, a título de caracterização do ambiente com base no levantamento da fauna do interior da baía, podem ser mencionados os estudos efetuados por Tinoco (1966), Suguio *et al.* (1979), Brönnimann *et al.* (1981 a) e Dias-Brito *et al.* (1988).

Com base nas assembleias de foraminíferos Brönnimann *et al.* (1981b), realizaram a análise detalhada das zonas de manguezal e definiram as biofácies de canais de maré da região. Por sua vez Zaninetti *et al.* (1977) e Laut (2003) estudaram a distribuição das assembleias deste mesmo grupo, associadas às variações dos parâmetros físico-químicos no ambiente de manguezal.

Alguns estudos, como de Tinoco (1966), Zaninetti *et al.* (1976; 1977), Martin *et al.* (199, 2003), Laut *et al.* (2006), Silva *et al.*, (2006), Laut & Rodrigues (2011), Laut *et al.* (2012), Pereira *et al.* (2012), Pinto *et al.* (2016, 2017), visaram a aplicação de foraminíferos à reconstituição paleoambiental recente da baía de Sepetiba e ao estudo dos processos de Variação do Nível Relativo do Mar na região.

Ao fazer o levantamento da microfauna da Baía de Sepetiba Tinoco (1996) considerou que a fauna de foraminíferos era pouco diversificada, devido às características de amplo gradiente de mudanças físico-químicas. Referiu que os principais taxa eram *Ammonia tepida* (referida como *Ammonia beccarii*), *Bulimella elegantissima* e *Criboelphidium/Elphidium* spp (referido apenas como *Elphidium* sp.).

Suguio *et al.* (1979), visando ampliar o conhecimento sobre os processos de evolução costeira da região de Sepetiba e áreas adjacentes, realizaram um estudo das assembleias de foraminíferos e diatomáceas na região. Estes autores pretendiam compreender a distribuição destas comunidades, e como elas registram as variações ambientais ocorridas na área. Tendo em vista esses objetivos analisaram 92 amostras de sedimentos superficiais e encontraram uma densidade de foraminíferos reduzida.

Brönnimann *et al.* (1981a; 1981b), por sua vez, analisaram o complexo Sepetiba/Guaratiba como um todo, indo desde a comunidade de foraminíferos presentes ao longo da Baía de Sepetiba até as residentes na planície de maré de Guaratiba, analisando assim um total de 176 e 76 amostras, respectivamente (material cedido pela Petrobrás e posteriormente também analisado por outros pesquisadores, como Moura *et al.*, (1982); Dias-Brito *et al.*, (1988).

O estudo referente ao levantamento feito na baía de Sepetiba (Brönnimann *et al.*, 1981a) permitiu a identificação de 180 espécies de foraminíferos bentônicos e a compreensão da sua interação com variações dos fatores físico-químicos na área. Neste trabalho os autores optaram por não fazer a distinção entre assembleias vivas e mortas de foraminíferos, analisando assim o conteúdo total. Com base nestes dados (Brönnimann *et al.*, 1981a) compartimentaram a baía em quatro ambientes, de acordo com os parâmetros físico-químicos: *Mar normal*, *Laguna Marinha Normal*, *Laguna Mista Mixo-euhalina A* (mais próxima à desembocadura de vários rios na porção NE da baía de Sepetiba) e *Laguna Mista Mixo-euhalina B*, mais próxima ao manguezal/canais de maré (Figura 1). Nesta caracterização os autores verificaram que os miliolídeos marinhos apresentaram carapaça (testas) com maiores dimensões e paredes mais espessas, enquanto os espécimes de ambientes lagunares possuíam tamanhos mais reduzidos (nanismo) e paredes mais finas.

A espécie identificada como *Rolshausenia rolshauseni*, atualmente conhecido como *Ammonia rolshauseni* (Cushman & Bermúdez, 1946), foi considerada por Brönnimann *et al.* (1981a) como uma das mais frequentes na porção mais externa da baía, denominada de Mar Normal. Também foram identificadas espécies como *Buccella frigida*, *Bulimina marginata*, e representantes do Gênero *Textularia*. As duas primeiras estendiam a sua distribuição até à porção Laguna Marinha Normal. De acordo com Brönnimann *et al.* (1981a), a espécie *Caronia exilis* (Cushman & Brönnimann, 1948) era mais frequente na porção NE baía, nas proximidades da planície de maré, reduzindo em direção ao mar aberto.

Um aspecto interessante do trabalho de Brönnimann *et al.* (1981a) foi a análise da relação das sub-ordens Rotaliina, Miliolina e Textulariina com a granulometria dos sedimentos. Os referidos autores observaram que a sub-ordem Rotallina tende a ser mais abundante na lama, enquanto a Miliolina atinge frequências mais elevadas na areia. Os textulariídeos por sua vez são mais abundantes na lama arenosa.

Nas 76 amostras recolhidas no manguezal de Guaratiba, Brönnimann *et al.* (1981b) identificaram 57 espécies de foraminíferos bentônicos, distribuídas em função de gradientes de salinidade. Dias-Brito *et al.* (1988) mapearam e relacionaram dados de foraminíferos e ostracodes, tendo reconhecido sete biofácies (Figura 4).

Laut *et al.* (2003) relata a riqueza abundante de espécies de foraminíferos identificadas no complexo Sepetiba/Guaratiba, ao fazer um estudo revisor dos trabalhos anteriores desenvolvidos na região, onde os autores relatam que o levantamento indicou a presença de 270 espécies compondo as assembleias revisadas, distribuídas entre a área dos canais de maré e o interior da baía, e que na sua maioria consistem em trabalhos académicos de pouca abrangência científica.

Recentemente os estudos com foraminíferos na região tem ganhado um novo e importante enfoque, sido desenvolvidos sobre a optica da aplicabilidade desse grupo no

monitoramento dos níveis de poluição, tendo em vista os impactos advindos de fontes antrópicas e reportados em diversos outros nichos de pesquisa, é o caso dos desenvolvidos por Pinto *et al.* (2019), que utilizou análises entre foraminíferos e elementos geoquímicos em testemunhos para desenvolver níveis de *background* regionais em sedimento não poluídos da região e Alves Martins *et al.* (2019), que analisou um testemunho na porção interna da baía com o objetivo de analisar as consequências da eutrofização sobre os foraminíferos.

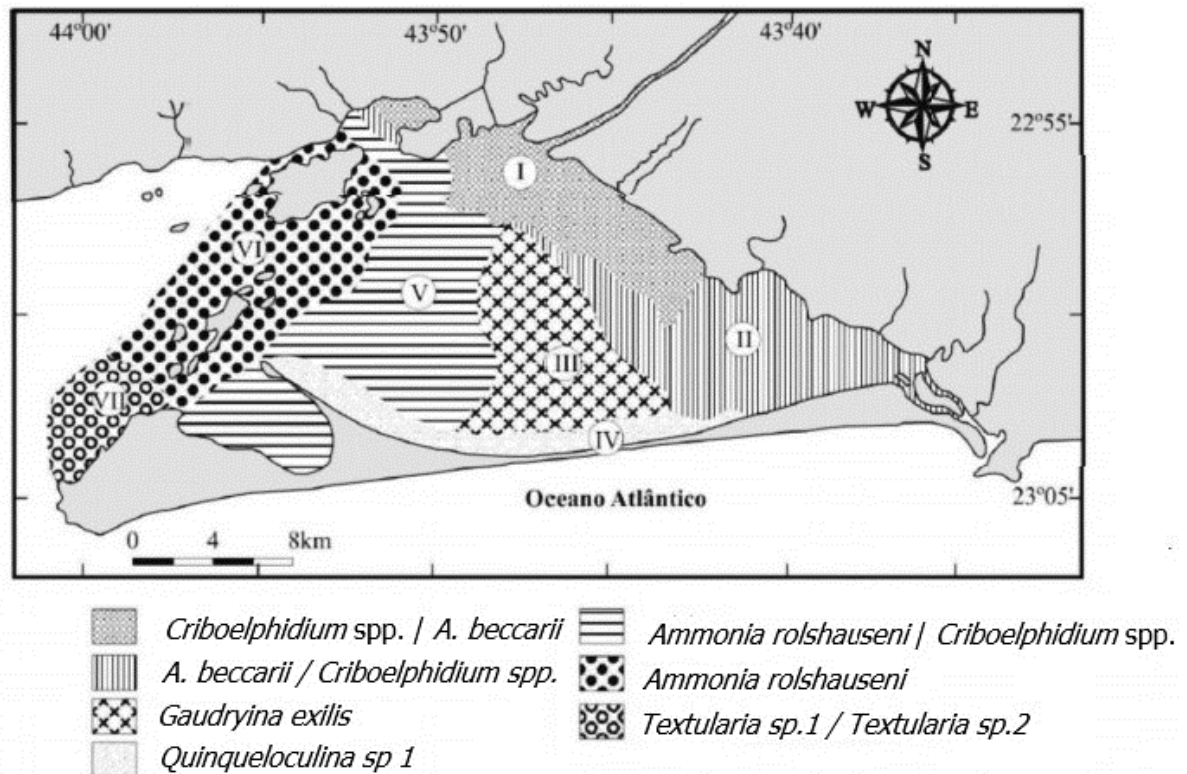


Figura 2: Distribuição das biofácies identificadas por Dias-Brito (1988) para a Baía de Sepetiba.

Fonte: Imagem modificada por Anita Pinto em sua tese de doutorado, 2017.

4. FORAMINÍFEROS

Foraminíferos representam um dos mais importantes grupos de organismos marinhos, pertencentes ao Reino Protista. Os integrantes deste filo são encontrados ao longo de todos os ambientes marinhos, podendo ter forma de vida tanto planctônica quanto bentônica e suas formas de vida datam no tempo geológico desde o Cambriano inferior até o Presente, tendo atingido seu auge durante o Cenozóico.

São seres eucariontes amplamente conhecidos e distribuídos nos mais diversos ambientes marinhos e transicionais, correspondendo a um dos melhores provedores de registros fósseis conhecidos e aplicados a estudos de sequências marinhas (Howell & Dunn, 1942; Gooday, 2001; Laprida & Bertels-Psotka, 2003; Armstrong e Brasier, 2005; Martins *et al.*, 2007; Gooday & Jorissen, 2012; Binczewska *et al.*, 2015).

Devido à sua diversidade, elevada abundância, rápidas respostas às variações do ambiente e facilidade em serem obtidos, este grupo é considerado um importante indicador ambiental, encontrado desde rochas marinhas do Paleozóico inferior até sedimentos holocênicos atuais (Armstrong & Brasier, 2005).

Tendo sido citados na literatura pela primeira vez no século V por *Herodotus*, que notou a presença de Nommulite (gênero de foraminíferos de grandes dimensões, variando de 1,3 cm a cerca de 2 cm) como formas encontradas fixadas às rochas usadas nas construções das paredes das pirâmides do Egito antigo. No entanto, o grupo dos foraminíferos só veio a ser descrito em 1731 por Beccarius (Loeblich e Tappan, 1961).

Os foraminíferos são caracterizados por estarem encerrados em um exoesqueleto, designado por carapaça (ou “testa”). As formas modernas possuem em geral pequenas dimensões, variando em média entre 0,2 e 1,5 mm. São formadas na maior parte dos ambientes a partir da segregação de carbonato de cálcio, feita pelo ectoplasma, na forma de câmaras de crescimento que comunicam umas com as outras através de orifícios, os forâmenes - dando o nome ao grupo. Por vezes as carapaças são constituídas pela aglutinação de partículas de sedimentos da área onde foram formadas, quando esta apresenta baixa disponibilidade CaCO_3 , sendo denominadas de formas aglutinantes (Loeblich e Tappan, 1961; Sen Gupta, 1999; Armstrong & Brasier, 2005).

Assim como alguns protozoários, boa parte dos foraminíferos apresenta repetição longitudinal (no padrão de formação por espécies que vivem em câmaras de carapaças multiloculares) ao longo de um eixo que compõem sua carapaça, sendo esse processo conhecido como metamerização (Barnes, 1980; Wilmer, 1990), restringindo ao interior desta o endoplasma.

As carapaças de foraminíferos são compostas por uma ou mais câmaras separadas por septos, que são desenvolvidas ao longo das mudanças ontogenéticas destes, ocorrendo de forma contínua ou periódica. Com base na arquitetura das testas é possível organizá-las em dois grupos: Uniloculares e Multiloculares (Figura 5) (Seyve, 1990; Gooday, 2001; Goldstein, 2002; Armstrong & Brasier, 2005, Petró, 2018).

- *Carapaça unilocular*: O crescimento da carapaça ocorre de maneira contínua, formando uma única câmara. Compreendem as formas predominantes durante o Paleozóico. No entanto, apesar de hoje serem menos abundantes, espécies com testas uniloculares ainda são encontradas.

- *Carapaça multilocular ou multicameral*: O desenvolvimento desse tipo de carapaça ocorre de forma periódica e contínua por toda a vida do organismo, resultando na formação de diversas câmaras, cada uma maior que a precedente, a fim de dar abrigo ao corpo (protoplasma) do animal de acordo com o seu desenvolvimento. O crescimento protoplasmático ocorre de forma gradual e o desenvolvimento da testa de forma periódica. A abertura, permite o contacto da célula com o exterior, pode ser *simples* (condição mais comumente encontrada atualmente, presente tanto nas formas plantônicas como em pequenos foraminíferos bentônicos) ou *complexa* (com múltiplas aberturas, sendo mais comuns em foraminíferos bentônicos maiores, que possuem fotossimbiontes).

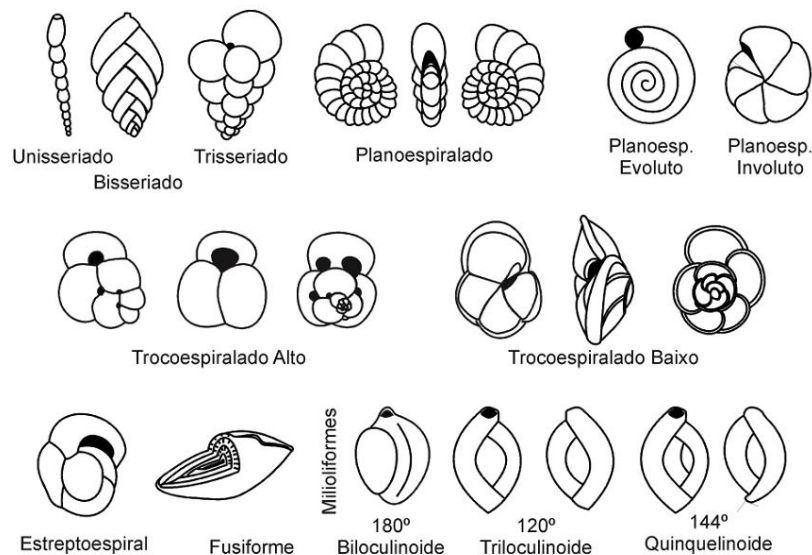


Figura 3: Principais tipos de arquitetura de testas de foraminíferos (Petró, 2018).

4.1. Habitat

Segundo Loeblich e Tappan (1964), o grupo dos foraminíferos consiste em organismos aquáticos, predominantemente marinhos, com alguns representantes tolerantes à variação de salinidade, vivendo tanto em água salobra quanto marinha.

A maioria dos seus representantes é bentônica, vivendo desde áreas mais rasas até grandes profundidades. Alguns são de vida livre e se deslocam sobre substratos do tipo arenoso ou cascalho, onde seus pseudópodes podem se agarrar às partículas ou ainda sobre a superfície de algas. Há também espécies que fixam seus corpos permanentemente ou temporariamente sobre outros organismos como moluscos, por exemplo, podendo ser encontrados até em restos desses organismos. Representantes desse grupo são encontrados em todas as latitudes.

Loeblich e Tappan (1964) afirmam também que a distribuição desse grupo está relacionada diretamente à temperatura, sendo este um fator importante tanto para a reprodução quanto para existência de certas espécies, já que algumas toleram temperaturas que vão desde o ponto próximo ao congelamento até os 34°C.

4.1.1. Foraminíferos bentônicos

A ocorrência e distribuição de espécies bentônicas são controladas em grande parte por características hidrodinâmicas e químicas (como salinidade e elementos disponíveis na água), biológicas (disponibilidade de alimento, parasitismo e predação) e físicas (luminosidade, temperatura e profundidade) do ambiente. Além disso, espécies bentônicas têm por característica a sensibilidade às variações sazonais sendo mais fortemente influenciadas do que as planctônicas.

No caso de ambientes mais confinados, como lagunas, é possível encontrar assembleias mais distintas, assim como no caso da fauna de um ambiente deltaico, que mesmo com rápida sedimentação ao longo de sua extensão apresenta uma fauna característica, semelhante por uma área geográfica ampla, ainda que esta apresente diferentes gradientes de salinidade (Loeblich & Tappan, 1964).

Capítulo 5

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O material analisado neste trabalho faz parte de um projeto mais amplo que investiga a evolução holocênica da Baía de Sepetiba. Nele, está compreendido o estudo de três testemunhos, nomeados segundo a sequência de estudo no Laboratório de Micropaleontologia da UERJ (Figura 7):

- testemunho SP3: com 140 cm de comprimento, coletado na porção central da Baía de Sepetiba (22°58'55.0"S 43°47'55.7"W – WGS84; UTM -22.98194444/-43.79880555, Z23; SIRGAS2000) em aproximadamente 2m de profundidade;
- testemunho SP7: com 108 cm de recuperação, coletado na porção leste da baía (23°158.296"S e 43°41'45.816"W – WGS84; UTM - 23.03286035, - 43.69606018 - SIRGAS2000) em aproximadamente 1,1 m de profundidade,;
- testemunho SP8: com 180 cm de comprimento, coletado próximo da Ponta da Pombeba (23°02'57.369"S e 43°54'14.810"W – WGS84; UTM -23.04926918,-43.90411377 - SIRGAS2000) entorno de 2,2 m de profundidade.

Os testemunhos foram coletados por mergulhadores (Figura 6) através do método de percussão à pistão utilizando tubos de PVC. As campanhas de amostragem ocorreram no âmbito dos projetos:

1. “Investigação dos padrões de circulação e de transporte de sedimentos na margem norte da restinga da Marambaia (Baía de Sepetiba, RJ).” - realizado em junho de 2015 pelo grupo de pesquisa da Prof. Dra. Josefa Varela Guerra;
2. “Estudo de mudanças naturais e antrópicas durante o Quaternário, na Baía de Sepetiba, sudeste brasileiro”, sob a coordenação da Professora Doutora Maria Antonieta da Conceição Rodrigues (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa (FAPERJ) do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

Após a coleta, os testemunhos foram fechados cuidadosamente com tampa plástica, vedados com fita do tipo *silver tape*, devidamente identificados e encaminhados para os Laboratório de Oceanografia Geológica e de Micropaleontologia da UERJ.

Em laboratório, os três testemunhos (SP3, SP7 e SP8) foram abertos, descritos, e amostrados de 2 em 2 cm. As amostras obtidas foram acondicionadas em beakers devidamente identificados, e foram secas em estufa a ~50°C.

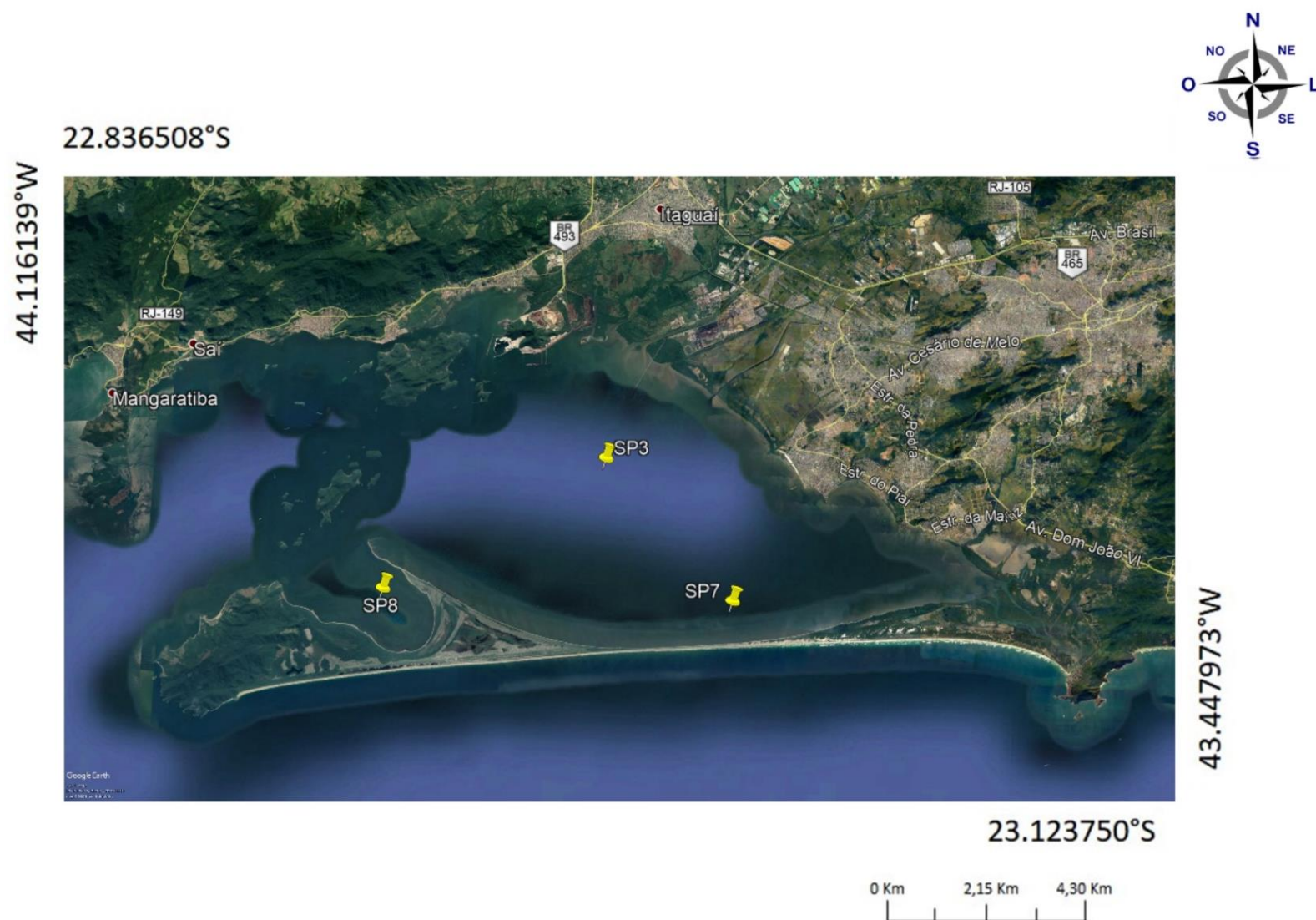


Figura 4: Localização dos testemunhos na área de estudo (Adaptado do Google Earth 2020).



Figura: 5: Etapas de obtenção dos testemunhos na Baía de Sepetiba. Fotografias cedidas por Tatiana Dadalto.

5.1. Análises texturais

Para a análise da granulometria, foram separados cerca de 15 g de sedimento total por amostra (Figura 10 – A). A fração fina foi separada da areia por via úmida usando-se uma peneira de 63 μm . Em seguida as duas frações foram secas e pesadas. A fração $>63 \mu\text{m}$, de cada amostra, foi transferida para um jogo de peneiras (125 μm , 250 μm , 500 μm). Após a separação, o sedimento contido em cada peneira foi pesado para determinação da percentagem de cada fracção sedimentar, tendo a categorização textural posteriormente realizada com base na classificação de Folk e Ward (1957).

5.2. Mineralogia dos Sedimentos

A mineralogia foi efetuada na fração sedimentar silto-argilosa ($<63\mu\text{m}$), no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro (Portugal). Cerca de 3g de fração fina dos sedimentos foram desagregados cuidadosamente com auxílio de almofariz de ágata e acondicionados em sacos zip lock.

A composição mineral do sedimento foi determinada por métodos de difração de raios X (DRX), com auxílio de difratômetro (modelo Philips X'Pert PW3040/60 integrado a um gerador PW1130/90 um *diffractometer control* PW 1710 e um registrador PM 8203A) (Figura 8), que fazem uso da radiação $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$), filtrada (filtro de Ni), segundo metodologia descrita por Martins *et al.* (2007). Para tal foi colocada uma montagem de pó não orientada num porta-amostras padrão de alumínio para análise no difratômetro.

Para a identificação dos minerais foram usadas as informações contidas no catálogo JCPDS (Committee for Powder Diffraction Standards Joint; Blanton *et al.*, 1995) que possui dados de mais de 2000 espécies de minerais usados como padrões. Semi quantificação dos minerais registrados em cada difratograma (Figura 9), foi efetuada de acordo com o método descrito por Martins *et al.* (2007). Este consiste em calcular os valores de área dos picos

máximos de cada espécie mineral identificada nos difratogramas pela divisão do poder refletor respectivo referido em Martins *et al.* (2007).



Figura 6: Difratômetro de Raio – X (DRX) do Departamento de Geociências, da Universidade de Aveiro (Portugal).

5.3. Teor de Matéria Orgânica e Carbonato de Cálcio

O primeiro passo executado foi a determinação do teor de matéria orgânica, sendo determinado em amostras com intervalos de 2 em 2 cm, a partir da perda de peso do sedimento total seco, após este ter sido sujeito a tratamento químico com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 20%, em chapa aquecida até 60°C, seguido por sequentes lavagens, secagens e pesagens do sedimento sem matéria orgânica.

Em seguida, foi determinado o teor de carbonatos a partir de ataque com ácido clorídrico (HCl) a 10% por cerca de 1 hora, e lavagens intermediárias com água destilada. Novamente, o sedimento foi pesado para obtenção da fração livre de matéria orgânica e carbonatos (Krumbein & Pettijohn, 1938).

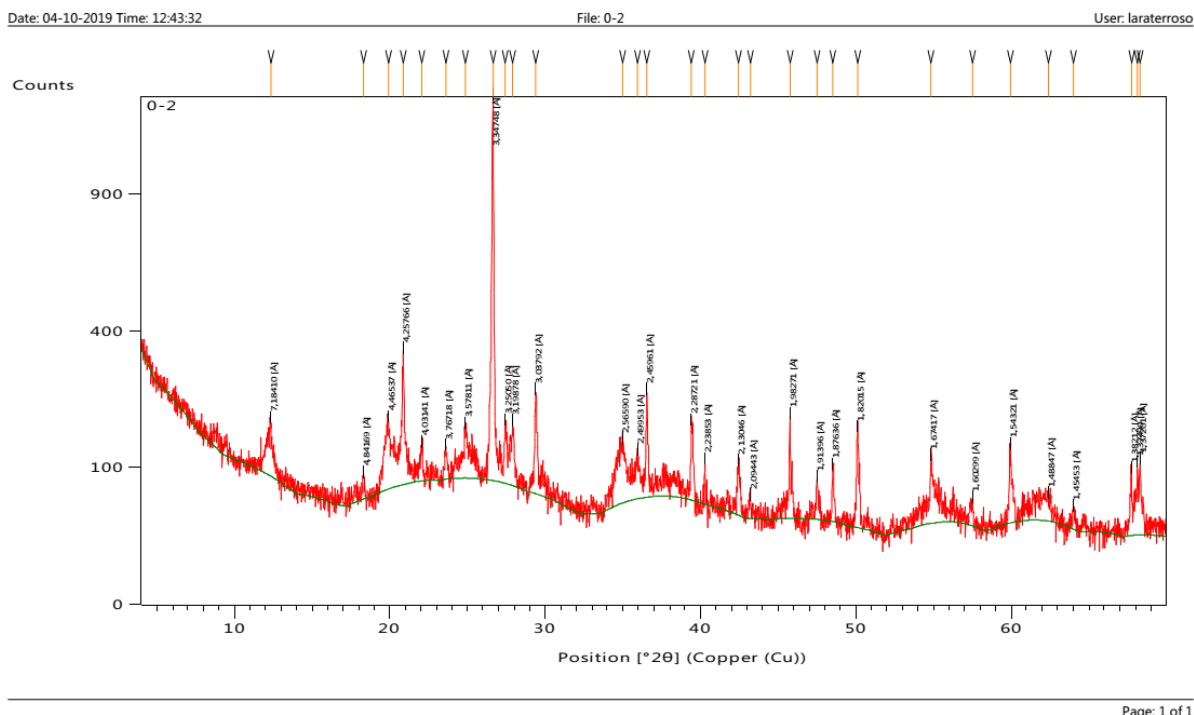


Figura 7: Exemplo de difratograma obtido com a análise mineralógica por DRX. Fonte: A própria autora, 2019.

5.4. Carbono Orgânico Total (TOC) e Enxofre Total (S_{Tot})

Nas amostras do testemunho SP3 foram efetuadas análises dos teores de Carbono Orgânico Total (TOC) e Enxofre Total (TS), com intervalos de 2 em 2 cm, no Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica (LGQM), da Faculdade de Geologia UERJ, com um LECO SC-632. Para tal foram separados cerca de 3g de sedimento total de cada amostra.

A preparação constou da maceração das amostras, com auxílio de gral, almofariz de ágata e peneiras de malha 125 µm, para garantir que o sedimento ficaria homogeneizado na dimensão ideal para a leitura pelo equipamento. Em seguida, foi realizado por duas vezes o processo de decarbonatação das amostras por meio ácido (ataque com HCL a 50%) por um período de 12 h, sendo entre eles lavadas com água destilada e seca em estufa a 60°C, a fim de eliminar todo o Carbonato de Cálcio (CaCO₃) existente no sedimento.

Após a decarbonatação, foram retiradas alíquotas de 10 mg de cada amostra e levadas ao equipamento aquecido a 1.350°C, para que fosse feita a combustão total do sedimento e assim estimados os teores totais de carbono orgânico e enxofre (TOC e TS).

A obtenção dos resultados consiste na detecção de gases de CO₂ e SO₂ pelo sensor de infravermelho presentes no aparelho LECO SC-632 e a comparação destes com amostras

padronizadas, as quais são inseridas no equipamento antes e depois do processo de combustão, com a finalidade de verificar a acurácia dos valores obtidos.

5.5 Análises de nitrogênio (N) e $\delta^{15}\text{N}$ sedimentar

Um total de vinte e cinco amostras de sedimento total (não acidificadas) foram selecionadas ao longo do testemunho SP3 e submetidas a análise elementar de nitrogênio total (N) e $\delta^{15}\text{N}$, usando um espectrômetro de massa do tipo MS Thermo Scientific Delta V Advantage Isotope Ratio (EA-IRMS), acoplado a um Analisador Elementar Costech, na Universidade de São Paulo. A relação C/N foi calculada considerando a relação entre TOC e N_{Tot} .

Os teores de TOC e TN foram expressos em porcentagens (%). A proporção em massa de carbono e nitrogênio foi obtida através da relação entre as proporções do padrão e das áreas correspondentes aos picos do padrão e da amostra:

$$\% \text{ amostra} = \left(\frac{\% \text{ padrão} \times \text{massa padrão}}{\text{área do padrão}} - 1 \right) \times \text{área da amostra}$$

5.6. Geoquímica elementar dos sedimentos

A análise da composição elementar dos sedimentos foi realizada por Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Induzido (ICP-MS), no laboratório Bureau Veritas LTDA, Vancouver, Canadá, segundo as normas de preparação do dito laboratório.

A preparação da amostra consistiu em macerar o sedimento total em um almofariz de ágata e peneirá-lo através de peneira com malha de 63 μm .

As análises com o ICP-MS foram efetuadas no testemunho SP3 após a digestão total das amostras por meio de ataque ácido sequencial, a saber:

1. HNO_3 – ác. nítrico (digestão da matéria orgânica)
2. HClO_4 – ác. perclórico (extração de metais e ligas metálicas)
3. HF – ác. fluorídrico (extração de silicatos)
4. HCl – ác. Clorídrico

Nos testemunhos SP7 e SP8, a análise geoquímica por ICP-MS foi efetuada após lixiviação ácida com digestão em água regia modificada (1: 1: 1 HNO_3 : HCl : H_2O), no referido laboratório.

5.7 Fatores de Enriquecimento de elementos químicos

Para examinar as variações ocorridas nos teores dos elementos geoquímicos obtidos no sedimento foi utilizado o Fator de Enriquecimento (FE), de acordo com a técnica indicada por Buat-Menard e Chesselet (1979), que consiste em realizar o cálculo das concentrações de cada elemento químico (Ag, Al, As, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, V, Y, Zn e Zr), em função do respectivo nível de base. Para esse cálculo foram aplicados os valores de baseline estimados por Pinto *et al.* (2019) em amostras de testemunhos datadas de um período anterior a influência do homem, na fórmula a seguir:

$$FE = \frac{\left(\frac{Cx}{Cn}\right) Environment}{\left(\frac{Cx}{Cn}\right) Baseline}$$

Sendo,

Cx: Concentração do elemento que deve ser determinado o enriquecimento

Cn: Concentração do elemento normalizador

Visando normalizar os teores dos elementos químicos e minimiza possíveis efeitos de tendência causados pela granulometria, foi utilizado o Sc como normalizador pois, segundo Alves Martins (2018), apesar de o Al ser amplamente utilizado como normalizador, a relação elemento/Sc, permite identificar diferenças nas composições não relacionadas ao tamanho dos sedimentos.

A classificação do fator de enriquecimento (Tabela 1) foi realizada segundo Sutherland (2000).

Tabela 1: Classificação do fator de enriquecimento (Sutherland, 2000).

Valor de EF	Classificação
EF < 2	Enriquecimento mínimo: Sugere nenhuma ou mínima contaminação.
2 < EF < 5	Enriquecimento moderado
5 < EF < 20	Enriquecimento significativo
20 < EF < 40	Enriquecimento elevado: Muito enriquecido indica alto nível de contaminação.
EF > 40	Enriquecimento extremamente elevado: Indica extrema contaminação do sedimento.

O Índice de Geoacumulação (Igeo) foi estimado pela equação (Müller, 1986):

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{B_n \times 1.5} \right]$$

onde C_n é a concentração do metal “n” na camada de sedimentos analisada e B_n é a concentração da linha de base do elemento. Os valores de I_{geo} foram classificados de acordo com as classes de contaminação de sedimentos (Tabela 2) definidas por Müller (1986).

Tabela 2: Classificação de sedimentos segundo o índice de geoacumulação de Müller (1986).

Valores de Igeo	Classe	Classificação
< 0	0	Não poluído
0-1	1	Não poluído à moderadamente poluído
1-2	2	Moderadamente poluído
2-3	3	Moderado a fortemente poluído
3-4	4	Fortemente poluído
4-5	5	Fortemente poluído à extremamente poluído
> 5	6	Extremamente poluído

O Índice de Poluição do Sedimento (Sediment Pollution Index, SPI) foi estimado de acordo com Singh *et al.* (2002) segundo a fórmula:

$$SPI = \frac{\sum (EF_m * W_m)}{\sum W_m}$$

onde EF: fator de enriquecimento do metal m na amostra; W: peso de toxicidade do metal m (isto é, Cr e Zn = 1, Ni e Cu = 2, Pb = 5). Os valores de SPI foram classificados nas categorias estabelecidas por Singh *et al.* (2002) (Tabela 3).

Tabela 3: Definições de SPI para classificar os sedimentos determinadas por Singh et al. (2002).

Classe	SPI	Classificação
SPI-0	0 – 2	Sedimentos Naturais
SPI-1	2 – 5	Sedimentos pouco poluído
SPI-2	5 – 10	Sedimentos moderadamente poluídos
SPI-3	10 – 20	Sedimentos altamente poluídos
SPI-4	> 20	Sedimentos extremamente poluídos/perigosos.

O índice de carga de poluição (Pollution Load Index, PLI) foi calculado com a equação proposta por Tomlinson *et al.* (1980):

$$PLI = \sqrt[n]{CF1 \cdot CF2 \cdot CF3 \cdot \dots \cdot CFn}$$

onde: CF é o fator de contaminação para cada metal e calculado como Cs/Cb (concentração no estrato/concentração do valor base). De acordo com Tomlinson *et al.* (1980), 0 indica condições naturais, 1 que apenas os níveis basais de poluentes estão presentes enquanto valores superiores a 1 indicam deterioração progressiva da qualidade ambiental.

5.8. Foraminíferos

As amostras para a triagem de foraminíferos foram preparadas, com intervalos de 2 em 2 cm, de acordo com o protocolo descrito por Murray (2006), que consiste em separar a úmido a fração sedimentar de interesse, com auxílio de pincel de cerdas macias e peneira de 63 μm , a fim de remover o excesso de finos. Uma vez separada, a fração areia de cada amostra é seca em estufa em temperatura $<50^{\circ}\text{C}$.

Após a secagem, o material de cada amostra foi peneirado (a seco) em peneiras com malhas de 125 e 500 μm (Figura 10 B), a fim de otimizar a triagem. As frações sedimentares de cada foram acondicionadas em contentores devidamente identificados, de acordo com o horizonte e fração amostrada. Foram triados e acondicionados em porta-foraminíferos os exemplares encontrados no sedimento, até à obtenção de idealmente 300 espécimes (Figura 10 - E a G). A densidade de espécimes foi determinada por grama de sedimento (número de espécimes/g) nos testemunhos SP7 e SP8 e por 10 mL de sedimento (número de espécimes/10 mL) no testemunho SP3.

Após a triagem foi efetuada a identificação a nível de gênero e, sempre que possível, a nível de espécie dos exemplares triados.



Figura 8: Etapas de tratamento das amostras. A – Amostras acondicionadas e etiquetadas por horizonte; B – Peneiras de lavagem a úmido, malhas 0,500 mm (500 μm) e 0,063 mm (63 μm); C – Balança analítica; D – Microscópio estereoscópio utilizado para triagem do material; E- Plaqueta quadriculada de triagem; F- Pincel de pelo de marta n.º 000, para separação e coleta dos espécimes; G – Lâmina quadriculada para armazenamento dos exemplares encontrados.

5.9. Determinação de Índices Ecológicos

Em amostras com mais de 100 espécimes de foraminíferos foram determinados índices ecológicos, tais como o índice de Shannon ('H), Equitabilidade ('J), dominância ('D) e Índice de Foram Stress (ISF), tal como descrito a seguir.

- Índice de Shannon-Wiener ('H)

O índice de Shannon é amplamente utilizado para estimar a riqueza das espécies presentes em uma dada amostra, através do cálculo abaixo:

$$H' = -\sum p_i * \ln p_i, \quad p_i = n_i/N$$

onde:

H'= Índice de Shannon- Wiener;

p_i= proporção de indivíduos da i-ésima espécie;

ln= logaritmo de base neperiano (e);

n_i= número de indivíduos amostrados para a espécie i;

N= número total de indivíduos amostrados.

- Equitabilidade (J')

Este índice condiz com a maneira pela qual, os indivíduos de uma dada análise estão distribuídos dentro de um número x de diferentes espécies, observadas nas amostras. A equitabilidade foi analisada de acordo com a seguinte equação (Magurran, 1988).

$$J' = H' / \ln S$$

onde,

H' – índice de Shannon; S: n° de espécies.

- Dominância (d')

O índice de dominância corresponde à razão entre o número de indivíduos de uma espécie e o número de indivíduos de todas as espécies presentes na amostra.

$$D' = \frac{N_a}{N_a + N_b + N_c \dots N_n} \times 100$$

onde,

Na: Número de indivíduos da espécie *a*

Na+Nb+Nc ...Nn: Número de indivíduos das espécies *a, b, c...n*.

- Índice de Foram Stress (ISF)

O Índice Foram Stress avalia a tolerância das espécies em relação à matéria orgânica: Onde “Sen = sensível” e “Str = tolerante ao estresse”. As categorias são: 1,0-2,0 (altamente poluído), 2,0-5,5 (moderadamente poluído), 5,5-9,0 (ligeiramente poluído) e 9,0-10,0 (normal / intocado). Se os valores forem zero, ele representa condições azóicas. O ISF é um índice relativamente simples e complementar, ao já conhecido IF (Índice Foram), desenvolvido por Dimiza *et al.* (2016) para reconhecer ambientes diretamente estressantes para espécies de foraminíferos, seja por alimento, por estressores físicos ou químicos muito fortes que as espécies que não conseguem tolerar, e acabando por sofrer redução na sua abundância enquanto as espécies mais tolerantes ao estresse são favorecidas.

$$FSI = (10 \times Sen) + (Str)$$

onde,

Sen: Espécies de foraminíferos sensíveis às mudanças.

Str: Espécies de foraminíferos tolerante às mudanças.

FSI	Classificação
0	Zona azoica (sem vida)
1.0 -2.0	Fortemente poluído
2.0 – 5.5	Moderadamente poluídos
5.5 – 9.0	Ligeiramente poluído
9.0 - 10	Normal/ Natural

5.10. Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) em foraminíferos

Foram selecionados 5 exemplares bem preservados e limpos de uma espécie de foraminífero comum na área de estudo, *Ammonia tepida* (lavados com água destilada) em três níveis (primeiros 2 cm, 14 cm e 26 cm) no testemunho SP3 e quatro níveis (profundidade de 4 cm, 32 cm, 64 cm e 134 cm) ao longo do testemunho SP8. Os exemplares foram montados em plugs (stubs), sobre fita de carbono e organizados de acordo com os níveis estudados. Em cada exemplar foram obtidos os teores de 19 elementos químicos (Al, As, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Ni, Pb, S, Sn, Sr, Ti, V e Zn) com Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) acoplado a um microscópio eletrônico de varredura (MEV), do tipo EVO MA10 (Figura 11). Foram analisadas três câmaras da carapaça por exemplar: a câmara mais interna visível na última volta (I); a câmara intermediária (M) e a câmara mais externa (E) (Figura 12).

A técnica de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) consiste na análise de cada elemento presente na superfície de um material a partir da assinatura de emissão e recepção (absorção) deste.

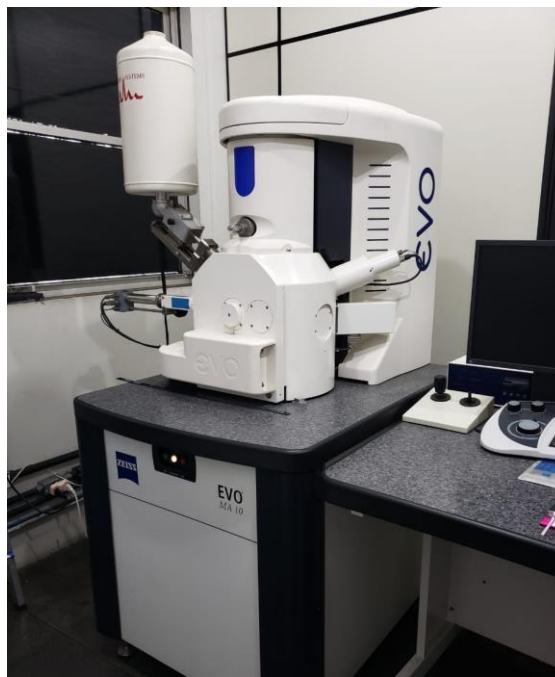


Figura 9: Foto ilustrativa do MEV (Microscópio eletrônico de varredura) utilizado para obtenção tanto de imagens dos foraminíferos quanto dos teores de EDS, este último consistindo em um equipamento auxiliar acoplado ao microscópio.

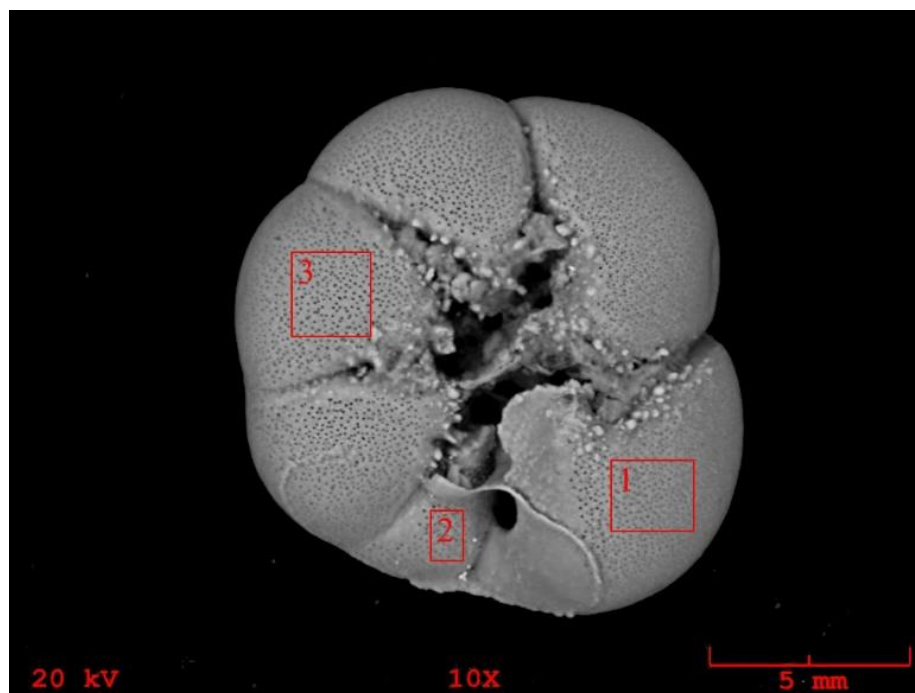


Figura 10: Foto de *A. tepida* ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), para ilustrar as áreas selecionadas para análise de EDS: 1 = Câmara Externa; 2 = Câmara intermediária/média; 3 = Câmara Interna

5.11. Análise de ^{210}Pb e ^{137}Cs por espectrometria gama no testemunho SP3

A análise de ^{210}Pb e ^{137}Cs por espectrometria gama foi realizada apenas no testemunho SP3, em amostras secas e maceradas, com cerca de 15 e 25 g de sedimentos, recolhidas a cada 2 cm. As amostras, após seladas em potes plásticos adequados à aplicação de espectrometria gama foram guardadas, tendo-se esperado aproximadamente 20 dias para que o ^{226}Ra entrasse em equilíbrio radioativo com o ^{222}Rn , procedendo-se então à análise dos radionuclídeos de interesse. A medida da contagem das emissões radioativas foi realizada no Laboratório de Espectrometria Gama, do Instituto Oceanográfico, da Universidade de São Paulo. O laboratório possui três detectores gama da marca EGGeORTEC, modelos GMX com resolução média de 1,9 keV para o ^{60}Co . Além disso, os detectores possuem uma alta eficiência de contagem e baixa radiação de fundo, sendo adequados a medidas ambientais. A metodologia de determinação dos radionuclídeos para ^{210}Pb , ^{226}Ra e ^{137}Cs , foi estabelecida pelo referido laboratório estando detalhadamente descrita em Figueira *et al.* (2007) e Ferreira *et al.* (2014).

5.12. Datação de conchas por radiocarbono

Foram efetuadas datações por radiocarbono nos testemunhos SP7 e SP8 a partir de conchas de moluscos: no testemunho SP7 em um nível (41-42 cm) e no SP8 em dois níveis

(100-102 e 132-134 cm). Estas análises foram efetuadas no âmbito do trabalho desenvolvido por Dadalto (2017), no laboratório National Ocean Sciences Accelerator Mass Spectrometry (NOSAMS/WHOI; <https://www.whoi.edu/nosams/home>), Woods Hole Oceanographic Institution (Estados Unidos), utilizando a Espectrometria de Massa com Acelerador (Accelerator Mass Spectrometry, AMS).

O laboratório em questão utilizou, para a datação das conchas, o método AMS associado a uma fonte de gás iônica (*Gas ion source*), que consiste em um equipamento que gera átomos e íons que funcionam como pulverizador para o espectômetro de massa. Esta é uma análise rápida e que não requer uma quantidade grande de material para ser realizada (em torno de 3 a 4 mg de carbono), como descrito por Roberts *et al.* (2013).

Os resultados das datações por carbono-14 foram apresentados em idades (anos) antes do presente (A.P.; em inglês: before present, B.P.) onde o “presente” é 1950 D.C. (depois de Cristo). As idades foram calibradas de acordo com a base de dados SHCAL (Hogg *et al.*, 2013), própria para o Hemisfério Sul através do CALIB 14C, programa online utilizado para calibração da idade de radiocarbono (versão 7.1; Stuiver *et al.*, 2019; Stuvier; Reimer, 1993).

5.13. Análise Estatística Multivariada

Uma seleção de dados abióticos e/ou bióticos, de cada testemunho foi submetida a análises estatísticas com a finalidade de melhor entender a relação entre as variáveis e facilitar a interpretação dos resultados.

Antes de serem submetidos a análises estatísticas os dados foram transformados com $\log(x+1)$. Foram determinadas correlações Pearson – Modo Q entre as variáveis, assim como efetuadas análises de agrupamento e análises de componentes principais (PCA), com o auxílio do *Software Statistica® 12*. Correlações de ordem de classificação de Spearman também foram determinadas com correlações consideradas significativas em $p < 0,050$.

Para a aplicação da estatística foram utilizadas as variáveis:

Bióticas: densidade, riqueza, e em amostras com mais de 100 espécimes de foraminíferos, a diversidade de Shannon e equitabilidade

Abióticas: A análise foi realizada com uma seleção de resultados granulométricos, geoquímicos e mineralógicos.

5.14. Ambiente de deposição utilizando funções discriminantes lineares

Os processos e ambientes deposicionais foram inferidos usando as funções de discriminação linear de Sahu (1964), Y1 (praia, mar raso) e Y3 (mar raso, fluvial):

$$Y1 = -3,5688 \bar{X}_{\phi} + 3,7016 \sigma_{\phi} - 2,0766 Sk_{\phi} + 3,1135 K_{\phi}$$

onde $\bar{X}_{\phi}$ é a média granulométrica, σ_{ϕ} é a seleção (sorting), Sk_{ϕ} é a assimetria (skewness) e K_{ϕ} é a curtose (kurtosis). Se $Y1$ for $> -2,7411$, sugere deposição tipo "praia", mas se $Y1$ for $< -2,7411$, sugere que o ambiente é "eólico".

Para distinguir ambientes marinhos rasos e fluviais, foi aplicada a expressão para $Y3$:

$$Y3 = 0,28552 \bar{X}_{\phi} - 8,7604 \sigma_{\phi} - 4,8932 Sk_{\phi} + 0,0482 K_{\phi}$$

Neste caso, um valor de $Y3 < -7.419$ indicaria que a amostra é derivada de ambiente fluvial, enquanto um valor de $Y3 > -7.419$ demonstraria que o material representa um depósito marinho raso.

A tentativa de diferenciar os ambientes deposicionais, por meio de funções discriminantes lineares, baseia-se no pressuposto de que os parâmetros texturais refletem potenciais diferenças no mecanismo de transporte e deposição de sedimentos (Sutherland e Lee 1994).

Capítulo 6

TESTEMUNHO SP3

6.1. Resultados obtidos no testemunho SP3

De modo geral o testemunho SP3 é constituído por sedimentos finos, de aspecto homogêneo, com cor cinzento escuro a negro no topo, transitando na base para tons mais claros associados a um aumento de granulometria com o aumento da profundidade.

6.1.1. Modelo de Idade com base em Pb^{210} e Cs^{137}

Os perfis verticais representativos das atividades de ^{210}Pb e ^{137}Cs ($Bq\ kg^{-1}$) e atividade do ^{210}Pb não suportado $\ln (^{210}Pb_{xs})$, bem como a respectiva reta de regressão linear são apresentados na Figura 13.

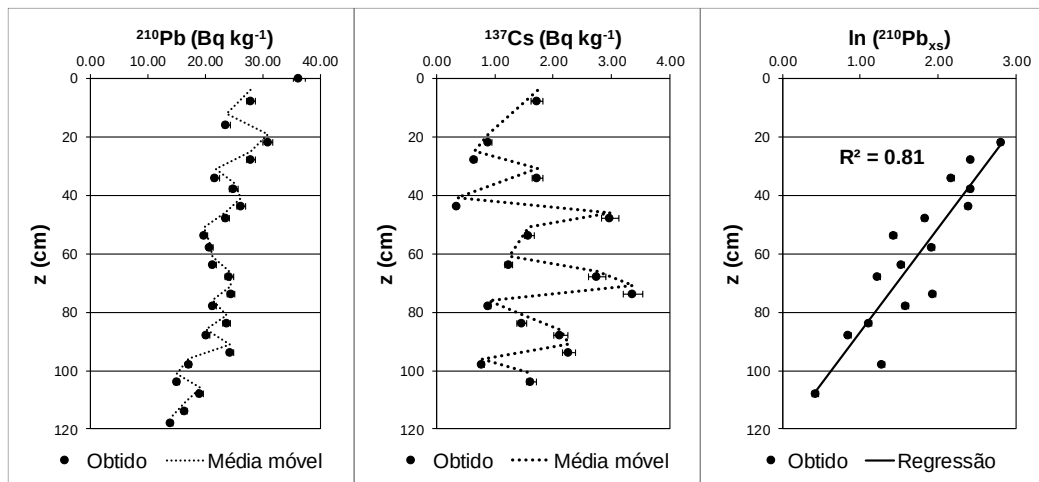


Figura 11: Perfis verticais representativos das atividades de ^{210}Pb e ^{137}Cs ($Bq\ kg^{-1}$) e atividade do ^{210}Pb não suportado ($\ln ^{210}Pb_{xs}$) e respectiva reta de regressão linear. Nos gráficos, os pontos correspondem aos valores determinados nas análises e a linha tracejada representa as médias móveis dos valores, calculadas com três valores consecutivos.

Na tabela 4 são apresentados os resultados da atividade isotópica de ^{210}Pb e ^{137}Cs e a estimativa das idades determinadas ao longo do testemunho SP3, de acordo com o modelo da sedimentação constante. Nela está assinalado o pico máximo de decaimento de ^{137}Cs , ocorrido em 1963. Com base nestes dados foi possível verificar: que os primeiros ≈ 74 cm contêm sedimentos depositados após 1963; que o nível de 93 cm corresponde ao ano de

≈1.950 e; que os sedimentos abaixo de 118 cm (base do testemunho) foram depositados antes de ≈1.931.

*Tabela 4: Resultados da atividade isotópica de ^{210}Pb e ^{137}Cs e estimativa das idades determinadas ao longo do testemunho SP3, de acordo com o modelo da sedimentação constante, com indicação do pico máximo de decaimento de ^{137}Cs (em 1963). *#N/D – Valores não detectados.*

Profundidade (cm)	^{210}Pb (Bq kg ⁻¹)	ln ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$)	^{137}Cs (Bq kg ⁻¹)	Máximo Decaimento	Datação
					Ano/erro
0	36,34 ± 1,02	*#N/D	#N/D		2015
8	27,88 ± 0,76	*#N/D	1,72 ± 0,10		2012
16	23,69 ± 0,64	*#N/D	#N/D		2006
22	30,90 ± 0,80	2,80 ± 0,03	0,90 ± 0,05		2002 ± 1
28	27,90 ± 0,74	2,42 ± 0,03	0,64 ± 0,04		1997 ± 1
34	21,80 ± 0,59	2,17 ± 0,04	1,73 ± 0,09		1993 ± 1
38	24,98 ± 0,75	2,41 ± 0,04	#N/D		1990 ± 1
44	26,25 ± 0,70	2,39 ± 0,03	0,36 ± 0,02		1986 ± 1
48	23,61 ± 0,63	1,83 ± 0,03	2,97 ± 0,15		1983 ± 1
54	19,78 ± 0,57	1,43 ± 0,04	1,59 ± 0,09		1978 ± 1
58	20,71 ± 0,57	1,92 ± 0,04	#N/D		1975 ± 2
64	21,28 ± 0,57	1,53 ± 0,04	1,24 ± 0,07		1971 ± 2
68	24,18 ± 0,68	1,22 ± 0,04	2,76 ± 0,15		1968 ± 2
74	24,48 ± 0,65	1,93 ± 0,04	3,36 ± 0,17	1963	1964 ± 2
78	21,28 ± 0,59	1,58 ± 0,04	0,89 ± 0,05		1961 ± 2
84	23,74 ± 0,64	1,11 ± 0,04	1,46 ± 0,08		1956 ± 2
88	20,17 ± 0,57	0,84 ± 0,04	2,13 ± 0,11		1953 ± 2
94	24,34 ± 0,62	*#N/D	2,27 ± 0,12		1949 ± 2
98	17,14 ± 0,48	1,28 ± 0,04	0,78 ± 0,04		1946 ± 3
104	15,03 ± 0,43	*#N/D	1,63 ± 0,09		1942 ± 3
108	19,12 ± 0,53	0,42 ± 0,04	#N/D		1939 ± 3
114	16,34 ± 0,47	*#N/D	#N/D		1934 ± 3
118	13,99 ± 0,42	*#N/D	#N/D		1931 ± 3

6.1.2. Dados texturais

Os resultados texturais do testemunho SP3 podem ser consultados na Tabela 5. Estes revelam que a fração fina varia entre 3,83-84,96 % (média 40,82 %) e que o total de areia e cascalho ($>63\mu\text{m}$) varia entre 15% e 96,2 % (média 59,1%). Os sedimentos do testemunho SP3 são areno-siltosos da base até à porção intermediária e lamo-arenosos a partir daí até o topo do testemunho (Figura14). A deposição da fração areia (Figura 15) foi mais elevada antes de ≈ 1950 (abaixo 60 cm profundidade, entre ± 1931 e 1948; Apêndice I).

Entre ± 1931 -2003 (da base até 20 cm de profundidade), os sedimentos do testemunho SP3 são muito pobremente selecionados e trimodais: Moda 1 – $279\mu\text{m}$; Moda 2 – $290\mu\text{m}$; Moda 3 – $379\mu\text{m}$. Desde 2003 (a partir de 20 cm em direção ao topo), os horizontes passaram a ser pobremente selecionados e bimodais (Moda 1 – $93\mu\text{m}$; Moda 2 – $136\mu\text{m}$).

Tabela 5: Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão de frações (F.) granulométricas e outros parâmetros texturais do testemunho SP3.

Seleções	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão
Total de F. areia e cascalho ($> 63\mu\text{m}$)	%	96,2	15,0	59,1	20,1
Total de F. Fina ($< 63\mu\text{m}$)	%	84,9	3,8	40,8	19,8
F. areia muito fina ($63\text{-}125\mu\text{m}$)	%	39,8	1,9	15,4	9,7
F. areia fina ($125\text{-}250\mu\text{m}$)	%	26,2	2,9	16,2	5,8
F. areia média ($250\text{-}500\mu\text{m}$)	%	45,4	0,8	11,9	9,4
F. areia grossa ($500\text{-}1000\mu\text{m}$)	%	46,7	0,2	11,0	13,9
F. Areia muito grossa e cascalho ($>1000\mu\text{m}$)	%	30,8	0,0	4,8	7,3
Tamanho médio do grão do sedimento	μm	556,3	20,1	118,9	132,5
Seleção	(ϕ)	6,5	2,2	3,8	0,8
Assimetria		0,1	-0,7	-0,3	0,1
Curtose		2,3	0,6	1,0	0,4

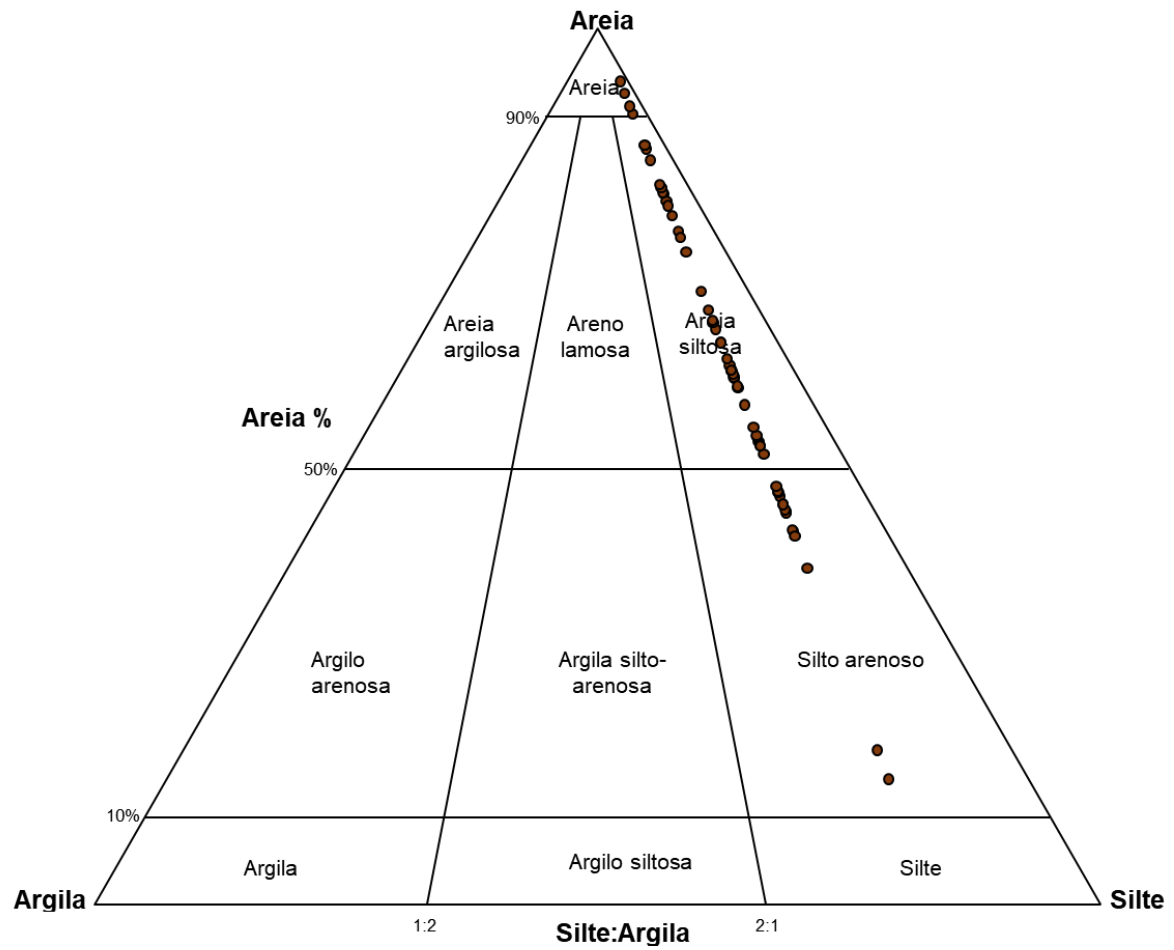


Figura 12: Gráfico ternário de classificação granulométrica do testemunho SP3, de acordo com Folk & Ward (1957).

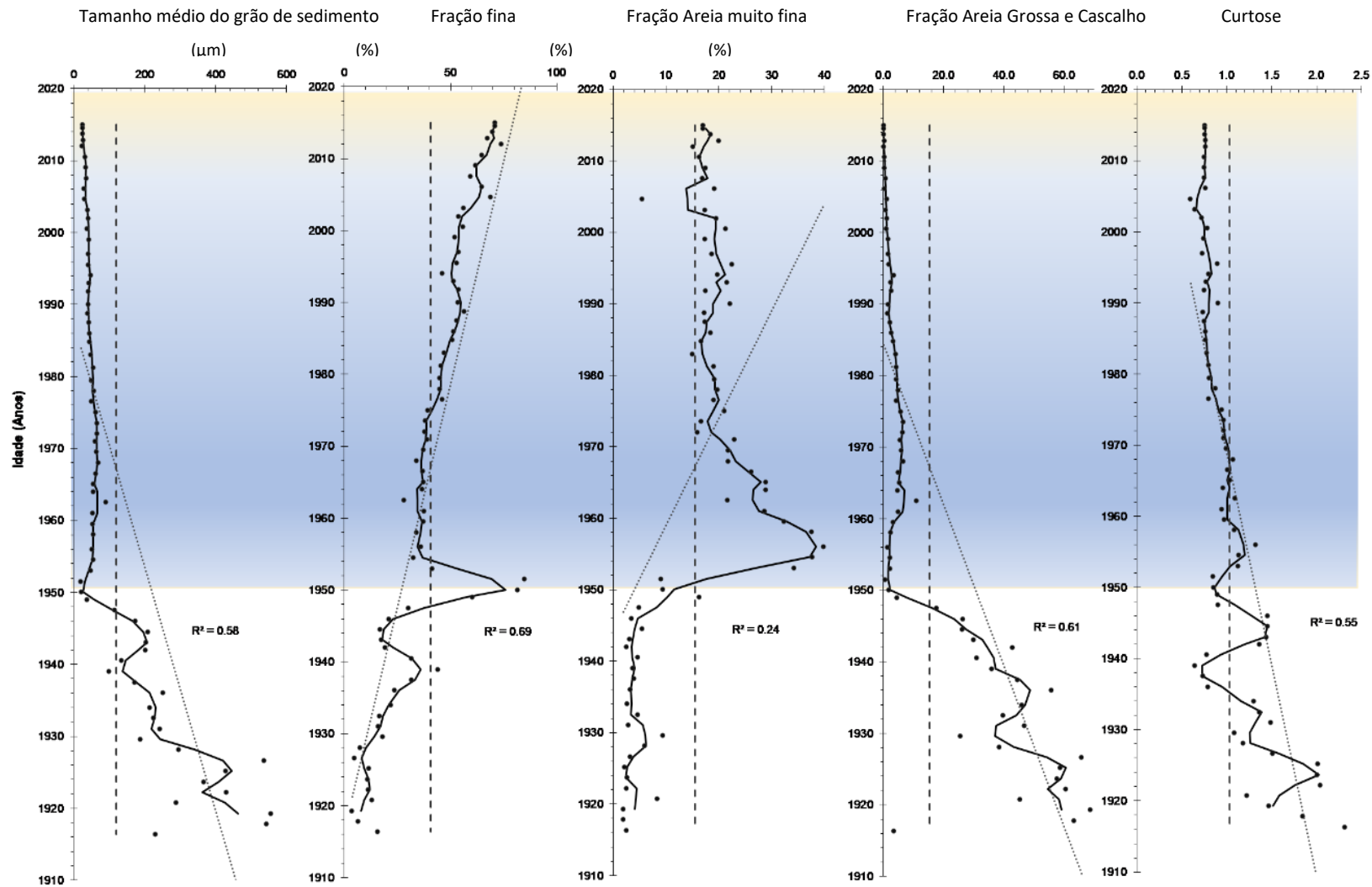


Figura 13: Variáveis texturais em função da idade. São apresentados os valores médios (linhas verticais tracejadas), as médias móveis (linhas contínuas), as linhas de tendência (linhas pontilhadas) e os respectivos valores de R^2 . A área sombreada marca a seção superior do testemunho com granulação mais fina, a partir dos anos 50.

6.1.3. Mineralogia

Os resultados da análise mineralógica da fração fina (<63µm) do testemunho SP3 revelam que esta é dominada por sedimentos predominantemente siliciclásticos. Dentre os minerais identificados (Tabela 6), os filossilicatos com média de 69,17% (13,5 – 84,93%), foram os mais abundantes ao longo do testemunho, seguidos por quartzo (1,55 - 46,97%; média: 14,02%), plagioclásios (< 28,89%; média: 2,83%), feldspato potássico (< 20,46%; média: 3,40%), pirita (< 13%; média: 4,52%), anidrita (<11,01%; média: 0,59%) e calcita (< 10,14%; média: 2,39%) respectivamente (Figura 18). Também foram identificados em alguns níveis minerais acessórios, como anatásio (< 4,91%; média: 0,45%), siderita (< 3,55%; média: 0,30%), magnetita/maghemita (<3,34%; média: 0,10%) e bassanita (< 4,32%; média: 0,19%). A pirita apesar de não apresentar teores elevados, ocorre na maioria dos horizontes sedimentares deste testemunho.

De maneira geral, não ocorreram alterações temporais marcantes na composição mineralógica dos sedimentos, com exceção da anidrita (<11,01%) e bassanita (<4,32%), que mostram abundância relativa maior no período anterior a 1930 (Figura 16; Tabela 6).

6.1.4. Teores de TOC, S e Carbonatos nos sedimentos

Os teores de TOC, S e razão C/S (Tabela 7) oscilaram entre: 0,07-1,48 % (média: 0,75 %), 0,08-0,98 % (média: 0,46 %) e 0,58-4,82 (média: 1,98), respectivamente. Os teores tanto de TOC quanto de S são significativamente mais baixos na base do testemunho e tornam-se progressivamente mais elevados a partir de 1970 (Figura 17). Registram-se valores mais elevados da razão C/S entre cerca de 1965 e 1988 (entre 44 e 70 cm) (média 3,47). Os carbonatos também apresentaram um padrão de crescimento similar ao TOC e S (Figura 17), sendo inverso o padrão do resíduo insolúvel (Tabela 7).

Na seção inferior do testemunho SP3 (140-108 cm) os valores de N, $\delta^{15}\text{N}$ ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento. Entre 1942 e 2015 (seção 104 - 0 cm), os valores de N, $\delta^{15}\text{N}$ e da razão C/N (Tabela 7) variam entre: 0,03-0,16% (média: $0,08 \pm 0,04\%$), 8,78-14,48 ‰ (média: $10,62 \pm 1,45$ ‰) e 6,16-33,50 (média: $12,22 \pm 8,00$), respectivamente. Os teores de N tendem a aumentar desde 1940 (Figura 17). Alguns valores pontuais mais baixos de $\delta^{15}\text{N}$ foram registrados entre 1945-1950, mas desde 1980 essa variável tende a reduzir progressivamente (Figura 17). Abaixo de 1942 e entre 1955-1980 registraram-se valores relativamente baixos da razão C/N que tenderam a aumentar ligeiramente a partir de meados de 1980, mas permaneceram próximos da média (12,22) (Figura 17).

Tabela 6: Abundância relativa dos principais minerais presentes nos sedimentos do testemunho SP3, de acordo com a idade registrada. São também apresentados os respectivos valores máximos, mínimos, médias e desvio padrão (DesvPad).

Horizontes (cm)	Idade	Anatásio	Anidrita	Basanita	Calcita	Feldspato potássico	Filossilicatos	Pirita	Plagioclásio	Quartzo	Siderita	Magnetita/Maghemita.
	Anos	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2	2015	0,00	0,00	0,00	3,37	1,31	78,85	3,94	1,13	11,40	0,00	0,00
4	2014	0,00	0,00	0,00	2,65	9,55	70,65	8,16	0,69	7,49	0,82	0,00
6	2013	0,00	0,00	0,00	5,59	1,62	79,37	3,67	0,88	8,87	0,00	0,00
8	2012	0,00	0,00	0,00	3,78	20,46	49,33	12,79	3,65	9,99	0,00	0,00
10	2011	0,00	0,00	0,00	1,22	2,24	74,81	8,96	0,71	12,06	0,00	0,00
12	2009	3,46	0,00	0,00	2,76	0,81	70,12	6,93	1,90	14,02	0,00	0,00
14	2008	0,00	0,00	0,00	4,84	3,08	68,10	7,82	1,42	14,74	0,00	0,00
16	2006	0,00	2,08	0,00	1,97	1,81	78,93	3,62	1,23	10,36	0,00	0,00
18	2005	0,00	0,55	0,00	9,05	8,15	66,02	6,04	0,91	9,28	0,00	0,00
20	2003	0,00	0,00	0,00	0,99	1,73	77,87	7,42	1,11	10,88	0,00	0,00
22	2002	0,00	1,26	0,00	1,01	1,75	75,51	7,75	2,97	7,99	1,75	0,00
24	2001	2,60	0,00	0,00	2,00	4,25	73,33	4,75	1,50	10,50	2,50	0,00
26	1999	0,00	0,00	0,00	3,32	3,43	73,90	4,93	3,34	11,08	0,00	0,00
28	1997	0,00	1,32	0,00	3,10	1,32	72,47	6,92	2,20	12,68	0,00	0,00
30	1996	0,00	2,60	0,00	1,62	1,41	68,18	6,49	6,06	13,64	0,00	0,00
32	1994	4,91	0,00	0,00	3,74	3,56	60,33	13,00	7,43	9,17	0,00	0,00
34	1993	0,00	1,21	0,00	0,91	9,11	63,78	6,07	13,21	5,69	0,00	0,00
36	1992	1,57	0,00	0,00	1,41	2,83	66,84	9,77	1,93	15,81	0,00	0,00
38	1990	0,00	0,00	0,00	1,93	1,16	72,22	8,67	4,04	11,99	0,00	0,00
40	1989	0,00	0,00	0,00	1,35	3,14	70,15	10,10	1,46	13,80	0,00	0,00
42	1987	0,00	0,00	0,36	1,19	1,58	74,20	9,89	0,89	12,02	0,00	0,00
44	1986	0,00	0,00	0,00	2,72	2,47	71,08	5,19	3,34	15,20	0,00	0,00
46	1985	0,00	0,00	0,00	1,27	2,81	70,37	4,64	2,53	18,37	0,00	0,00
48	1983	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	78,97	0,61	3,99	14,93	0,00	0,00
50	1981	0,00	0,00	0,00	0,00	1,97	75,63	0,66	3,45	18,29	0,00	0,00
52	1979	0,00	0,00	0,00	0,00	1,79	52,90	0,48	29,89	14,94	0,00	0,00
54	1978	2,21	1,34	0,00	0,70	0,00	77,44	0,91	2,61	13,58	0,00	0,00
56	1977	0,00	0,00	0,00	0,00	3,95	75,33	0,56	2,45	17,70	0,00	0,00
58	1975	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	72,95	0,66	2,82	18,65	0,00	0,00
60	1974	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	77,44	0,00	3,03	14,81	0,00	0,00
62	1972	0,00	0,00	0,00	0,00	5,01	31,66	0,00	14,25	46,97	2,11	0,00
64	1971	0,76	0,00	0,00	0,00	1,27	71,30	0,00	3,31	18,72	0,00	0,00
66	1970	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,18	0,76	2,20	11,29	3,55	0,00
68	1968	0,00	0,00	0,00	1,11	3,69	73,80	2,21	0,00	16,42	2,77	0,00
70	1967	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	73,80	0,75	2,57	19,47	0,00	0,00
72	1965	0,00	0,00	0,00	0,58	8,53	72,62	1,50	0,00	16,77	0,00	0,00
74	1964	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	74,51	1,35	2,90	17,22	1,10	0,00
76	1963	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76,53	1,04	3,33	18,53	0,00	0,56
78	1961	0,86	0,57	0,00	1,34	2,07	63,78	3,40	12,63	15,49	0,00	0,00

Tabela 6 (cont.): Abundância relativa dos principais minerais presentes nos sedimentos do testemunho SP3, de acordo com a idade registrada. São também apresentados os respectivos valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão (DesvPad).

Horizontes (cm)	Idade	Anatase	Anidrita	Basanita	Calcita	Feldspato potássico	Filossilicatos	Pirita	Plagioclásio	Quartzo	Siderita	Magnetita/ Maghemita.
	Ano	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
80	1960	1,52	0,00	0,00	2,47	4,69	70,31	5,43	1,49	14,22	0,00	0,00
82	1958	1,75	0,00	0,00	4,05	5,86	58,56	6,76	1,80	21,40	0,00	0,00
84	1956	0,00	0,00	0,00	2,17	1,59	68,79	4,63	3,48	19,33	0,00	0,00
86	1955	1,09	0,00	0,00	2,90	4,05	65,89	5,61	2,26	18,32	0,00	0,00
88	1953	0,00	0,00	0,00	1,06	1,53	65,84	1,06	2,59	27,92	0,00	0,00
90	1952	0,00	2,21	0,00	10,14	1,82	64,98	10,14	1,95	8,77	0,00	0,00
92	1950	0,00	0,00	0,00	3,28	1,39	71,83	3,02	3,28	17,20	0,00	0,00
94	1949	0,00	0,00	0,00	4,96	1,85	70,04	2,72	1,36	19,07	0,00	0,00
96	1948	0,00	0,00	0,00	2,60	8,18	71,59	2,60	2,05	12,97	0,00	0,00
98	1946	0,00	0,00	0,00	3,35	2,04	72,49	2,79	2,79	16,54	0,00	0,00
100	1945	3,35	0,00	0,00	4,88	1,42	78,25	2,44	0,00	9,65	0,00	0,00
102	1943	0,00	0,00	0,00	0,00	2,94	77,21	2,94	0,00	16,91	0,00	0,00
104	1942	0,00	0,00	0,00	3,52	1,12	68,05	2,56	0,96	23,78	0,00	0,00
106	1941	0,00	0,00	0,00	2,61	1,39	79,13	2,61	1,74	12,00	0,52	0,00
108	1939	0,00	0,00	0,00	2,61	1,39	79,13	2,61	1,74	12,00	0,52	0,00
110	1938	2,60	0,00	0,00	3,32	9,22	66,39	4,43	3,32	12,03	0,00	0,00
112	1936	0,00	0,00	0,00	3,14	1,02	74,78	2,03	0,00	12,88	0,00	0,00
114	1934	0,00	2,00	0,00	2,78	3,86	64,26	6,75	0,00	20,35	0,00	0,00
116	1933	0,00	0,00	0,00	3,57	7,22	80,29	2,43	0,81	5,68	0,00	0,00
118	1931	0,36	0,00	0,00	0,99	0,96	13,50	0,34	0,00	1,55	0,00	0,00
120	1930	0,00	1,95	0,73	2,48	3,51	65,76	3,07	0,00	13,15	1,75	0,00
122	1928	0,00	0,00	0,90	0,00	7,59	57,61	5,69	0,54	19,72	2,71	3,34
124	1927	0,00	2,43	3,03	3,90	7,28	58,50	7,80	2,34	17,75	0,00	0,00
126	1925	0,00	0,00	0,00	4,58	3,05	69,67	2,99	1,13	6,04	0,93	0,00
128	1924	0,00	11,01	0,19	0,00	2,32	77,73	3,04	0,00	5,79	0,00	0,00
130	1922	0,00	0,00	4,32	1,70	2,64	84,93	5,43	0,00	5,31	0,00	0,00
132	1921	0,00	0,00	0,00	4,34	5,39	79,88	2,40	0,00	7,99	0,00	0,00
134	1919	0,86	5,58	3,10	6,61	2,86	50,68	10,91	1,32	18,07	0,00	0,00
136	1918	1,52	0,00	0,00	7,70	1,65	41,66	11,87	3,82	5,38	0,00	2,80
138	1916	1,75	2,78	0,39	3,37	7,14	68,67	2,33	0,36	4,71	0,00	0,00
Máximo		2012,86	4,91	11,01	4,32	10,14	20,46	84,93	13,00	29,89	46,97	3,55
Mínimo		1961,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,50	0,00	0,00	1,55	0,00
Média		1987,10	0,47	0,61	0,20	2,32	3,36	68,85	4,49	2,91	14,24	0,31
DesvPad		15,83	1,02	1,64	0,75	2,17	3,18	11,61	3,44	4,39	6,48	0,79

Tabela 7: Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de TOC, S e C/S ao longo do testemunho SP3. DL: teores não detectáveis. Os horizontes/períodos de maiores aprisionamento de carbonato concordantes com pulsos de maior crescimento populacional/ econômico associados a implantações de empresas e criação do porto de Sepetiba, encontram-se sombreados na tabela.

Prof. (cm)	Idade	TOC	S	C/S	Carbonatos	Resíduos insolúveis	N	$\delta^{15}\text{N}$	C/N
	Anos	%	%		%	%	%	‰	
0	2015	1,48	0,98	1,52	11,9	88,1	0,16	8,83	9,1
4	2014	1,43	0,88	1,62	15,1	84,9	*	*	*
8	2012	1,31	0,84	1,56	12,0	88,0	0,14	8,96	9,9
14	2008	1,06	0,71	1,50	13,0	87,0	*	*	*
18	2005	1,19	0,71	1,69	13,1	86,9	0,13	9,24	10,0
24	2001	0,94	0,61	1,54	12,2	87,8	0,11	9,86	11,5
28	1997	0,92	0,58	1,58	11,2	88,8	0,10	10,29	9,4
34	1993	0,86	0,50	1,72	9,9	90,1	0,10	9,76	8,4
38	1990	0,93	0,53	1,75	11,5	88,5	0,11	9,32	7,9
44	1986	0,92	0,44	2,09	10,7	89,3	0,11	10,01	12,4
48	1983	0,63	0,22	2,81	9,1	90,9	0,07	10,95	14,0
54	1978	0,56	0,17	3,29	7,6	92,4	0,07	11,23	9,2
58	1975	0,44	0,10	4,34	9,1	90,9	0,07	10,79	9,8
64	1971	0,38	0,08	4,82	6,3	93,7	0,06	11,45	8,5
68	1968	0,43	0,12	3,49	7,1	92,9	0,05	11,28	7,1
74	1964	0,39	0,23	1,69	7,1	92,9	0,05	12,25	7,8
78	1961	0,40	0,26	1,53	7,9	92,1	0,05	12,49	7,8
84	1956	0,46	0,41	1,13	9,2	90,8	0,05	11,77	6,2
88	1953	0,83	0,98	0,85	7,6	92,4	0,06	11,07	6,5
94	1949	0,96	0,86	1,11	6,0	94,0	0,07	8,78	22,5
98	1946	0,34	0,27	1,25	2,4	97,6	0,04	9,68	33,0
104	1942	0,20	0,15	1,37	0,4	99,6	0,03	14,48	33,5
108	1939	1,20	0,47	2,54	3,9	96,1	*	*	*
114	1934	0,37	0,17	2,13	0,8	99,2	*	*	*
118	1931	0,07	0,13	0,58	0,0	100,0	< DL	< DL	< DL
124	1927	0,07	0,13	0,58	0,0	100,0	< DL	< DL	< DL
128	1924	0,07	0,13	0,58	0,0	100,0	< DL	< DL	< DL
132	1921	0,07	0,13	0,58	0,0	100,0	< DL	< DL	< DL
136	1918	0,07	0,13	0,58	0,0	100,0	< DL	< DL	< DL
	Máx	1,48	0,98	4,82	15,1	100,0	0,16	14,48	33,50
	Mín	0,07	0,08	0,58	0,0	84,9	0,03	8,78	6,16
	Méd	0,75	0,46	1,98	8,2	91,8	0,08	10,62	12,22
	DesvP	0,40	0,30	1,04	4,2	4,2	0,04	1,45	8,00

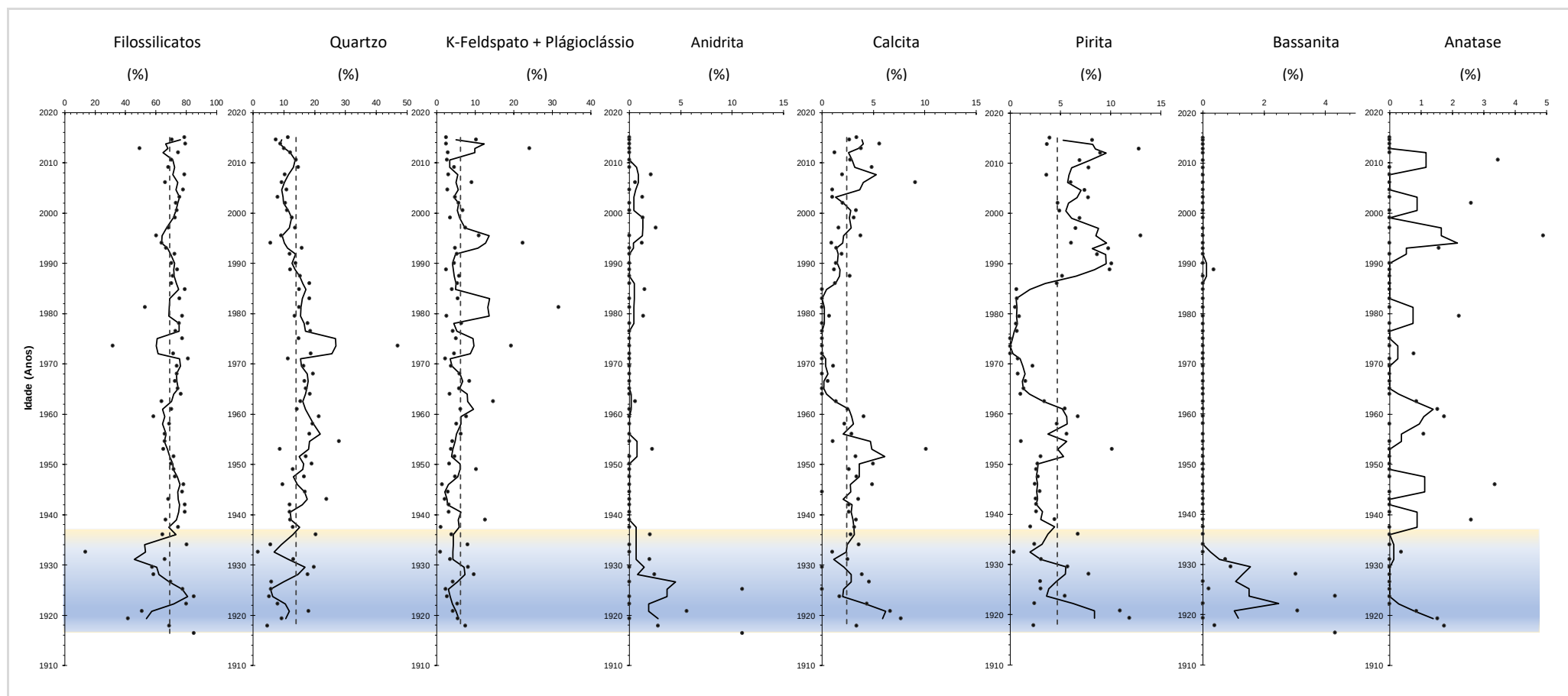


Figura 14: Componente mineralógica da fração fina ($< 63\mu\text{m}$) do testemunho SP3 em função da idade. Os valores determinados estão representados por pontos, as médias pela reta tracejada, e a média móvel (média de três valores consecutivos) pela linha contínua. A seção inferior do testemunho, em que se verificou a ocorrência de teores relativamente elevados de anidrita e bassanita, foi sombreada.

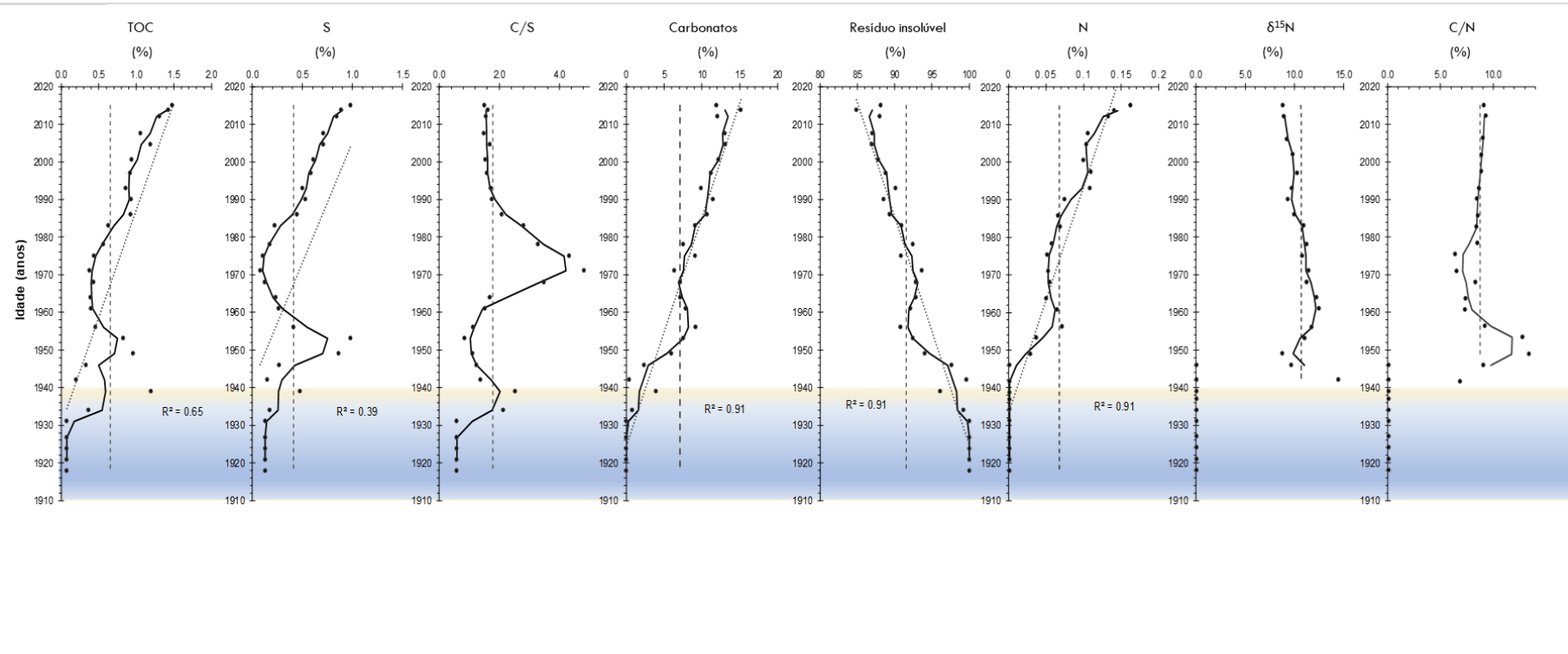


Figura 15: Valores de TOC, S e C/S ao longo do testemunho SP3. Nesta Figura também estão representados os teores de carbonatos, resíduo insolúvel e nitrogênio total (N), assim como os valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ e da razão C/N (TOC/N). Os valores encontram-se representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada; a linha contínua representa a média móvel (média de três valores consecutivos). Em alguns gráficos foi representada a reta de regressão (linha pontilhada) e o respectivo R^2 . A seção inferior do testemunho em que se verificou a ocorrência de teores relativamente baixos de várias variáveis *foi* sombreada.

6.1.5. Geoquímica elemental dos sedimentos do testemunho SP3

Os valores máximos, mínimos, médios e o desvio padrão dos elementos químicos analisados nos sedimentos encontram-se listados a seguir (Tabela 8), totalizando 24 elementos químicos (Ag, Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, Sc, Sr, Ti, U e Zn) obtidos por meio de digestão total de sedimentos de 29 níveis. Não foi considerada na análise de dados a distribuição de seis elementos (Be, Bi, Sb, Se Ta e Ti), por apresentarem reduzida variação ao longo do testemunho.

Os elementos químicos analisados, exceto K, Mo e U, apresentam correlações positivas significativas com a fração fina e negativas com areia, cascalho e tamanho médio das areias (Apêndice II). O escândio apresenta elevada correlação positiva com a fração fina dos sedimentos ($R = 0,92$; Apêndice II). Assim, a concentração da maioria dos elementos químicos analisados aumenta na seção superior do testemunho SP3 (0 - 120 cm), porção onde o sedimento é mais fino (Figura 18). Os gráficos da concentração de Sc, Cr, Ni, Pb, Cu e As segundo a profundidade, com padrões de distribuição semelhantes, são apresentados como exemplo na Figura 18.

As concentrações de Cd e Zn também aumentam significativamente na seção superior do testemunho SP3 (entre 60-0 cm; Figura 19), com o Zn ($7,0-729,0 \text{ mg kg}^{-1}$; média $237,5 \pm 266,3 \text{ kg}^{-1}$) atingindo concentrações mais elevadas que o Cd ($<4,3 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura 19). Outros elementos potencialmente tóxicos (*Potentially Toxic Elements*, PTEs) também atingem concentrações relativamente elevadas, como é o caso do Co ($3,1-117,0 \text{ mg kg}^{-1}$; média $40,9 \pm 30,5 \text{ mg kg}^{-1}$), Cr ($2,0-83,0 \text{ mg kg}^{-1}$; $20,5 \text{ mg kg}^{-1}$) e Pb ($12,4-48,9 \text{ mg kg}^{-1}$; $25,9 \pm 10,0 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 8).

No entanto, a normalização das concentrações dos elementos químicos com o escândio, que reduz a influência da granulometria, revela que muitos elementos possuem razões mais elevadas na base do testemunho, principalmente no período 1920 - 1940/1950, como: Al/Sc, Ba/Sc, Bi/Sc, Ca/Sc, Ce/Sc, Co/Sc, Hf/Sc, In/Sc, K/Sc, La/Sc, Li/Sc, Na/Sc, Nb/Sc, Ni/Sc, Pb/Sc, Rb/Sc, S/Sc, Se/Sc, Sr/Sc, Ta/Sc, Th/Sc, Ti/Sc, U/Sc, W/Sc, Y/Sc e Zr/Sc. Seus padrões de distribuição são semelhantes à de W/Sc, Co/Sc, Sr/Sc, Ce/Sc, Pb/Sc e Ni/Sc (Figura 19-A). Os valores de Mo/Sc tendem a permanecer relativamente elevados na metade inferior do testemunho, até 1950. As razões Mg/Sc, Fe/Sc e Mn/Sc aumentam na seção superior do testemunho, após 1950 (Figura 19-A). Algumas razões não apresentam alterações significativas, como por exemplo P/Sc e Ca/Sc.

Os metais que atingem os fatores de enriquecimento (EF) mais elevados no testemunho SP3 (Tabela 9) são: EF-Co 0,7 - 155,1 (média: $15,9 \pm 38,7$); EF-Zn 0,6-9,5 (média: $3,5 \pm 3,3$); EF-Cd 0,1-8,4 (média: $3,2 \pm 3,3$), EF-Pb 1,1-7,9 (média: $2,2 \pm 1,7$); EF-Sn 0,5-3,7 (média: $1,4 \pm 0,6$); EF-Cu 0,7-3,1 (média: $1,2 \pm 0,5$); EF-S 0,1-3,0 (média: $0,9 \pm 0,6$); EF-Ni 0,7-2,5 (média: $1,0 \pm 0,3$). Os valores dos fatores de enriquecimento de EF-P, EF-As e EF-Cr são <2 . Os maiores valores de EF para EF-Co, EF-Pb e EF-Ni são registrados na seção inferior do testemunho, entre 1920-1930 (Figura 19-B). Os valores dos fatores de enriquecimento de EF-Zn e EF-Cd aumentam significativamente desde

1970. Após este ano, também há um aumento progressivo dos valores de EF-Sn, com um pico por volta de 1995 e um declínio após essa data. Os sedimentos depositados na década de 1980 também possuem um enriquecimento moderado de Cu.

Os valores do Índice de Geoacumulação (I_{geo}), apresentados na Tabela 10, mostram que estes são mais elevados e aumentam continuamente desde 1980 para o Zn e o Cd, e num período anterior a 1929 para o Co, , com valores de 2 a 3.

Os valores dos índices PLI e SPI, apresentados em gráficos em função da idade na Figura 20, evidenciam um aumento significativo desde o final dos anos 70, seguido por uma pequena diminuição no final dos anos 90 e novo aumento após 2010.

Tabela 8: Valores máximos (max.), mínimos (min.), médios (med.) e desvio padrão (DesvPad) da concentração de elementos químicos presentes nos sedimentos do testemunho SP3.

Elemento		Max.	Min.	Med.	DesvPad	Elemento		Max.	Min.	Med.	DesvPad
Al	%	9,5	1,6	5,5	2,0	Na	%	1,9	0,2	1,1	0,5
As	mg kg ⁻¹	15,0	0,4	9,4	4,5	Nb	mg kg ⁻¹	23,5	1,7	12,0	5,5
Ba	mg kg ⁻¹	447,0	149,0	292,0	66,2	Ni	mg kg ⁻¹	37,8	1,6	15,2	7,9
Be	mg kg ⁻¹	3,0	0,4	1,8	0,9	P	%	0,079	0,004	0,044	0,023
Bi	mg kg ⁻¹	0,3	0,0	0,1	0,1	Pb	mg kg ⁻¹	48,9	12,4	25,9	10,0
Ca	%	0,4	0,0	0,2	0,1	Rb	mg kg ⁻¹	100,3	40,3	70,0	15,9
Cd	mg kg ⁻¹	4,3	0,0	1,3	1,6	S	%	1,7	0,0	0,6	0,4
Ce	mg kg ⁻¹	121,0	20,0	79,7	27,5	Sb	mg kg ⁻¹	0,5	0,0	0,3	0,1
Co	mg kg ⁻¹	117,0	3,1	20,1	30,5	Sc	mg kg ⁻¹	14,0	1,0	7,7	3,5
Cr	mg kg ⁻¹	83,0	2,0	40,9	20,5	Sn	mg kg ⁻¹	15,0	0,2	3,7	3,1
Cu	mg kg ⁻¹	34,0	1,3	11,1	7,2	Sr	mg kg ⁻¹	97,0	44,0	75,2	13,8
Fe	%	5,5	0,3	3,3	1,6	Ta	mg kg ⁻¹	1,4	0,2	0,9	0,3
Hf	mg kg ⁻¹	3,0	0,6	1,9	0,6	Th	mg kg ⁻¹	18,5	4,1	11,9	3,2
In	mg kg ⁻¹	0,1	0,0	0,1	0,0	Ti	%	0,602	0,051	0,331	0,131
K	%	2,2	1,2	1,6	0,2	U	mg kg ⁻¹	11,0	1,3	4,1	2,0
La	mg kg ⁻¹	52,0	11,1	36,5	10,8	V	mg kg ⁻¹	88,0	5,0	49,1	21,4
Li	mg kg ⁻¹	105,9	10,4	52,8	24,5	W	mg kg ⁻¹	230,0	0,4	40,4	88,1
Mg	%	1,4	0,0	0,7	0,4	Y	mg kg ⁻¹	19,5	2,0	11,5	4,6
Mn	mg kg ⁻¹	384,0	14,0	222,5	112,5	Zn	mg kg ⁻¹	729,0	7,0	237,5	266,3
Mo	mg kg ⁻¹	12,6	0,3	3,2	3,4	Zr	mg kg ⁻¹	96,5	20,2	59,7	18,3

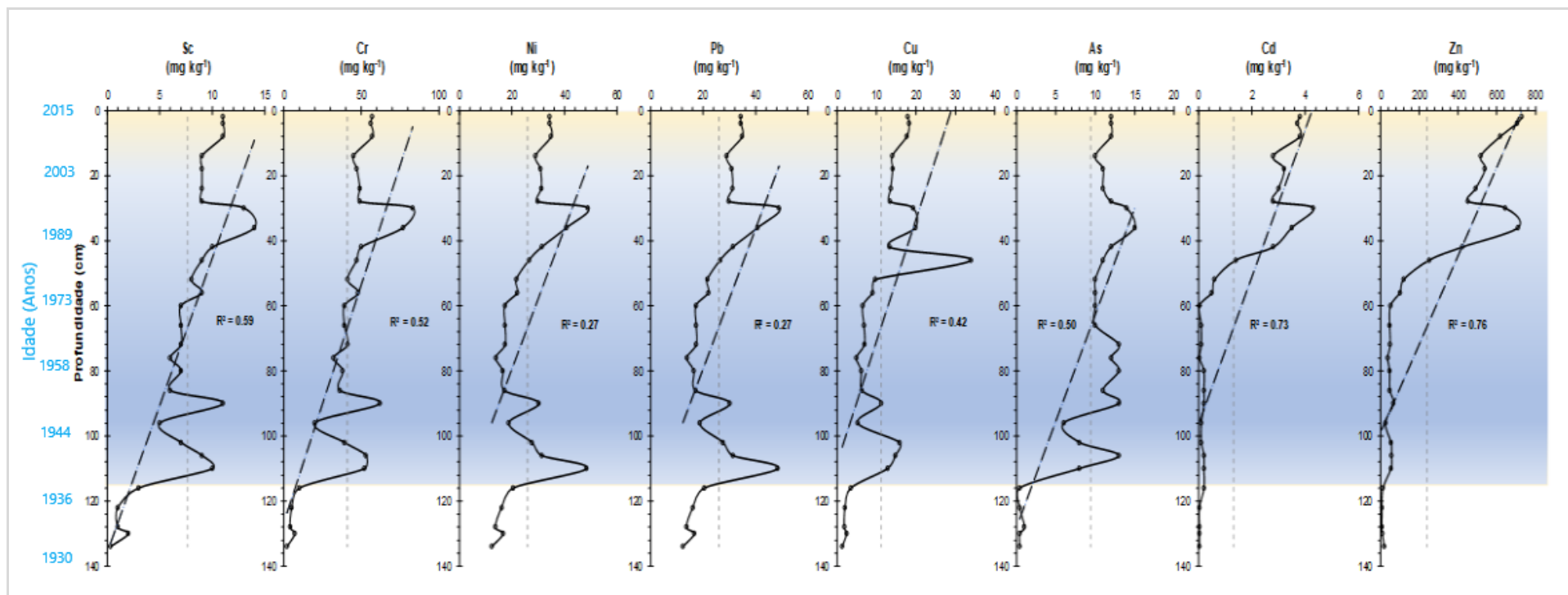


Figura 16: Concentrações de uma seleção de elementos químicos mostrando que os maiores valores ocorrem na seção superior do testemunho onde este é constituído por sedimentos mais finos. Os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada, e a média móvel (média de três valores consecutivos) pela linha contínua. A reta de regressão (tracejado mais grosso) e o respectivo R^2 , mostram que existe, para todos os elementos químicos representados, uma tendência de aumento dos valores em direção ao topo do testemunho.

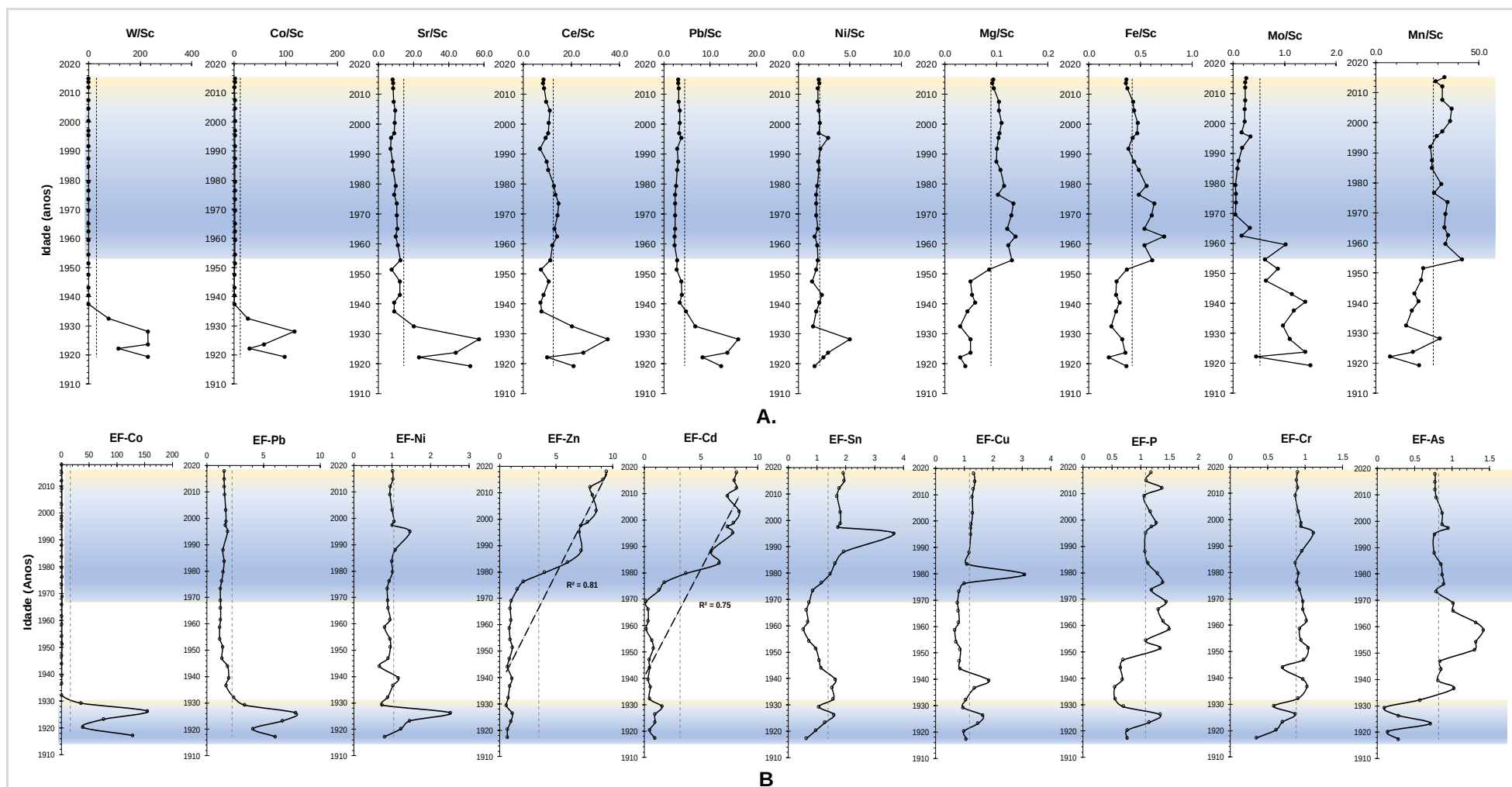


Figura 17: A. Razões entre elementos químicos selecionados e o elemento Sc; foi sombreado o período em que se verifica um aumento das razões do Mg/Sc, Fe/Sc e Mn/Sc, e valores reduzidos das restantes razões. B. Valores dos fatores de enriquecimento (EF) dos elementos químicos potencialmente tóxicos (PTes) e do P; nesta representação encontram-se sombreados os períodos em que ocorre o aumento significativo dos valores de EF de Zn e Cd e de Co, Pb, Ni. Nos gráficos, os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada, e a média móvel (média de três valores consecutivos) pela linha contínua. Em alguns gráficos foi representada a reta de regressão e o respectivo R^2 .

Tabela 9: Valores do fator de enriquecimento (EF) para os elementos químicos potencialmente tóxicos (PTEs) encontrados no testemunho SP3. Foram sombreados os valores mais elevados (>2).

Prof. (cm)	Ano	EF-As	EF-Cd	EF-Co	EF-Cr	EF-Cu	EF-Ni	EF-P	EF-Pb	EF-Sn	EF-Zn
2	2018	1	8	1	1	1	1	1	2	2	9
4	2015	1	8	1	1	1	1	1	2	2	9
8	2012	1	8	1	1	1	1	1	2	2	8
14	2009	1	7	1	1	1	1	1	2	2	8
18	2003	1	8	1	1	1	1	1	2	2	9
24	1999	1	8	1	1	1	1	1	2	2	8
28	1997	1	7	1	1	1	1	1	2	2	7
30	1995	1	8	1	1	1	1	1	2	4	7
36	1988	1	6	1	1	1	1	1	1	2	7
42	1984	1	7	1	1	1	1	1	2	2	6
46	1980	1	4	1	1	3	1	1	1	1	4
52	1976	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
56	1973	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
60	1969	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
66	1966	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
72	1962	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
76	1959	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1954	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
86	1951	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1947	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
96	1944	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1
102	1940	1	0	1	1	2	1	1	2	2	1
106	1937	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1
110	1932	1	0	1	1	1	1	1	2	2	1
116	1929	0	2	35	1	1	1	1	3	1	1
122	1926	0	1	155	1	2	3	1	8	2	1
128	1923	1	1	76	1	1	1	1	7	1	1
130	1920	0	0	39	1	1	1	1	4	1	1
134	1917	0	1	129	0	1	1	1	6	1	3

Tabela 10: Valores do Índice de Geoacumulação (I_{geo}) para os elementos químicos potencialmente tóxicos no testemunho SP3. Foram sombreados os valores mais elevados (≥ 2).

Prof. (cm)	Ano	$I_{geo}As$	$I_{geo}Cd$	$I_{geo}Co$	$I_{geo}Cr$	$I_{geo}Cu$	$I_{geo}Ni$	$I_{geo}P$	$I_{geo}Pb$	$I_{geo}S$	$I_{geo}Sn$	$I_{geo}Zn$
2	2018	-1	2	-1	-1	0	-1	0	0	-1	0	3
4	2015	-1	2	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	3
8	2012	-1	2	-1	-1	0	-1	0	0	-1	0	2
14	2009	-1	2	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	2
18	2003	-1	2	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	2
24	1999	-1	2	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	2
28	1997	-1	2	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	2
30	1995	-1	3	0	0	0	0	0	0	-1	1	2
36	1988	-1	2	0	0	0	0	0	0	-1	1	3
42	1984	-1	2	-1	-1	-1	-1	-1	0	-2	0	2
46	1980	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	0	-2	0	1
52	1976	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-1	0
56	1973	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-1	0
60	1969	-1	-4	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-4	-2	-1
66	1966	-1	-3	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-3	-2	-1
72	1962	-1	-3	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-1
76	1959	-1	-4	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-3	-2	-2
80	1954	-1	-2	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-1
86	1951	-1	-2	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-2	-1
90	1947	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1
96	1944	-2	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-2
102	1940	-2	-3	-2	-1	0	-1	-2	0	-1	-1	-1
106	1937	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-2	0	-1	0	-1
110	1932	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-2	0	0	0	-1
116	1929	-6	-2	3	-3	-3	-3	-3	-1	-3	-2	-3
122	1926	-6	-4	3	-4	-3	-3	-4	-1	-5	-3	-4
128	1923	-5	-4	2	-5	-4	-4	-4	-1	-3	-4	-4
130	1920	-6	-4	2	-4	-3	-3	-4	-1	-5	-3	-4
134	1917	-6	-4	3	-6	-4	-4	-5	-2	-3	-5	-3

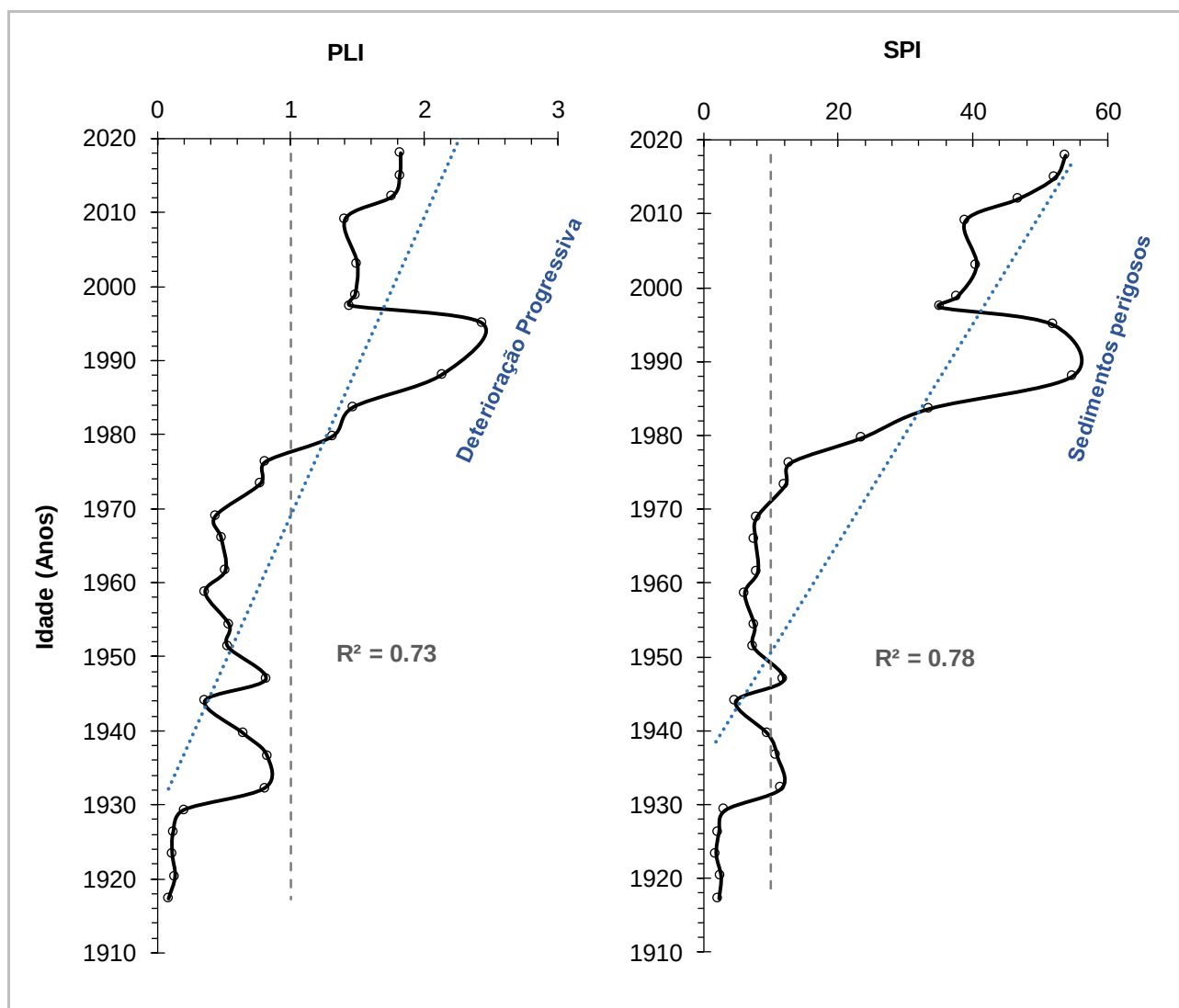


Figura 18: Gráficos em função da idade dos valores de PLI e de SPI no testemunho SP3. Os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada e a média móvel (média de três valores consecutivos) pela linha contínua. Foi também representada a reta de regressão e o respectivo R^2 .

6.1.6. Resultados da Análise de Componentes Principais: dados sedimentológicos do testemunho SP3

Os dois primeiros fatores da Análise de Componentes Principais (PCA), realizada com base em variáveis geoquímicas, mineralógicas e de tamanho de grão, explicam a maior parte da variabilidade dos dados (total: 61%; fator 1: 41%; fator 2: 0,19%) (Figura 21).

O fator 1 está relacionado principalmente ao tamanho dos grãos dos sedimentos: **(I)**. variáveis relacionadas aos sedimentos mais grossos: anidrita, bassanita, Nb/Sc, La/Sc e EF-Pb; **(II)** em oposição, estão variáveis ligadas principalmente aos finos, como TOC, N, S, EF-As, EF-Cr, EF-P, EF-Zn, EF-Cd, EF-Sn, Fe/Sc, Mn/Sc, $\delta^{15}\text{N}$, carbonatos, plagioclásio, PLI e SPI. O fator 2: **(III)** relacionado negativamente com pirita, PLI, SPI, TOC, EF-Zn, EF-Cd, EF-Sn, EF-Cu, EF-Ni, feldspato potássico; **(IV)** positivamente correlacionado com Fe/Sc, bem como com EF-As, $\delta^{15}\text{N}$ e quartzo. Enquanto o fator

1 da PCA está subordinado à granulometria e por isso a processos hidrodinâmicos, o fator 2 está sobretudo relacionado a processos naturais/antrópicos que influenciam o fornecimento de materiais sedimentares.

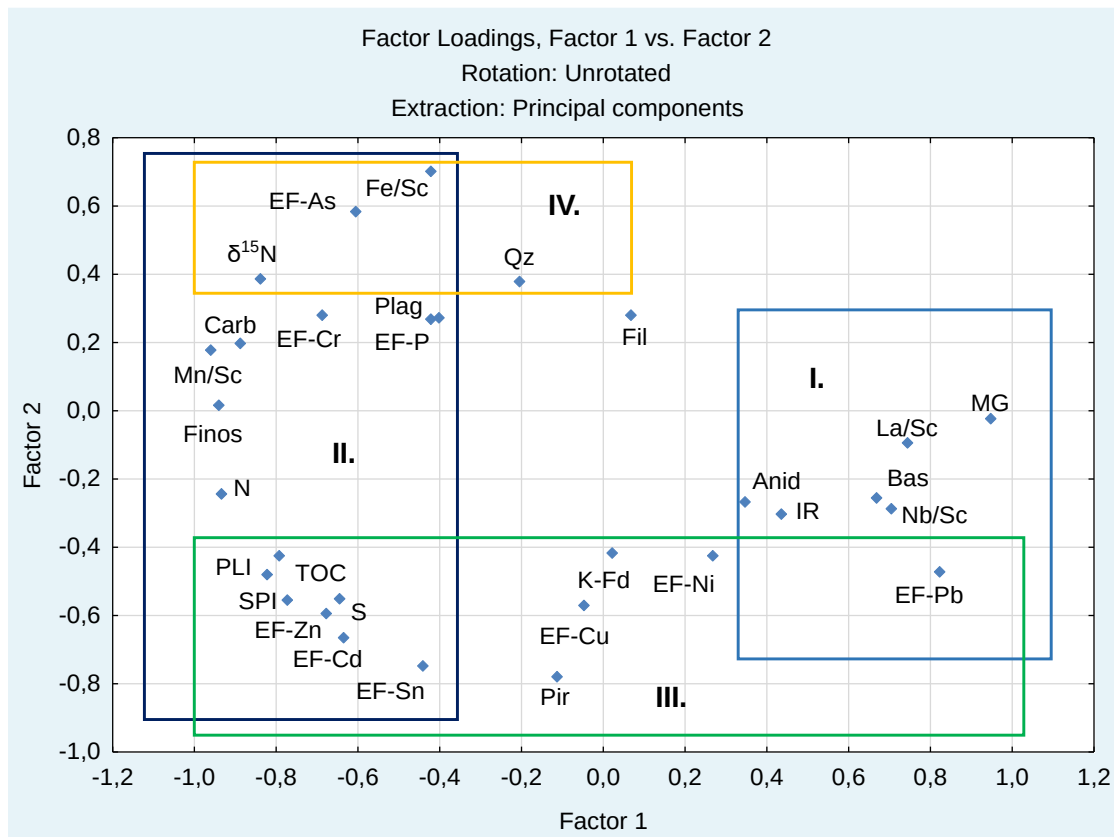


Figura 19: Gráfico do fator 1 contra o fator 2 da análise de componentes principais. As variáveis estão associadas em 4 grupos em função da sua correlação com os dois principais fatores. Legenda: Qz – quartzo; Carb – carbonatos; Plag. – plagioclásio; Finos – fração fina; Anid. – anidrita; Bas – basanita; MG – média granulométrica; Pir. – pirita; Fil. – filossilicatos, ^{15}N .

6.1.7. Resultados geoquímicos em carapaças de *A. tepida*

A Tabela 11 mostra a variação global dos teores dos elementos químicos estimados por EDS em *A. tepida*, em três níveis (0-2 cm, 14-16 cm, 26-28 cm) do testemunho SP3. Esses resultados não englobam as câmaras de exemplares que apresentaram valores muito diferentes do conjunto (*outliers*). Os teores por câmara e exemplar analisado por nível se encontram no APÊNDICE III.

Os resultados da EDS mostram que, como esperado, o Ca é o elemento químico que atinge concentrações mais elevadas (82,24-90,66%), média $87,03 \pm 2,24\%$. Estes valores indicam que a parede da carapaça pode ter $\pm 10\%$ de outros elementos em sua composição. Estrôncio, que normalmente se encontra associado ao Ca, está presente em porcentagens $<2\%$ (0,09-1,56%; média $0,53 \pm 0,30\%$).

Os elementos associados a fontes essencialmente litogênicas foram identificados nas seguintes proporções: Si (<3,95%; média $1,46 \pm 1,10\%$); Al (0,05-2,91%; média $0,94 \pm 0,78\%$); Sc (<1,90%; média $0,66 \pm 0,45\%$); Mg (<1,55%; média $0,35 \pm 0,34\%$); Mo (<1%; média $0,12 \pm 0,20\%$) e S (<0,52%; média $0,06 \pm 0,14\%$). Os teores de V, K e Ti são menores que 0,50%. O fósforo também está presente em baixas porcentagens (<0,16%; média $0,04 \pm 0,04\%$).

A Figura 22 apresenta as concentrações de PTEs (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn e Zn) em duas a três câmaras, de quatro a cinco exemplares de *A. tepida* coletados em três horizontes sedimentares (0-2cm, 14-16 cm e 26-28 cm) do testemunho SP3. A análise desta Figura mostra que em todas as câmaras e espécimes analisados, os PTEs que atingiram teores mais elevados foram Pb, Hg e Sn (entre 1,5-3,5%), seguidos por Cu, Zn e Ni (entre 0,5-1%). Quando presentes, As, Cd, Co e Cr apresentaram baixas porcentagens (<0,5%).

Tabela 11: Variação global dos teores dos elementos químicos estimados por EDS em *A. tepida*, em três níveis do testemunho SP3. Legenda: Max. – máximo; Min. – mínimo; Med. – média; Desv.Pad – desvio padrão.

Elemento		Max.	Min	Med.	Desv.Pad
Al	%	2,91	0,05	0,94	0,78
As	%	0,95	0,00	0,05	0,16
Ca	%	89,92	82,24	87,24	2,16
Cd	%	0,33	0,00	0,15	0,07
Co	%	0,27	0,10	0,17	0,05
Cr	%	0,33	0,06	0,15	0,06
Cu	%	0,91	0,38	0,63	0,12
Fe	%	2,38	0,16	0,54	0,46
Hg	%	3,19	1,21	2,16	0,37
K	%	0,24	0,00	0,04	0,05
Mg	%	1,55	0,00	0,35	0,34
Mn	%	0,29	0,06	0,15	0,05
Mo	%	1,00	0,00	0,12	0,20
Ni	%	0,74	0,27	0,47	0,11
P	%	0,16	0,00	0,04	0,04
Pb	%	3,23	1,45	2,45	0,46
S	%	0,52	0,00	0,06	0,14
Sc	%	1,90	0,00	0,66	0,45
Si	%	3,95	0,00	1,46	1,10
Sn	%	2,87	0,34	1,07	0,62
Sr	%	1,56	0,09	0,53	0,30
Ti	%	0,20	0,00	0,03	0,05
V	%	0,29	0,00	0,16	0,06
Zn	%	0,72	0,13	0,38	0,10

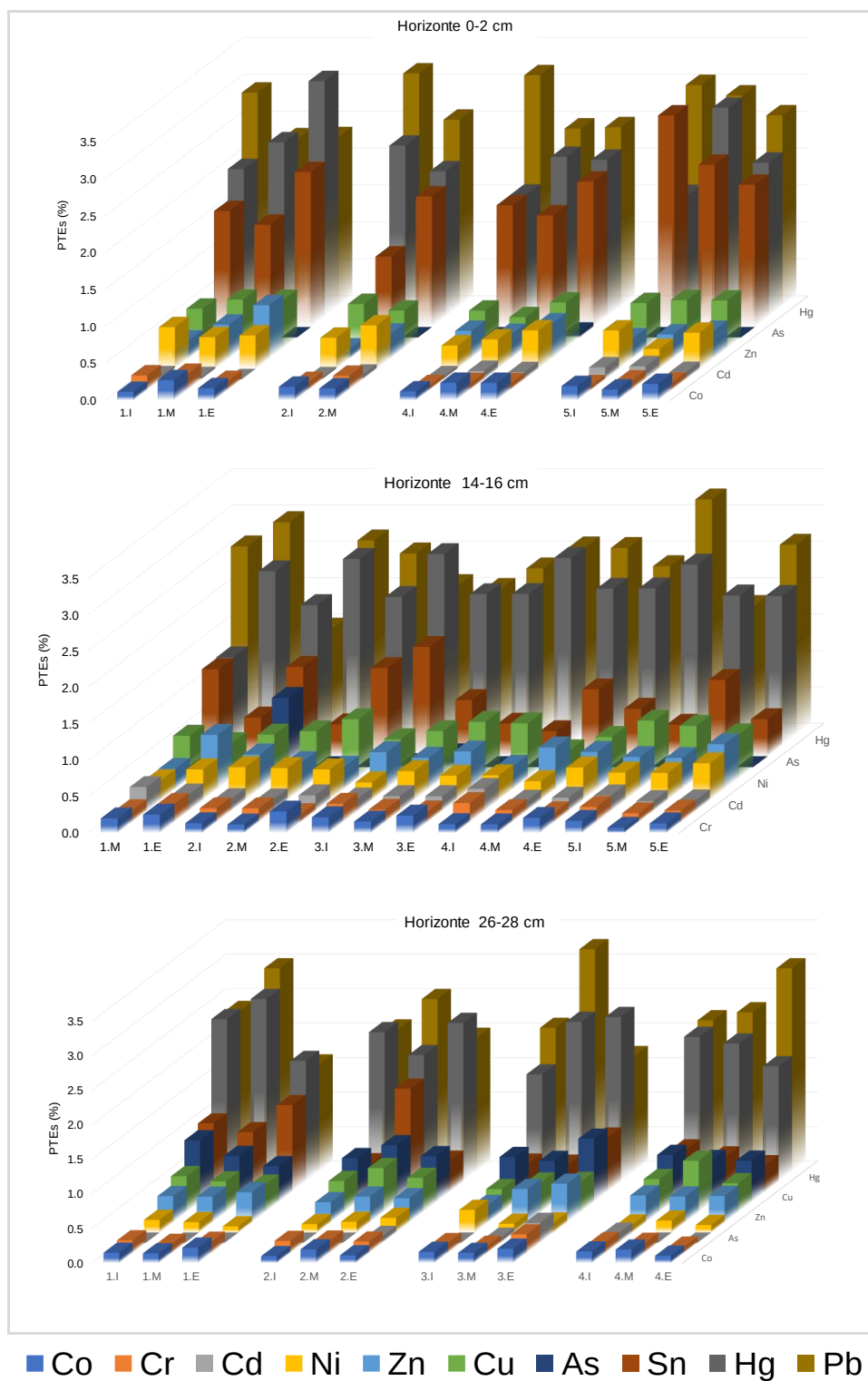


Figura 20: Teores de PTEs em duas ou três câmaras (I - Interna; M - Intermediária e; E – externa) de quatro ou cinco espécimes de *A. tepida*, recolhidos em três horizontes sedimentares (A: 0-2 cm; B: 14-16 cm; C: 26-28 cm) do testemunho do SP3.

Os valores de EF de elementos químicos essencialmente litogênicos em carapaças de *A. tepida* do testemunho SP3 (dos horizontes 0-2cm, 14-16 cm e 26-28 cm), estimados usando como linha de base as concentrações elementares dos espécimes desta espécie, recuperados de sedimentos não poluídos da Baía de Sepetiba estão apresentados na Tabela 12. Os valores de EF são em geral reduzidos, exceto para o Mg.

Os espécimes e câmaras analisados apresentam enriquecimento variável de PTEs embora valores relativamente elevados (Tabela 13) tenham sido observados para As e Cd ($EF > 5$) e para Cu, Cr, Co, Ni, Zn, Sn, Hg (valores de FE entre 2 e 3). Os maiores valores de EF foram observados nos horizontes 14-16 cm e 26-28 cm. Além disso, a maioria dos espécimes / câmaras analisados possui enriquecimento em Cd e a maioria das amostras analisadas possui uma ou mais câmaras enriquecidas em Cr.

Tabela 12: Fator de enriquecimento (EF) de elementos químicos essencialmente litogênicos, em duas a três câmaras, obtidos em quatro a cinco espécimes recuperados de *A. tepida*, em três horizontes sedimentares (A: 0-2 cm; B: 14-16 cm; C: 26-28 cm), do testemunho do SP3. Legenda: Horizontes - 0: 0-2cm, 14: 14-16 cm, 26: 26-28 cm; Espécimes: F1 a F5 (identificação numérica dada aos espécimes, de acordo com a disponibilidade para análise); Câmara: I - Interna; M - Intermediária e; E - externa. Valores de EF maiores que 2 foram sombreados.

	EF-Mg	EF-Ti	EF-Fe	EF-Al	EF-Si	EF-S	EF-Mn	EF-K	EF-Sc	EF-V	EF-Sr
0.F1.I	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F1.M	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F1.E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F2.I	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F2.M	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F4.I	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F4.M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F4.E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F5.I	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F5.M	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.F5.E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F1.M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F1.E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F2.I	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F2.M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F2.E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F3.I	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F3.M	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F3.E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F4.I	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F4.M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F4.E	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F5.I	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F5.M	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.F5.E	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F1.I	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F1.M	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F1.E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F2.I	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F2.M	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F2.E	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F3.I	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F3.M	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F3.E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F4.I	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F4.M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.F4.E	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	11.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabela 13: Fator de enriquecimento de PTEs em duas a três câmaras (Internas: *I*; Intermédias: *M*; Externas: *E*.), obtidos em quatro a cinco espécimes recuperados de *A. tepida*, em três horizontes sedimentares (A**: 0-2 cm; **B**: 14-16 cm; **C**: 26-28 cm), do testemunho SP3. Legenda: Horizontes - 0: 0-2cm, 14: 14-16 cm, 26: 26-28 cm; Espécimes: F1-F5; Câmara: *I* - Interna; *M* - Intermidiária e; *E* - externa. Valores de EF maiores que 2 foram sombreados.**

	EF-As	EF-Cd	EF-Co	EF-Cr	EF-Cu	EF-Hg	EF-Ni	EF-Pb	EF-Sn	EF-Zn
0.F1.I	0	0	1	1	1	2	1	1	1	2
0.F1.M	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
0.F1.E	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
0.F2.I	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
0.F2.M	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1
0.F4.I	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
0.F4.M	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.F4.E	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
0.F5.I	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1
0.F5.M	0	3	1	1	1	1	1	1	2	1
0.F5.E	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1
14.F1.M	0	4	1	2	1	1	2	1	0	1
14.F1.E	0	6	1	2	1	1	1	1	1	1
14.F2.I	0	4	1	3	1	1	1	1	1	1
14.F2.M	20	3	1	1	1	1	1	1	1	1
14.F2.E	0	3	1	1	1	1	1	1	0	1
14.F3.I	0	4	1	2	1	1	1	1	0	1
14.F3.M	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1
14.F3.E	4	4	1	1	1	1	1	1	0	1
14.F4.I	0	3	1	2	1	1	1	1	0	1
14.F4.M	0	5	1	1	1	1	1	1	0	1
14.F4.E	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1
14.F5.I	0	3	1	1	1	1	1	1	0	1
14.F5.M	0	4	1	2	1	1	1	1	0	1
14.F5.E	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1
26.F1.I	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1
26.F1.M	0	3	1	2	2	1	1	1	1	1
26.F1.E	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1
26.F2.I	2	3	1	2	1	1	1	1	0	1
26.F2.M	0	3	1	1	1	1	1	1	0	1
26.F2.E	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1
26.F3.I	6	5	1	1	2	1	1	1	0	2
26.F3.M	0	3	1	3	1	1	1	1	0	1
26.F3.E	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1
26.F4.I	0	2	1	1	1	1	1	1	0	1
26.F4.M	3	3	1	1	1	1	1	1	0	1
Max.	20	6	2	3	2	2	2	1	2	2

6.2. Discussão dos resultados obtidos no testemunho SP3

6.2.1. Ambiente de deposição na área de estudo

O testemunho SP3, registra os últimos ≈ 100 anos da acumulação na porção central da Baía de Sepetiba, de acordo com o decaimento de Pb^{210} e Cs^{137} , com uma taxa de acumulação estimada em torno de $1,36 \pm 0,05 \text{ cm / ano}^{-1}$. A base desse testemunho corresponde a uma facie de deposição arenosa, formada quase que essencialmente por minerais do grupo filossilicatos acompanhados por quartzo, mas com a presença de alguns minerais acessórios como k-feldspato e plagioclásio, por exemplo (Figura 16). A composição mineral da fração fina ($< 63 \mu\text{m}$) dos sedimentos variou pouco para a maioria dos minerais constituintes durante este período. A elevada presença dos filossilicatos (incluindo por exemplo, mica, caulinita, gibbsita, clorita, vermiculita, illita; média 70%) deve-se presumivelmente a ações intempéricas, ocorridas naturalmente nas rochas do embasamento do entorno da baía, permitindo assim a alteração de minerais primários para minerais de alteração. Graças às suas características morfológicas planares, ao clima úmido da região e a momentos de menor hidrodinamismo, acumulam-se em elevada concentração nesta região da Baía de Sepetiba.

As baixas proporções de quartzo, em oposição aos valores mais elevados de filossilicatos, indicam que os sedimentos não foram muito retrabalhados por correntes oceânicas, não sofreram transporte por grandes distâncias e não estiveram sujeitos a vários ciclos sedimentares. Estas evidências levam-nos a crer que a área fonte se encontra próxima do local de deposição e que corresponde muito provavelmente às rochas graníticas e gnáissicas do embasamento continental do entorno da Baía de Sepetiba. Produtos resultantes do intemperismo destas rochas terão sido lavados pela drenagem fluvial/pluvial e introduzidos no interior da Baía de Sepetiba, tal como observaram Nascimento *et al.* (2012).

A pirita, apesar de não apresentar elevados teores, esteve presente ao longo de todo o testemunho, podendo ser decorrente dos processos de degradação da MO, por organismos aeróbicos (Duleba *et al.*, 2018). A partir de 1950, demonstra concordância com os momentos de aumento do percentual de sedimentos finos. A presença de minerais acessórios (ex. hematita/maghemita) encontrados da base do testemunho a profundidade datada sendo de 1963, pode estar associada ao processo de oxidação de minérios de ferro, em ambiente mais oxigenado.

As baixas concentrações de calcita (média de 0,20%) na porção central da baía, assim como o esgotamento do oxigênio a partir de processos de oxi-redução indicam que o ambiente não é propício à vida de organismos com conchas e carapaças carbonáticas e que provavelmente não é favorável à preservação dos restos destes organismos, permitindo nos inferir que este seja um dos fatores definidores da baixa densidade de foraminíferos nessa porção da Baía de Sepetiba. A abundância muito reduzida de foraminíferos nas amostras do testemunho SP3 e a sua má preservação apoiam esta dedução. Já a presença de minerais

acessórios (ex. hematita/maghemita) de 1963 para a base do testemunho, pode estar associada ao processo de oxidação de minérios de ferro, em ambiente mais oxigenado.

Outra característica peculiar deste testemunho é o aumento dos minerais anidrita e bassanita em períodos anteriores a 1930. Não se sabe até então qual a origem destes minerais, podendo ser derivados da lavagem de rochas do embasamento. Outra possibilidade existente é que, eles podem ter sido formados *in situ*, em fases em que o sedimento esteve exposto a processos subaéreos ou ainda terem sido transportados e depositados na área de estudo a partir da planície hipersalina de Guaratiba (apicum) (Pellegrini, 2000).

Outro importante resultado a observar é a variação dos valores de $\delta^{15}\text{N}$, onde o aumento a partir de 1940 pode vir a marcar a troca entre o sistema fluvial e marinho nesta zona interna da baía e derivar da agricultura em áreas adjacentes. Oliveira *et al.* (2014) inferiram algo semelhante para a embocadura do estuário do Rio Capibaribe. Porém, observa-se que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ decresceram significativa e bruscamente em torno de 1950, associados ao aumento da razão C/N e decréscimo de N, e de forma gradual entre 1983 e a atualidade, em coincidência com um aumento gradual dos valores de N e TOC. O fato do Nitrogênio ser conhecidamente um importante nutriente para as plantas indica que este pode vir a ter um importante papel no aumento da produtividade primária na região, acelerando assim processos de eutrofização do ambiente (Dumon & Ernst, 1988; Lyu *et al.*, 2017).

No que diz respeito às características granulométricas do testemunho SP3, é possível identificar dois períodos. O primeiro ocorrido entre 1931 e 1946, registrado da base até a porção intermediária do testemunho, constituído por sedimentos de maior granulometria, com baixa seleção e assimetria negativa e o segundo da porção intermediária até o topo. Essa característica permite pressupor duas hipóteses para o primeiro período.

A primeira tende a ser derivada de fontes naturais - pretéritas a este período de decantação de grãos do tipo lamosos derivados fortemente da influência antrópica – onde poderão ter ocorrido condições de maior energia no sistema deposicional que teriam possibilitado o transporte de sedimentos arenosos das areias de linha de praia da região de Sepetiba, compondo assim o antigo fundo da baía. A segunda hipótese recorre a origem com a ação antrópica, onde estes sedimentos poderão também ter relação com o descarte de areia de construção civil ou extração mineral de areia, na sequência de atividades antrópicas desenvolvidas na região de Seropédica (atividade econômica muito importante nesta região), motivada pelo crescimento populacional e industrial muito grandes no entorno da baía.

O segundo período, registrado desde 1946 até aos dias atuais, da porção intermediária ao topo do testemunho, caracteriza-se pela mudança brusca e significativa na dimensão média do sedimento, que vai se tornando progressivamente mais fino. O aumento da acumulação de sedimentos finos nesta região interna da Baía de Sepetiba tem sido demonstrada por diversos estudos efetuados na região. Cita-se a título de exemplo, os trabalhos de Barcellos *et al.* (1997) e de Gallo *et al.* (2012). Barcellos *et al.* (1997) observaram que as partículas finas têm um longo tempo de residência neste sistema. Gallo *et al.* (2012)

constataram um aumento da deposição de sedimentos finos no interior da Baía de Sepetiba depois das obras de engenharia de transposição do Rio Paraíba do Sul, para abastecer o Rio Guandú. Outro fator que pode ter influenciado nessas mudanças foi o aumento do transporte e a introdução desse tipo de sedimento para o interior da B. de Sepetiba como consequência/derivado da atividade antrópica.

6.1.1. Sedimentos contaminados da porção central da Baía de Sepetiba

Da base em direção ao topo do testemunho SP3 verifica-se, uma tendência crescente dos valores de TOC, carbonatos, N, S e de sedimentos finos, indicando a ocorrência de condições sub-óxicas na maior parte do SP3 (Shawar *et al.*, 2018). Esta tendência torna-se clara a partir de 1950 e é mais marcada a partir de 1970, período esse que coincide com o aumento da demanda econômica na região.

Os valores da razão C/S (média $1,98 \pm 1,04$ %; é apenas superior a 3 em dois horizontes situados na seção intermediária do testemunho) indicam uma condição sub-óxica para os sedimentos presentes na maior parte dos horizontes. Esta condição poderia ser consequência da degradação da matéria orgânica depositada na área (Duleba *et al.*, 2018). A presença de matéria orgânica favorece a atividade heterotrófica dos organismos que dela se alimentam. Os processos de oxidação da matéria orgânica diminuem sua preservação e o consumo de oxigênio no decurso dos processos de sua degradação, por organismos aeróbicos, leva à sua rápida escassez em camadas sedimentares subsuperficiais, concordando com o inferido anteriormente sobre a ocorrência de condições sub-óxicas em grande parte deste testemunho.

A acumulação de sedimentos finos pode ser uma consequência de atividades antrópicas na região, como foi referido anteriormente, assim como o aumento seguido dos teores de matéria orgânica. Uma outra evidência da crescente influência antrópica na região é o enriquecimento em elementos químicos potencialmente tóxicos, como por exemplo o Cd, Zn, Cr e Sn.

Os valores de EF revelam que os elementos químicos que mais aumentaram na região, depois de 1980, foram Cd, Zn e Sn (Tabela 9). Os dois primeiros mostram uma tendência de enriquecimento crescente desde 1970. Os valores de EF de Sn aumentam a partir de 1955 atingindo um pico máximo em 1995 e reduzindo depois desta data. Por outro lado, os valores de EF de Co, Pb e Ni aumentaram significativamente, principalmente entre 1915 e 1930 (Tabela 9).

De acordo com a classificação de Sutherland (2000), registrou-se na área de estudo um enriquecimento moderado a significativo de Cd e Zn desde 1980; um enriquecimento moderado de Cu e Sn em torno de 1980 e 1995, respectivamente; e um enriquecimento de Ni e Zn, significativo de Pb e extremamente elevado de Co entre 1915 e 1930.

De acordo com os valores do Índice de geoacumulação de Müller (1986), a porção superior do testemunho SP3 (de 1980 a 1998) representa um pacote de 42 cm de sedimentos potencialmente perigosos, registrando um enriquecimento moderado e significativo de Cd e Zn. A Companhia Ingá Mercantil foi responsável pelo despejo irregular de rejeitos ricos em Cd e Zn, assim como rejeitos ricos em As. E este período coincide em boa parte com o da atuação da Companhia Siderúrgica Ingá Mercantil na região, encerrada em 1998 (Figura 20). Mesmo após o encerramento de suas atividades continuaram a entrar na baía poluentes acumulados por esta empresa na sua área de acúmulo de rejeitos.

O elevado aumento no enriquecimento destes metais é atribuído principalmente ao crescimento populacional e aumento da atividade industrial no entorno da Baía de Sepetiba (Magalhães *et al. et al.*, 2001; Wasserman *et al. et al.*, 2001; Molisani *et al. et al.*, 2004; Rocha *et al. et al.*, 2010; Araújo *et al. et al.*, 2017). E coincide com o período de funcionamento da Companhia Siderúrgica Ingá Mercantil, encerrada em 1998 (Figura 20).

Outro efeito pode ter sido causado pela remobilização de sedimentos contaminados anteriormente por metais (durante o período de funcionamento desta empresa), através de dragagens efetuadas para a construção de portos ou aprofundamento de canais para permitir a navegação e o acesso aos portos. Esses metais poderão ter entrado na coluna de água e ter sido redistribuídos por vastas áreas da Baía de Sepetiba.

Tanto os índices PLI e SPI estimados com base nos níveis de toxicidade adotados por Singh *et al.* (2012) quanto os valores de EF para Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn sugerem que os sedimentos estão classificados como “moderada” a “altamente poluídos” por volta de 1930 e entre 1980-2015.

Os valores de PLI e de SPI aumentaram significativamente depois de 1970 atingindo valores mais elevados entre 1985-1995 e evidenciando um processo de degradação ambiental. Depois dessa data, ocorre uma diminuição desses valores, possivelmente associada à construção do atual Porto de Itaguaí e a redução dos referidos valores poderá ter relação direta com o processo de dragagem e consequentemente retirada de sedimentos contaminados. Situação semelhante foi observada por Alves Martins *et al.* (2019) para o mesmo período em área próxima.

Assim, os valores de EF, PLI e SPI sugeriram a ocorrência de dois períodos marcados por enriquecimento de metais na baía, um ocorrido na primeira metade do século XX e o segundo, entre 1975 e o presente.

6.1.2. Retenção de contaminantes em carapaças de foraminíferos como resultado da poluição?

A aplicação de EDS para quantificar a composição química das carapaças de foraminíferos ainda é uma técnica que apresenta pouquíssimos adeptos e muitos desafios nas análises. A análise de EDS permitiu observar a acumulação de elementos químicos nas carapaças provavelmente por estarem biodisponíveis no ambiente. Apesar de não se

observar uma correspondência entre o aumento das concentrações de elementos químicos nos sedimentos e um aumento proporcional nas carapaças de foraminíferos, o que pode se inferir é que ao secretar uma nova câmara o foraminífero possa integrar metais disponíveis no ambiente.

De acordo com Samir & El-Din (2001), num estudo realizados nas baías de El-Mex e Miami no Egito, os elementos químicos aprisionados nas carapaças poderão ser uma forma de evitar possíveis efeitos nefastos causados por estes, aprisionando-os nas carapaças calcárias, resultando por vezes em deformidade na arquitetura das câmaras. Os dados adquiridos poderão contribuir para uma melhor compreensão da forma como os foraminíferos secretam suas carapaças e conseqüentemente inferir como os metais os afetam.

Apesar de os exemplares examinados não aparentarem marcantes deformidades na arquitetura das testas, alguns autores destacam que a poluição do ambiente pode vir a causar deformações nas carapaças dos foraminíferos (Herricks e Shaeffer, 1985). Sendo assim, a presença de PTEs como Pb, Hg e Sn em altas concentrações na carapaça é uma hipótese para a baixa calcificação e, conseqüentemente, para a extrema fragilidade das carapaças quando manipuladas. Autores como Yanko e Kronfeld (1992 e 1993) afirmam que o envenenamento por metais traços enfraquece a barreira biológica que diferencia a captação de cátions bivalentes (Mg e Ca) da água do mar.

A diferença específica entre os elementos aprisionados no sedimento e nas testas pode indicar que a presença de certos metais poluentes não é tão tóxica para os organismos quanto o Pb, Hg e Sn e, desta forma, os foraminíferos tendem a armazenar substâncias mais tóxicas em suas carapaças, como forma de expeli-las do citoplasma.

O EF analisado por meio do EDS para as testas de foraminíferos mostrou que de forma geral, as concentrações de Cd é superior as retidas para Zn (tabela 13), contrário ao enriquecimento observado para os sedimentos.

Ao considerarmos os critérios utilizados por Sigh *et al.* (2012) para grau de toxicidade de um elemento para a biota, tem-se que o Zn tem um grau de toxicidade muito menor que o Cd (1:300, respectivamente), esse critério pode vir a ser uma luz no entendimento sobre os teores de elementos químicos retidos nas testas de *A. tepida*, onde estes representam um possível aprisionamento do elemento que mais agrediria esse organismo. Mesmo que as análises de EDS não permitam ainda comparar os teores os elementos químicos retidos nas testas com áreas com maior ou menor nível de contaminação, é possível inferir que: os enriquecimentos registrados nas testas são de caráter essencialmente tóxicos, sendo o enriquecimento de elementos ditos litogênicos quase nulo. O Cd, por exemplo, foi o elemento mais consistente em todos os exemplares analisados, para os 3 três horizontes sedimentares escolhidos. No caso da porção que compreende os 0 – 2 cm (topo do SP3) se observou que o EF-Sn foi o que se mostrou ligeiramente maior, concordando com os níveis de enriquecimento observados junto ao sedimento.

Capítulo 7

TESTEMUNHO SP7

7.1. Resultados obtidos no testemunho SP7

O testemunho SP7 (114 cm), rico em água, possuía coloração cinza escura no momento de abertura. O processo de triagem dos horizontes sedimentares mostrou que a abundância de foraminíferos é muito reduzida neste testemunho. Apenas foram encontrados 18 espécimes no horizonte 34-36 cm, pertencentes ao gênero *Elphidium* e *Ammonia*, muito intemperizados, com suas testas muito dissolvidas, e correspondendo a material transportado (alóctone). Por essa razão apenas são analisados dados sedimentológicos no testemunho SP7.

O resultado da datação por radiocarbono, num fragmento concha de molusco, no nível de 41 cm, revelou uma idade convencional de radiocarbono 8.100 ± 480 anos BP e a Idade calibrada (2 sigma) 10171 a 7981 anos cal BP.

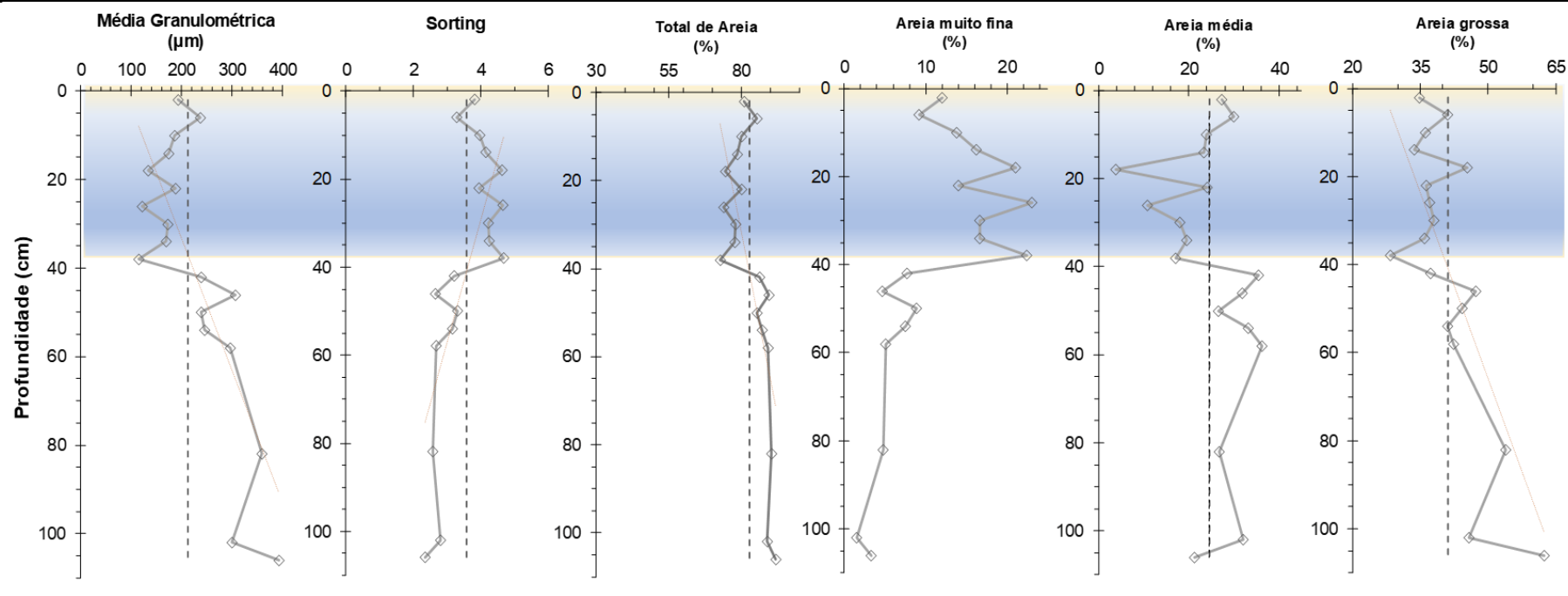
7.1.1. Granulometria dos sedimentos do testemunho SP7

O testemunho é constituído principalmente por sedimentos areno-lamosos, com média granulométrica entre 55,4 e 393,2 μm (média $212,1 \pm 86,8 \mu\text{m}$), compostos predominantemente por areia + cascalho ($>63 \mu\text{m}$) cuja abundância relativa varia pouco (38,65%-91,81%; média 80,08%), à exceção do nível de 120 cm, em que esta fração sofre um decréscimo abrupto (Figura 23 A). Os sedimentos do testemunho SP7 são pobremente selecionados e trimodais.

Os gráficos apresentados na Figura 23-A mostram que a média granulométrica dos sedimentos deste testemunho é menor no topo e no nível de 120 cm. Na seção superior do testemunho aumenta ligeiramente a percentagem da fração fina, mas sobretudo de areia muito fina (Figura 23).

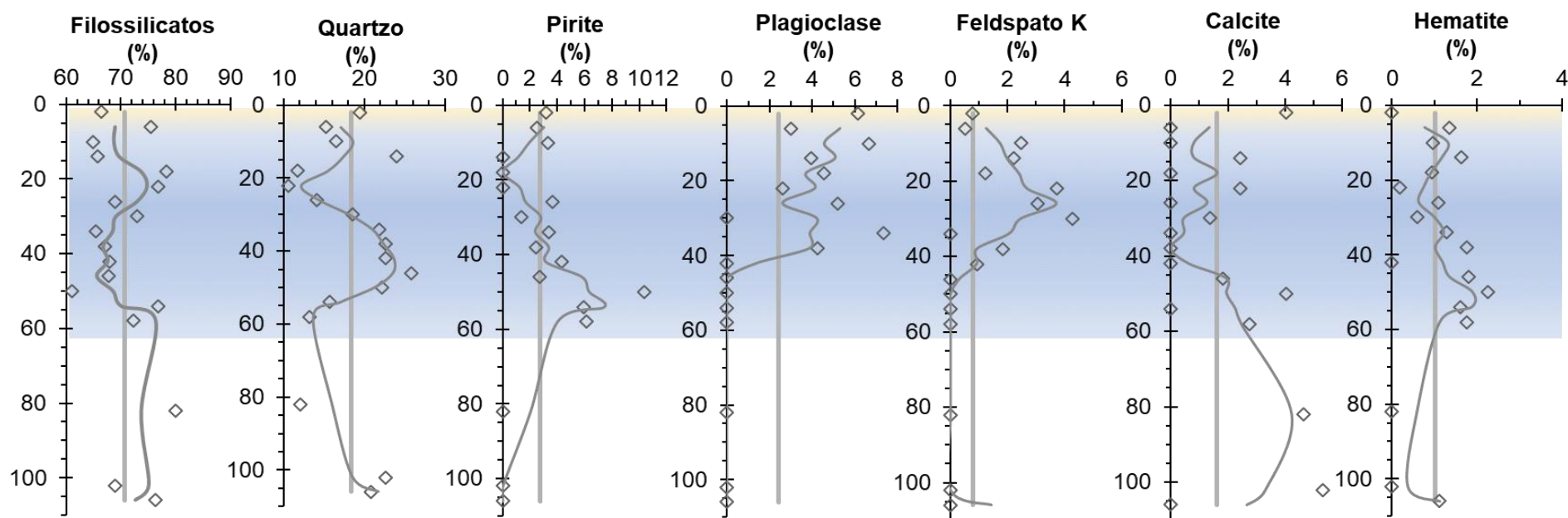
7.1.2. Mineralogia dos sedimentos do testemunho SP7

A fração fina dos sedimentos ($<63\mu\text{m}$) é constituída essencialmente por minerais siliciclásticos (Tabela 14; Figura 23 - B), sendo dominada por filossilicatos (média 71%; 61,1% - 80%). O quartzo é o segundo mineral mais abundante (10,6% - 25,8%, média: 18,3%). A pirita, com teores similares aos do testemunho SP3 (0%-10,4%, média: 2,7%), não apresentou grandes variações. Na seção superior do testemunho, mais fina, ocorre uma maior proporção de plagioclásios (0% - 7,4%, média: 2,4 %), feldspato potássico (0 % - 4,3%, média: 1,2%) e uma redução acentuada na percentagem de calcita (0% - 5,3 %, média: 1,6%) (Figura 23 - B).



A.

Figura 21: A. Média granulométrica, grau de seleção dos grãos (*sorting*) e percentagem relativa de várias frações granulométricas. B. Percentagem dos principais minerais da fração fina. Foi sombreada a seção superior, mais fina do testemunho SP7. As linhas tracejadas representam a média, enquanto as linhas contínuas representam a média móvel



B.

Figura 22 (Cont.): **A.** Média granulométrica, grau de seleção dos grãos (sorting) e percentagem relativa de várias frações granulométricas. **B.** Percentagem dos principais minerais da fração fina. Foi sombreada a seção superior, mais fina do testemunho SP7. As linhas tracejadas representam a média, enquanto as linhas contínuas representam a média móvel.

Tabela 14: Percentagem dos minerais na fração sedimentar inferior a 63 µm do testemunho SP7, em função da profundidade, e respectivos valores máximos, mínimos e médios. Minerais que estiveram em menos de três horizontes foram considerados acessórios, e por esse fator foram retirados do cálculo das médias, a exemplo do Anatásio, Aragonita, Dolomita e Opala C/T.

Horizonte	Anidrita	Calcita	Feldspato potássico	Filosilicatos	Hematita	Magnetita/ Maghemita	Plagioclásio	Pirita	Quartzo	Siderita
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2	0,0	4,0	0,8	66,4	0,0	0,0	6,2	3,2	19,5	0,0
6	0,0	0,0	0,5	75,5	1,4	0,0	3,0	2,5	15,3	1,8
10	3,2	0,0	2,5	64,9	1,0	1,9	6,7	3,3	16,5	0,0
14	0,0	2,4	2,2	65,7	1,6	0,0	3,9	0,0	24,0	0,0
18	0,0	0,0	1,2	78,4	0,9	0,0	4,5	0,0	11,8	3,1
22	1,3	2,4	3,7	76,9	0,2	2,3	2,6	0,0	10,6	0,0
26	0,0	0,0	3,1	68,9	1,1	0,0	5,2	3,7	14,1	0,0
30	0,0	1,4	4,3	73,0	0,6	0,9	0,0	1,4	18,5	0,0
34	0,7	0,0	0,0	65,3	1,3	0,0	7,4	3,4	21,9	0,0
38	0,0	0,0	1,8	67,1	1,8	0,0	4,3	2,4	22,6	0,0
42	0,0	0,0	0,9	67,9	0,0	0,0	0,0	4,3	22,7	0,0
46	0,0	1,8	0,0	67,8	1,8	0,0	0,0	2,7	25,8	0,0
50	0,0	4,0	0,0	61,1	2,3	0,0	0,0	10,4	22,2	0,0
54	0,0	0,0	0,0	76,8	1,6	0,0	0,0	5,9	15,7	0,0
58	0,0	2,8	0,0	72,2	1,8	0,0	0,0	6,1	13,1	0,0
82	0,0	4,6	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	3,3
102	0,0	5,3	0,0	68,9	0,0	0,0	0,0	0,0	22,7	3,1
106	0,0	0,0	0,0	76,3	1,1	0,0	0,0	0,0	20,8	1,7
Máximo	3,2	5,3	4,3	80,0	2,3	2,3	7,4	10,4	25,8	3,3
Mínimo	0,0	0,0	0,0	61,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	0,0
Médio	0,3	1,6	1,2	70,7	1,0	0,3	2,4	2,7	18,3	0,7

7.1.3. Resultados geoquímicos dos sedimentos do testemunho SP7

Os valores de concentração de matéria orgânica total e carbonatos nos níveis analisados do testemunho SP7 variaram entre 0.7-2.1% (média $0.5 \pm 1.5\%$) e 1.1-3.9% (média $2.5 \pm 0.9\%$), respectivamente. Os teores máximos, mínimos, médios e desvio padrão dos elementos químicos analisados nos sedimentos do testemunho SP7 encontram-se listados na Tabela 15. As concentrações de vários elementos químicos é mais elevada na seção superior do testemunho, como por exemplo As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Ni, P, Cc, Ti, Zn, enquanto outros aumentam na seção intermediária (por ex. Mo, Hg, Pb, S e V) e outros na seção inferior (por ex. Th). A Figura 24 ilustra alguns destes padrões.

Os fatores de enriquecimento determinados para os PTEs ao longo do testemunho SP7 estão listados na Tabela 16. Os elementos químicos que atingem valores mais elevados são Cd, As, Zn, e Co. Os valores de Igeo determinados também para os PTEs mostra valores mais elevados para os referidos elementos químicos e para o Ni.

Tabela 15: Valores máximos (Max.), mínimos (Min.), médios (Med.) e desvio padrão (Desv.Pad) dos teores dos elementos químicos analisados nos sedimentos do testemunho SP7.

Elemento		Max.	Min.	Med.	Desv.Pad	Elemento		Max.	Min.	Med.	Desv.Pad
Al	%	4,5	3,2	4,1	0,4	Mo	mg kg ⁻¹	11,4	0,2	3,4	4
As	mg kg ⁻¹	19,1	0,1	8,2	5,5	Na	%	0,8	0,2	0,5	0,1
Ba	mg kg ⁻¹	48,5	23,1	38,7	7,8	Ni	mg kg ⁻¹	22,2	4,1	14,4	7,5
Bi	mg kg ⁻¹	0,4	0,2	0,3	0,1	P	%	0,1	0	0	0
Ca	%	0,4	0,1	0,2	0,1	Pb	mg kg ⁻¹	73,5	21,7	35,1	14,2
Cd	mg kg ⁻¹	3,1	0	0,5	1	S	%	2,8	0,1	0,9	0,7
Co	mg kg ⁻¹	11,4	1,5	6,8	4,1	Sb	mg kg ⁻¹	0,5	0	0,2	0,1
Cr	mg kg ⁻¹	70,7	39,1	56,5	11	Sc	mg kg ⁻¹	9,6	4,4	7,5	2,1
Cu	mg kg ⁻¹	25,3	2,5	10	6,6	Se	mg kg ⁻¹	1,7	0,3	0,8	0,4
Fe	%	4,6	0,7	3,4	1,2	Sr	mg kg ⁻¹	49,9	22,6	35,3	7,9
Ga	mg kg ⁻¹	31,2	11,7	16,7	6,9	Th	mg kg ⁻¹	18,9	8,7	11,7	2,8
Hg	mg kg ⁻¹	0,4	0	0,1	0,1	Ti	%	0,068	0,005	0,037	0,024
K	%	0,8	0,2	0,5	0,3	Tl	mg kg ⁻¹	0,5	0,2	0,3	0,1
La	mg kg ⁻¹	34,9	12,5	25,5	8,1	U	mg kg ⁻¹	17,1	1,3	6,2	4,6
Mg	%	1,5	0,3	0,9	0,5	V	mg kg ⁻¹	87	51	60,2	8,7
Mn	mg kg ⁻¹	663	31	283,4	188,2	Zn	mg kg ⁻¹	577,8	29,5	123,9	150,9

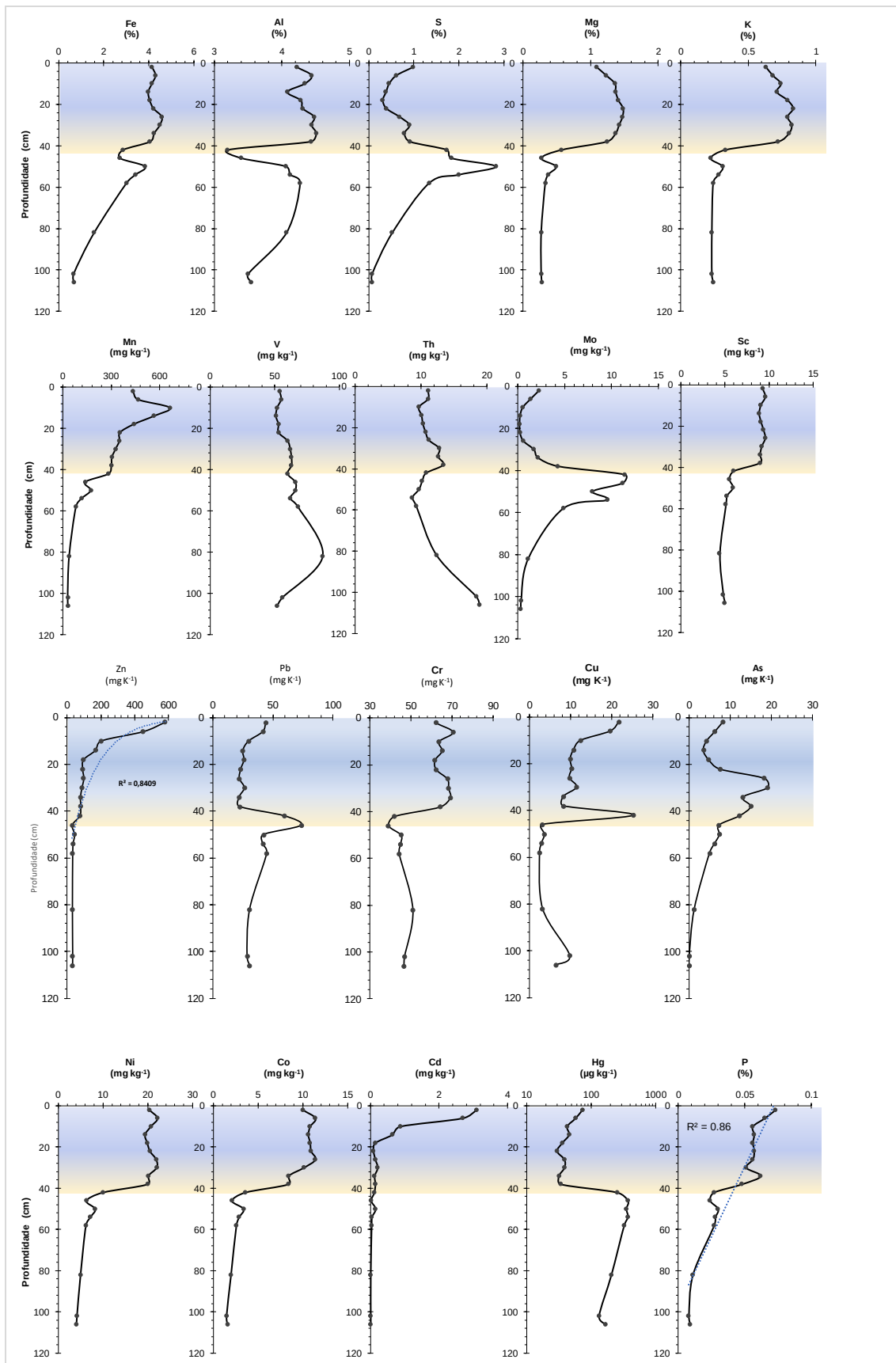


Figura 23: Concentrações dos elementos químicos ao longo do testemunho SP7. A seção superior do testemunho, onde são maiores as concentrações de vários elementos químicos, foi sombreada. Foi representada a linha de tendência do Zn e do P e os respectivos R^2 .

Tabela 16: Fatores de enriquecimento (EF) dos PTEs em função da profundidade (cm) no testemunho SP7. Foram assinalados os valores >2.

Prof. (cm)	EF-As	EF-Cd	EF-Co	EF-Cr	EF-Cu	EF-Hg	EF-Ni	EF-Pb	EF-Zn
2	1	17	2	1	2	0	2	1	9
6	1	14	3	1	2	0	2	1	7
10	1	5	3	1	1	0	2	0	3
14	1	4	3	1	1	0	2	0	3
18	1	1	3	1	1	0	2	0	2
22	1	0	3	1	1	0	2	0	1
26	2	1	3	1	1	0	2	0	2
30	3	1	2	1	1	0	2	0	1
34	2	1	2	1	1	0	2	0	1
38	2	1	2	1	1	0	2	0	1
42	3	1	1	1	4	1	1	1	2
46	2	0	1	1	1	1	1	2	1
50	2	1	1	1	1	1	1	1	1
54	2	0	1	1	1	1	1	1	1
58	1	0	1	1	1	1	1	1	1
82	0	0	1	1	1	1	1	1	1
102	0	0	1	1	2	1	1	1	1
106	0	0	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 17: Valores de I_{geo} dos PTEs em função profundidade (cm) no testemunho SP7. Foram assinalados os valores ≥ 2 .

Prof. (cm)	$I_{geo}\cdot As$	$I_{geo}\cdot Cd$	$I_{geo}\cdot Co$	$I_{geo}\cdot Cr$	$I_{geo}\cdot Cu$	$I_{geo}\cdot Hg$	$I_{geo}\cdot Ni$	$I_{geo}\cdot Pb$	$I_{geo}\cdot Zn$
2	0	4	2	0	2	-2	1	0	4
6	0	4	2	0	1	-3	1	0	3
10	0	3	2	0	1	-3	1	-1	2
14	-1	2	2	0	1	-3	1	-1	2
18	0	0	2	0	0	-4	1	-1	1
22	0	-1	2	0	1	-4	1	-1	1
26	2	0	2	0	0	-3	1	-1	1
30	2	0	2	0	1	-3	1	-1	1
34	1	0	1	0	0	-4	1	-1	1
38	1	0	1	0	0	-4	1	-1	1
42	1	0	0	-1	2	-1	0	0	1
46	0	-3	-1	-1	-1	0	0	0	-1
50	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
54	0	-2	0	-1	-1	0	0	0	-1
58	0	-2	0	-1	-2	0	0	0	-1
82	-2	-7	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
102	-6	-7	-1	-1	0	-2	-1	-1	-1
106	-9	-4	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1

Os gráficos dos valores de EF mostram que o enriquecimento de Cd e o Zn aumenta significativamente no topo do testemunho, assim como de Co e Ni. O aumentos dos valores

de EF de As, Cu e Pb é sub-superficial (Figura 25). Os gráficos de PLI e SPI representados na Figura 26 mostram também um aumento significativo destas variáveis na seção superior do testemunho SP7.

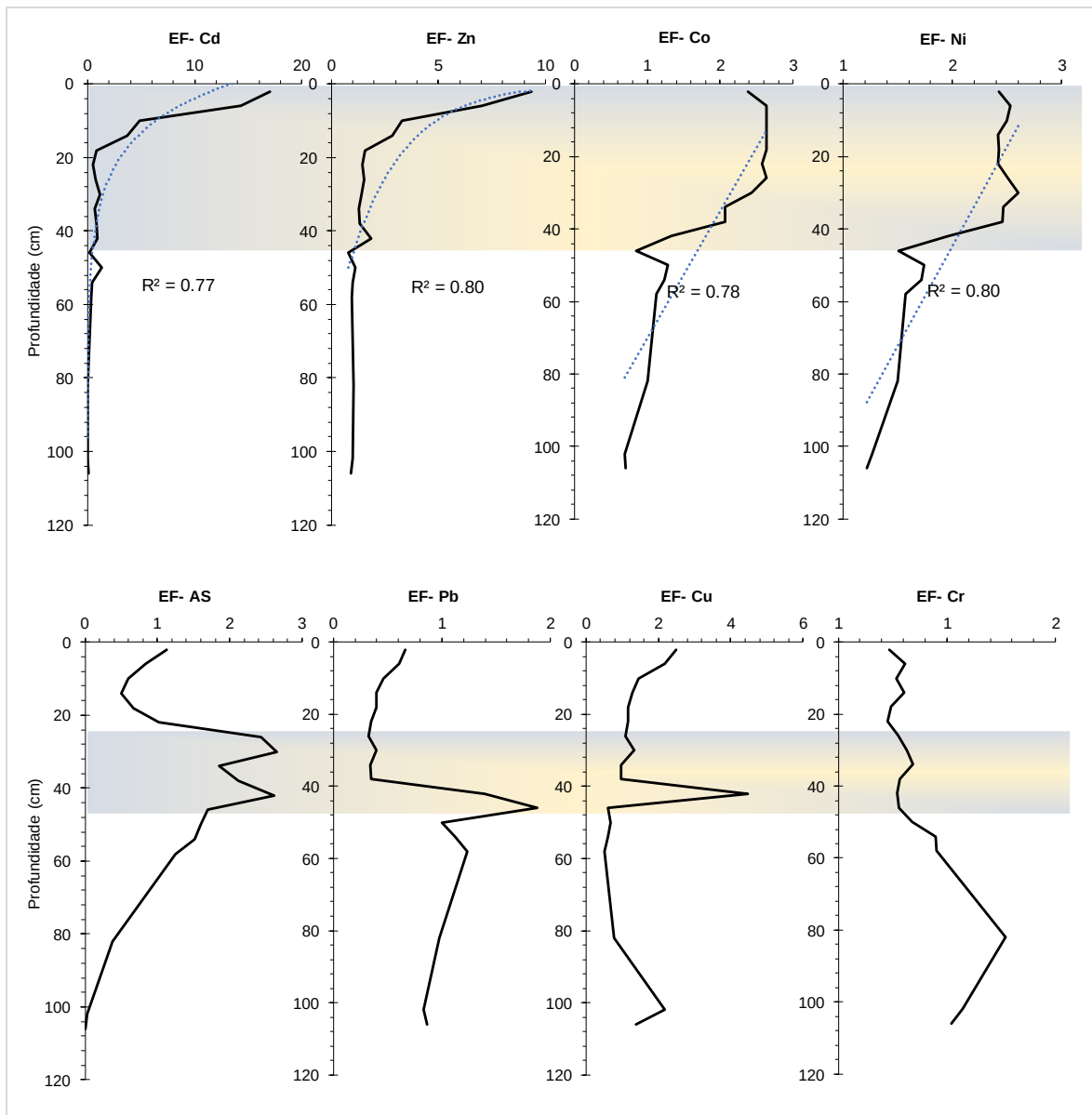


Figura 24: Gráficos de valores de EF dos PTEs do testemunho SP7.

7.1.4. Resultados estatísticos dos dados sedimentológicos obtidos no testemunho SP7.

O gráfico dos dois primeiros fatores da Análise de Componentes Principais (PCA), com base numa seleção de variáveis geoquímicas, mineralógicas e de tamanho de grão estão apresentados na Figura 27. Apenas foram consideradas as variáveis com correlação positivas com um dos dois primeiros fatores da PCA. Estes explicam a maior parte da variabilidade dos dados (total: 64%; fator 1: 44%; fator 2: 20%). As variáveis estão associadas em 3 grupos principais em função da sua correlação com os dois principais fatores.

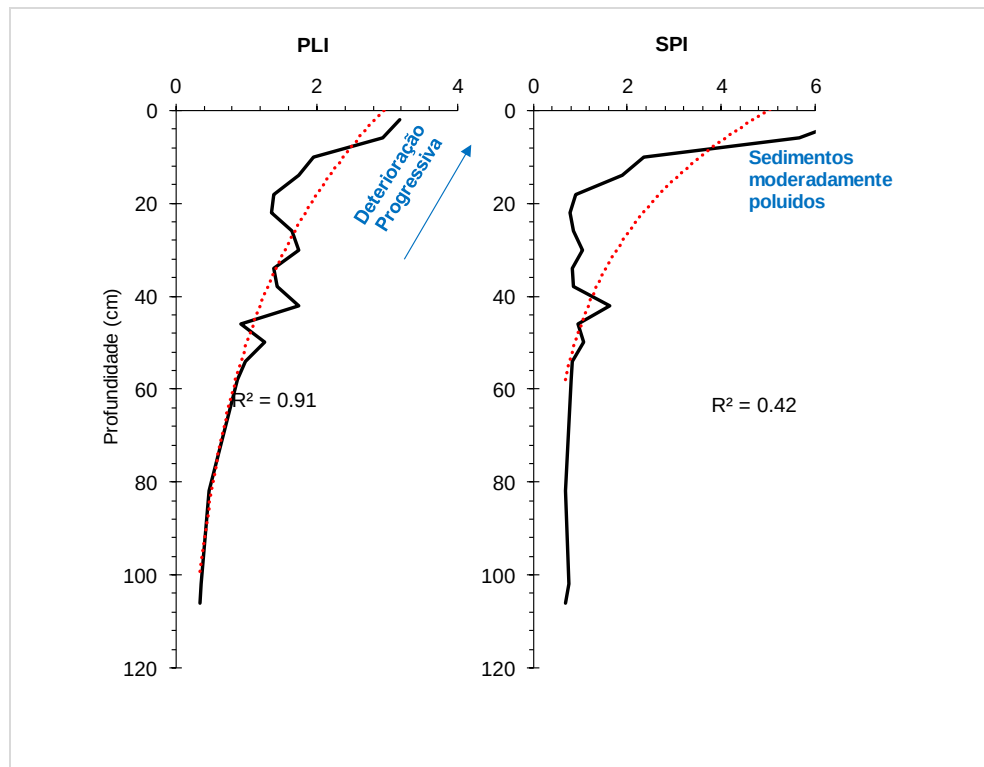


Figura 25: Gráficos dos valores de PLI e SPI em função da profundidade no testemunho SP7.

Os resultados da PCA mostram que a maior parte dos elementos químicos (tais como As, Fe, Ti, Mn, P, Ni, Co, Zn, Cd, Cu, Al, Sc, Ti, La, Ca, K, Mg, Sr, Cr, Ba) está positivamente relacionada com a fração fina e a areia muito fina, os teores de MOT, plagioclásio e feldspato potássico e negativamente relacionada com os teores de Pb, Ga, Se, V, Hg. Estão positivamente correlacionados com o fator 2 o Mn, Fe, Ti, As, U, Ag, S, Mo, Pb e Ga assim como as frações areia fina e média e a pirita. Estes resultados mostram que existe uma certa relação entre a concentração dos elementos químicos analisados e a granulometria e a componente mineralógica dos sedimentos. Os gráficos dos valores, em função da profundidade, dos fatores *loading* 1 e 2 da PCA (Figura 27) foram apresentados na Figura 28, mostrando diferenças significativas no conjunto das variáveis subordinadas à granulometria e fonte dos sedimentos e a aspectos diagenéticos.

As mesmas variáveis usadas na PCA foram submetidas à análise de agrupamento (classificação em modo Q), tendo-se usado para o efeito as correlações de Pearson e como método de agrupamento, as ligações completas. Os resultados apresentados na Figura 29 permitiram reconhecer três grupos/sub-grupos de horizontes no testemunho SP7: 1. - seção 2-38 cm; 2.1 - seção 42-58 cm e; 2.2 – seção 82-102 cm. O cálculo da média dos valores das variáveis analisadas permite verificar que a seção 2-38 cm é caracterizada por valores mais elevados de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Ni, P, Sc, Ti, Tl, Zn, MOT, carbonatos, feldspato potássico e plagioclásio. A seção 42-58 cm caracteriza-se pelo aumento de Ga, Hg, Mo, Pb, S, U e pirita e a seção 82-102 cm por valores mais baixos das variáveis que aumentam na seção do topo e pelo aumento de Th e calcita.

The figure consists of two side-by-side line graphs. The left graph is titled 'Factor Loading 1' and the right graph is titled 'Factor Loading 2'. Both graphs share a common y-axis labeled 'Profundidade (cm)' ranging from 0 to 100. The x-axis for both graphs ranges from -3 to 2. A horizontal blue band is drawn across both graphs at a depth of approximately 40 cm, labeled 'DS' on the right and '10.171 a 7.981 anos cal BP' in the center. Below the graphs, two green arrows point in opposite directions: one to the left labeled 'Redução das condições hidrocinâmicas' and one to the right labeled 'Alterações Diagenéticas'.

Figura 27: Gráficos dos fatores loading 1 e 2 da PCA da Figura 28, em função da profundidade, com indicação em sobreado do horizonte de descontinuidade sedimentar (DS), inferindo pela datação uma perda de registro sedimentar. A análise dos fatores loading do PCA ressaltam também as mudanças ocorridas tanto com as variações nas condições hidrodinâmicas quando as de caráter diagenéticos ocorridas ao longo do período registrado nos horizontes sedimentares.

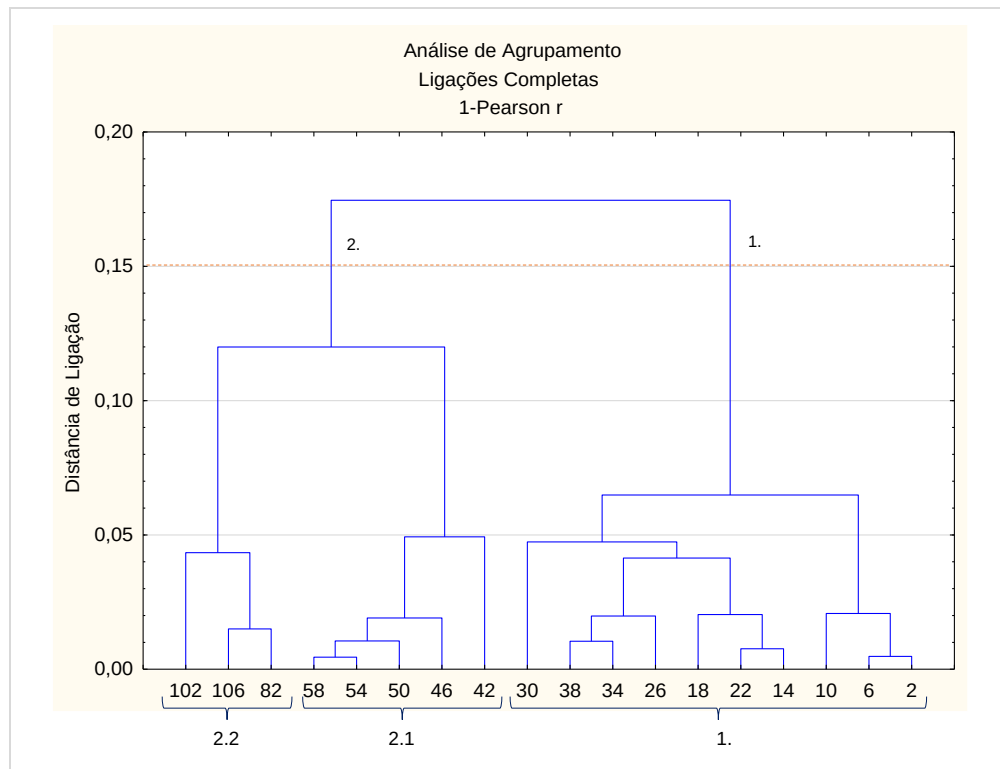


Figura 28: Análise de classificação em modo Q, baseada nas mesmas variáveis usadas na PCA, tendo-se usado para o efeito as correlações de Pearson e como método de agrupamento as ligações completas. O grupo 1 corresponde à seção 2-38 cm enquanto os grupos 2.1 e 2.2 correspondem, respectivamente, às seções 42-58 cm e 82-102 cm.

7.2. Discussão

7.2.1. Registro sedimentar.

O testemunho SP7 comporta uma sequência sedimentar areno-lamosa granodecrescente, composta essencialmente por areia fina a muito fina e minerais siliciclásticos (Figura 23 – A e B), associados primordialmente a estas (em torno dos 20 cm de profundidade) e sedimentos de maior granulometria, compreendendo areia média abaixo dos 120 cm.

A seleção dos grãos (*sorting*) ao longo do testemunho o caracterizou com sendo muito moderadamente selecionado na sua base até os 88 cm de profundidade a pobremente selecionado desta profundidade até o topo, sendo a fração $>63\ \mu\text{m}$ (areia + cascalho; média de 80%) predominante ao longo da maior parte do testemunho. A maior parte dos sedimentos apresenta assimetria negativa no sentido das areias, além de caráter platicúrtico a muito platicúrtico, evidenciando o caráter de baixa seleção observado. Este é também indicado pela presença alternada de sedimentos trimodais a polimodais. As características texturais do testemunho SP7, revelam que os sedimentos foram transportados e depositados num ambiente de moderada a forte energia. O hidrodinamismo terá reduzido ligeiramente, sobretudo nos 60 cm superiores.

Os teores de feldspato e plagioclásio e os valores da razão feldspato/quartzo, indicam que os sedimentos na seção superior do testemunho (primeiros 40 cm) integram uma componente sedimentar fina mais proximal, enquanto que os sedimentos depositados abaixo terão sido sujeitos a um maior retrabalhamento. Porém, a predominância de filossilicatos ao longo de todo o testemunho indica que a chegada deste mineral tende a ser advinda de fontes proximais.

Os teores reduzidos de calcita, associados à quase ausência de foraminíferos denota também a presença de um ambiente instável, desfavorável para o estabelecimento e desenvolvimento de grandes assembleias de foraminíferos. Por este motivo, apenas foram encontrados no testemunho SP7 poucos exemplares alóctones (transportados e mal preservados).

Abaixo dos 40 cm é observada um hiato sedimentar (descontinuidade) (Figura 29), marcada pela mudança no padrão de sedimentos depositados - sedimentos majoritariamente arenosos – além da maior acumulação de materiais provenientes de fontes proximais, como maiores teores de filossilicatos desde essa zona até a base.

A idade convencional de radiocarbono de 8.100 ± 480 anos BP e a Idade calibrada (2 sigma) 10171 a 7981 anos cal BP, obtidas para o nível de 41 cm, assinala a ocorrência de uma descontinuidade sedimentar. Este nível marca duas realidades distintas nos processos de sedimentação registrados neste testemunho: acima e abaixo dos primeiros 40 cm. Devido à baixa resolução do estudo para este testemunho, não foi possível analisar em detalhe a evolução paleoambiental registrada na seção inferior do mesmo. Permitindo levantar a hipótese de que esse momento de perda ou descontinuidade sedimentar pode está relacionada ao processo de elevação do NRM, permitindo inferir esta pode ter relação com a transposição por ondas, por exemplo..

No entanto, os gráficos dos fatores *loading* 1 e 2 (Figura 27), com base em dados granulométricos, mineralógicos e geoquímicos analisados neste trabalho (Figuras 23, 24 e 25), também mostram uma mudança significativa nas características da sedimentação acima e abaixo do nível datado. A seção inferior e mais antiga (abaixo de 41 cm de profundidade), anterior ao Antropoceno, é marcada, por exemplo, pela deposição de sedimentos com maior média granulométrica, teores mais elevados de calcita, valores mais baixos da razão feldspatos/quartzo. Por outro lado, nos primeiros 40 cm do testemunho (topo), registra-se um aumento da concentração de alguns PTEs tais como Cd, Zn, Co, Ni e As, assim como dos seus fatores de enriquecimento (Figuras 24 e 25).

7.2.2. Contaminação dos sedimentos depositados na porção Leste da Baía de Sepetiba.

A aplicação de EF na análise dos elementos químicos marca a presença de um aumento progressivo na concentração dos elementos químicos com Cd, Zn, Co e Ni no topo do testemunho (dos 40 a 0 cm). Uma das hipóteses para o aumento progressivo de Cd e Zn pode ser justificado devido à presença de indústrias poluidoras concentradas na zona norte da Baía de Sepetiba. Com destaque poluidor para a Companhia Ingá Mercantil (CIM), responsável pela emissão irregular de materiais ricos em Cd e Zn na região, a partir do rompimento de diques de rejeito (Ribeiro *et al.*, 2013).

Apesar da distância entre a localidade do testemunho SP7 com a área da empresa em questão, a presença destes elementos indica que este passivo ambiental teve uma grande área de dispersão, provavelmente em função do fluxo sedimentar (Barcellos *et al.*, 1997), o qual está associado diretamente à circulação interna da baía. O aumento da concentração dos referidos metais no topo do testemunho (primeiros 40 cm) é semelhante ao que se observa no testemunho SP3, a partir do final dos anos 80. Este enriquecimento de metais pode resultar do tempo de atuação da CIM, localizada no lado oposto da baía.

Alguns autores como Magalhães *et al.* (2001) sugerem que a presença do metalóide As na região foi produzido também pela metalúrgica, onde o minério utilizado pela CIM apresentava uma concentração moderada de As. Além disso, a adição do composto trióxido de arsênio (As_2O_3) em uma das etapas de tratamento do minério, assim como seu rejeito pode ser considerada a principal forma de contaminação deste metal na baía. Magalhães *et al.* 2001 ainda sugerem que a dispersão deste metal na bacia ocorreu através das fortes chuvas de verão. Ribeiro *et al.* (2005) e Ribeiro *et al.* (2013), entretanto, sugerem que a entrada de As, assim como U, Ba e Se estão relacionadas à litologia e geoquímica das rochas da região e interpreta a presença destes elementos como um fator de influência litogênica.

A relação positiva da maior parte dos elementos químicos, tanto de origem litogênica quanto dos PTEs, com a fração mais fina do sedimento (variável de $<63\mu m$ a $125\mu m$) reforça a afinidade destes com esses tipos de grãos. Assim, a porção superior deste testemunho é portadora de sedimentos moderadamente poluídos (valores relativamente elevados na escala SPI) em estado de deterioração progressiva, com altos índices de carga de poluição ocorrendo a partir desses primeiros 40 cm até o topo, marcando principalmente os últimos 10 cm como sedimentos altamente poluídos. Levando em conta a zona enérgica e de alta remobilização do sedimento onde o testemunho se encontra, é possível inferir que esses sedimentos sejam periodicamente colocados em suspensão, ficando assim disponíveis na coluna d'água.

Em síntese, e de acordo com os resultados estatísticos (PCA; Figuras 27 e 28), é possível identificar no testemunho SP7, três zonas:

I (Superior – 38 a 2 cm): o topo, onde ocorre um aumento dos fatores de enriquecimento de vários elementos químicos, mas sobretudo de Cd e Zn,

associados a matéria orgânica, carbonatos e minerais como plagioclásio e k-feldspato.

II (Intermediário – 42 a 58 cm): Zona de transição, indicada por horizontes marcados ainda pelo enriquecimento de Hg e Pb e ao aumento de elementos químicos litogênicos e de pirita, concordantes com a proximidade do SP7 com a zona de manguezal adjacente.

III (Base– 82 a 102 cm): A zona inferior composta essencialmente por areias mais grossas, sugere um ambiente regido por maior energia. Esta seção é marcada pelo aumento da calcita e do tório, indicando a procedência de fontes sedimentares distintas.

Outro ponto importante que vale a pena ressaltar sobre as características de poluição antrópica observadas neste testemunho é a presença de microplásticos nos primeiros 40 cm, pacote sedimentar este semelhante lateralmente aos demais testemunhos aqui analisados. Os primeiros 40 cm do SP7 marcam, portanto, uma zona de forte influência antrópica, fortemente correlata lateralmente com o observado nos demais testemunhos analisados no presente trabalho.

Capítulo 8

TESTEMUNHO SP8

O testemunho SP8 (com 177 cm de comprimento) foi retirado na enseada da Marambaia (Figuras 1 e 6), a 2,2 m de profundidade, e a cerca 1,8 km da margem oeste da Ponta da Pombeba. Apresenta uma sequência sedimentar de cor cinzenta clara na base e mais escura no topo. Foram encontrados em diversos níveis, entre 0-135 cm de profundidade, conchas e fragmentos de conchas de moluscos além de fragmentos de madeira no nível 142-144 cm.

8.1. Resultados do testemunho SP8

8.1.1. Datação por AMS

Os resultados da datação por radiocarbono realizada em fragmentos de conchas e de madeira recolhidos nos intervalos 36 – 38 cm, 100 – 102 cm e 148 – 150 cm (Tabela 18) permitem inferir uma idade calibrada 2 sigma superior a 9000 anos BP para a base do testemunho SP8.

Tabela 18: Idades de radiocarbono para os níveis analisados no testemunho SP8. A datação obtida no nível 132-134 cm foi considerada um dado espúrio, devido à grande variação de idades registrada.

Horizonte (cm)	Amostra	Idade Convencional de radiocarbono (Anos BP)	Idade Calibrada (Anos BP) (2 SIGMA)
36 - 38	Concha (bivalve)	1020 $\pm$ 170	1267 a 1207 (1237 $\pm$ 30)
100 - 102	Concha quebrada e fragmento (bivalve)	4890 $\pm$ 270	6182 a 6138 (6160 $\pm$ 22)
148 - 150	Madeira	7530 $\pm$ 30	8330 a 8180 (8255 $\pm$ 75)

8.1.2. Granulometria dos sedimentos do testemunho SP8

A análise morfométrica da fração $>500\ \mu\text{m}$ permitiu verificar que nos primeiros 8 centímetros do testemunho as partículas correspondem a fragmentos de plástico (Figura 30-B), variando desde fragmentos retorcidos à filamentos de plástico. Abaixo desta profundidade estas partículas correspondem sobretudo a grãos de sedimentos subrolados a rolados, arredondados a sub-arredondados, com a superfície picotada (Figura 30). A abundância de partículas com estas características aumenta na base do testemunho, na seção 177-138 cm. As partículas de menor dimensão são, em geral, muito angulares ou angulares (Figura 30A).

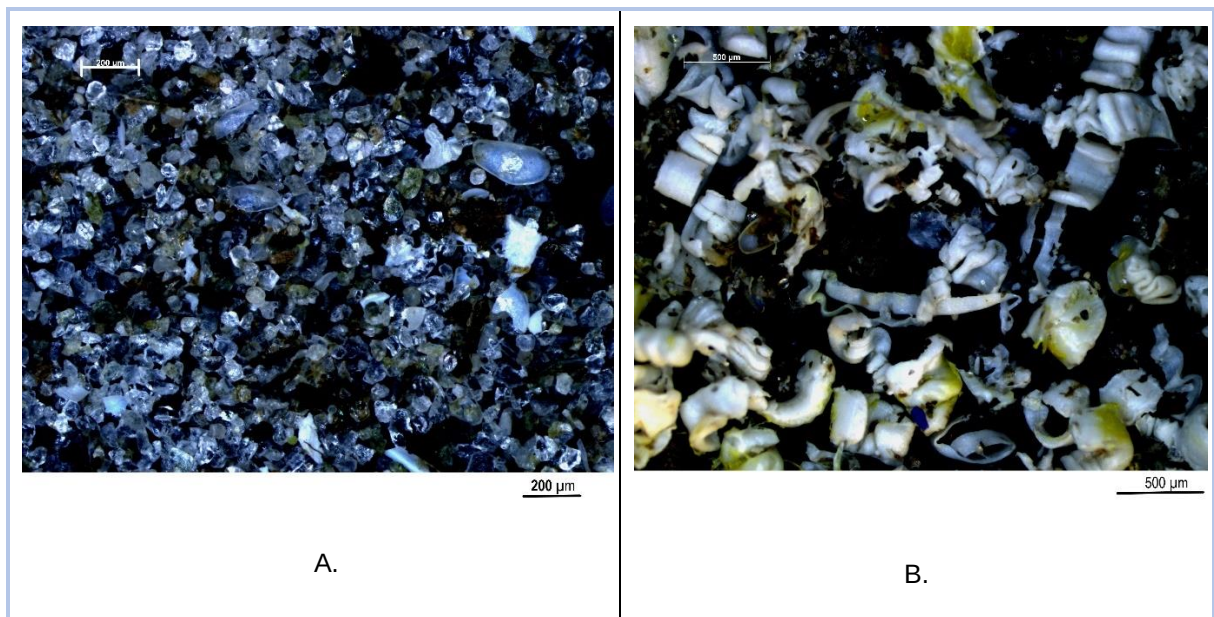


Figura 29: Fotos mostrando: A. presença predominante de partículas muito angulares ou angulares na composição da fração areia muito fina; B. presença de microplásticos na fração $>500\ \mu\text{m}$ dos primeiros 8 centímetros do testemunho SP8.

Os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de frações sedimentares e outros parâmetros texturais do testemunho SP8 podem ser consultados na Tabela 19. Estes revelam que a média granulométrica varia entre 22-290 μm com valor médio de $119 \pm 77\ \mu\text{m}$, mostrando que este testemunho é essencialmente arenoso. A representação da média granulométrica contra os valores da seleção (*sorting*), evidencia que a maioria das amostras analisadas ao longo do testemunho SP8 são constituídas por areia fina a muito fina, embora um número significativo de amostras ($\pm 40\%$) seja constituído por silte (Figura 32-A). Em geral, os sedimentos são pobremente a muito pobremente selecionados. No entanto, os valores do grau de seleção são, em geral, mais reduzidos no topo, o que indica a presença de sedimentos melhor selecionados na seção entre 65-0 cm. O gráfico da assimetria (*skewness*) (Figura 32-B) contra a curtose (*kurtosis*) mostra que os sedimentos apresentam uma curva aproximadamente tendendo a assimétrica no sentido dos finos e que esta é platicúrtica a muito platicúrtica (Figura 32B). Os sedimentos do testemunho SP8 possuem duas a três

modas o que indica a presença de populações de partículas com diferentes granulometrias. A primeira moda, nos primeiros 95 cm é de 76 μm , e abaixo desta profundidade é de 605 μm .

Tabela 19: Variação dos valores de parâmetros granulométricos e suas respectivas médias e desvio-padrão.

Variáveis	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desv.Pad
Média granulométrica	μm	290	22	119	77
Seleção	μm	5.09	2.79	3.85	0.61
Assimetria		0.07	-0.88	-0.35	0.27
Curtose		2.16	0.69	1.10	0.37
Fração Areia+ Cascalho	%	91.1	21.0	69.0	14.8
Fração Fina	%	79.0	8.9	31.0	14.8
Fração Areia grossa + cascalho	%	61.2	1.2	22.7	18.3
Fração Areia Média	%	25.4	0.3	11.1	7.4
Fração Areia Fina	%	22.6	1.1	10.3	5.9
Fração Areia Muito Fina	%	45.9	6.0	25.0	11.6

Casas decimais => vírgulas.



Figura 30: Detalhes da fração arenosa de sedimentos do testemunho SP8. A. detalhes da fração 125 a 500 µm, do horizonte 52 a 54 cm. B. Detalhes da fração arenosa da malha 150 a 250 µm do horizonte 162 a 164 cm. C. Detalhes da fração > 500 µm, do horizonte 150 a 152 cm. D. Detalhes da fração > 500 µm, do horizonte 162 a 164 cm. E - F detalhes da fração > 500 µm, do horizonte 162 a 164 cm.

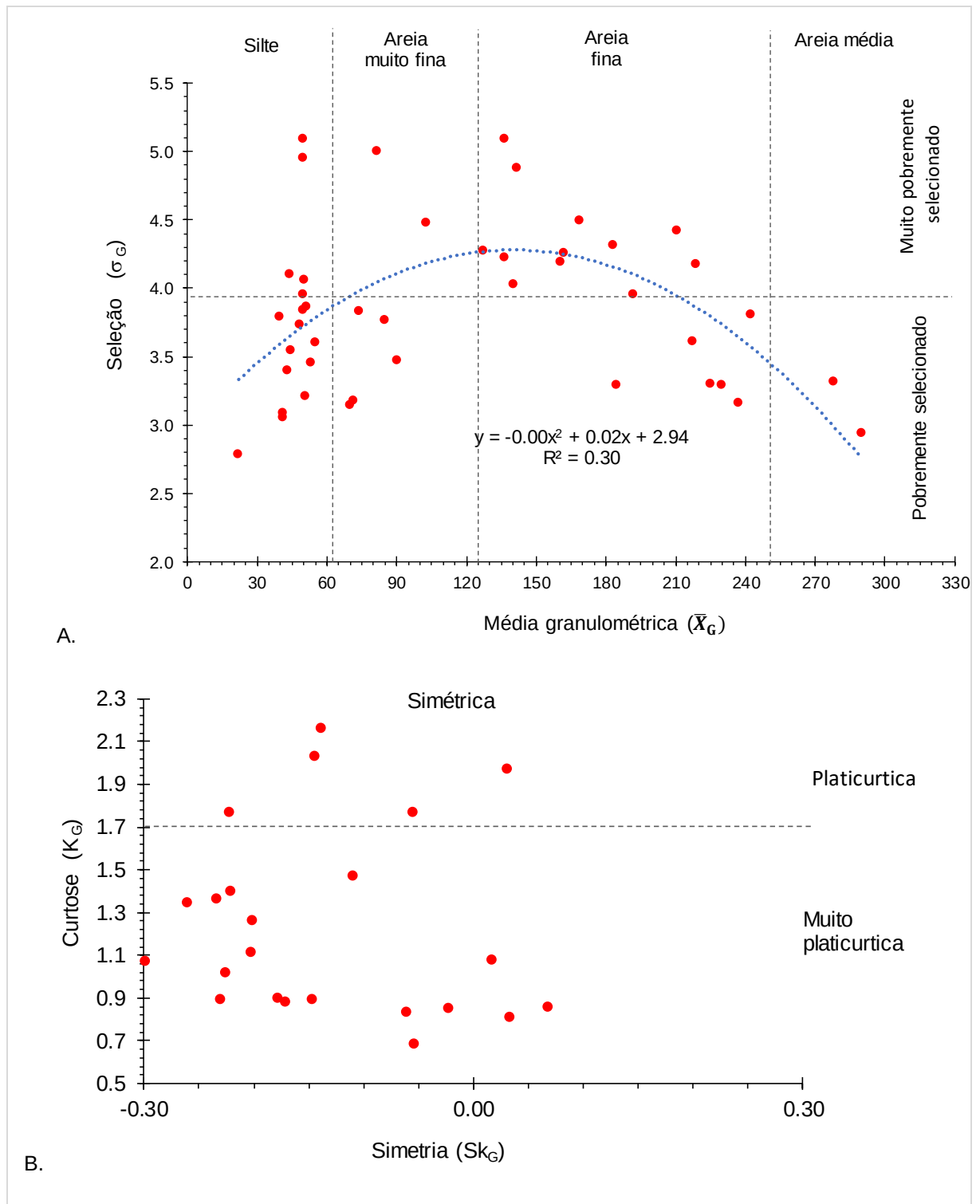


Figura 31: Gráficos em escala micra dos valores da média granulométrica vs. os valores da seleção, e da assimetria vs. a curtose.

Os sedimentos são mais grossos na base do testemunho até cerca de 95 cm de profundidade, e tornam-se mais finos no topo (Figura 33). Por esta razão possuem maiores percentagens de fração fina, de areia muito fina e areia fina na sua secção superior e maiores proporções de areia média e areia grossa na base do testemunho (Figura 33).

Os valores da função discriminante linear de Sahu (1964), para Y3 são $<-7,4190$ em todas as amostras e para Y4 são > 10.000 em alguns horizontes dos primeiros 48 cm e <10.000 , no restante testemunho.

8.1.3. Mineralogia dos sedimentos do testemunho SP8

A Tabela 20 mostra a variação da percentagem dos principais minerais que compõem a fração fina dos sedimentos do testemunho SP8. Os minerais mais abundantes nesta fração sedimentar são os filossilicatos (23.5-83.6 %; média 60.0 ± 12.9 %), quartzo (11.7-48.8%; média 23.9 ± 9.2 %), feldspato potássico (<23.1 %; 2.0 ± 3.7 %) e plagioclásio (<23.0 %; 5.2 ± 5.7 %), seguidos pela anidrita (<9 %; 0.6 ± 1.9 %), calcita (<8.8 ; 2.2 ± 2.3 %), siderita (<7.4 ; 1.4 ± 2.2) e pirita (<5.1 ; 0.9 ± 1.2 %). Foram ainda identificados, em alguns níveis, a presença de opala C/CT, aragonita, hematita, anatásio, magnetita/maghemite e bassanita.

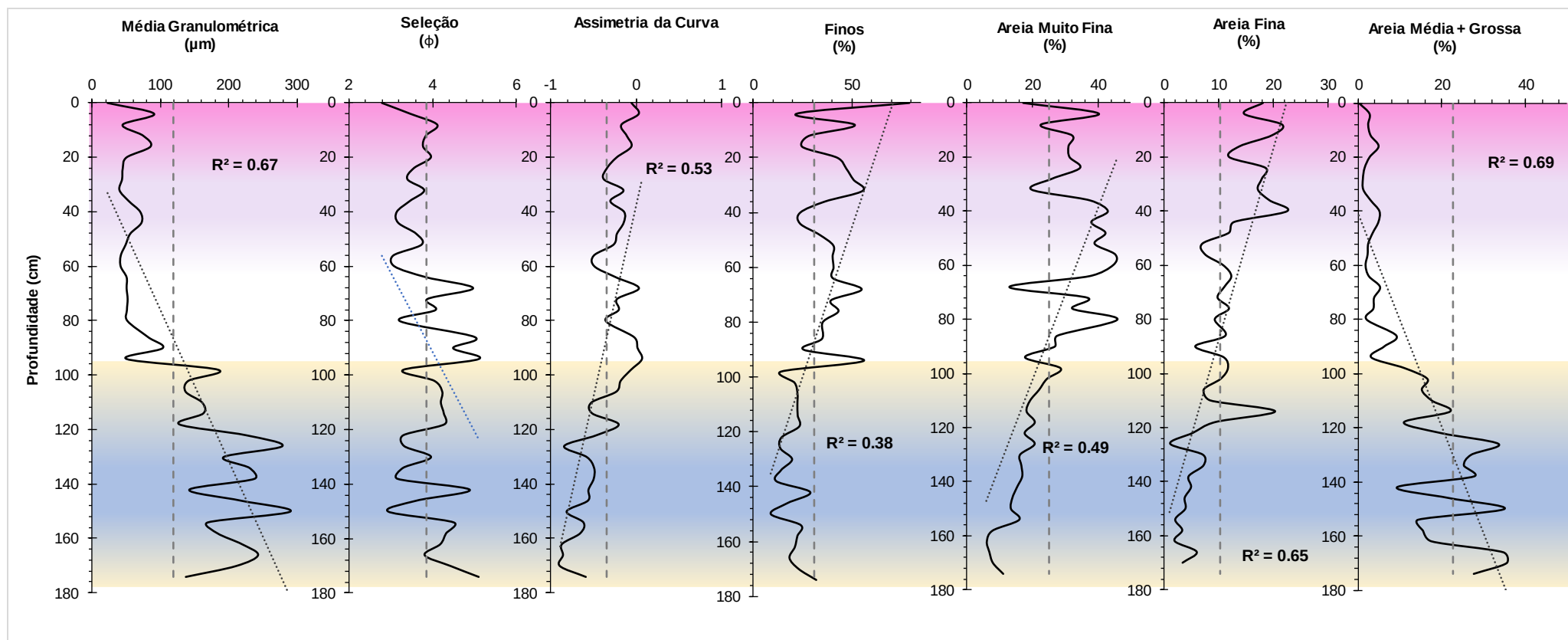


Figura 32: Gráficos, em função da profundidade, de valores da média granulométrica, teores de finos, da fração areia muito fina e areia média, além do grau de seleção e da assimetria ao longo do testemunho SP8. Estão representados o tamanho granulométrico médio do testemunho (reta tracejada), e a reta de regressão (linha pontilhada) e o respectivo R^2 . A área sombreada (seção inferior do testemunho) corresponde à seção com sedimentos de granulometria acima do valor médio do testemunho.

Tabela 20: Variação da percentagem dos principais minerais que compõem a fração fina dos sedimentos do testemunho SP8. É também apresentada a média e o desvio padrão (Desv.Pad) de cada variável.

Minerais	Máximo	Mínimo	Média	Desv.Pad
	%	%	%	%
Filossilicatos	83,6	23,5	60,0	12,9
Quartzo	48,8	11,7	23,9	9,2
Feldspato potássico	23,1	0,0	2,0	3,7
Plagioclásio	23,0	0,0	5,2	5,7
Anidrita	9,0	0,0	0,6	1,9
Calcita	8,8	0,0	2,2	2,3
Siderita	7,4	0,0	1,4	2,2
Pirita	5,1	0,0	0,9	1,2
Opala C/CT	4,9	0,0	1,1	1,5
Aragonita	4,6	0,0	0,4	1,0
Hematita	4,3	0,0	1,4	1,0
Anatasio	4,1	0,0	0,8	1,2
Magnetita/Maghemita	1,3	0,0	0,1	0,3
Bassanita	1,1	0,0	0,0	0,2

Os gráficos apresentados na Figura 34 mostram a variação da percentagem dos minerais identificados na fração fina dos sedimentos do testemunho SP8 em função da profundidade. Na seção inferior do testemunho é reduzida a percentagem de calcita e os valores da razão Feldspatos/Quartzo, os teores de anidrita tendem a aumentar e não possui pirita. Os teores de calcita e os valores da razão Feldspatos/Quartzo tendem a aumentar da base para o topo do testemunho.

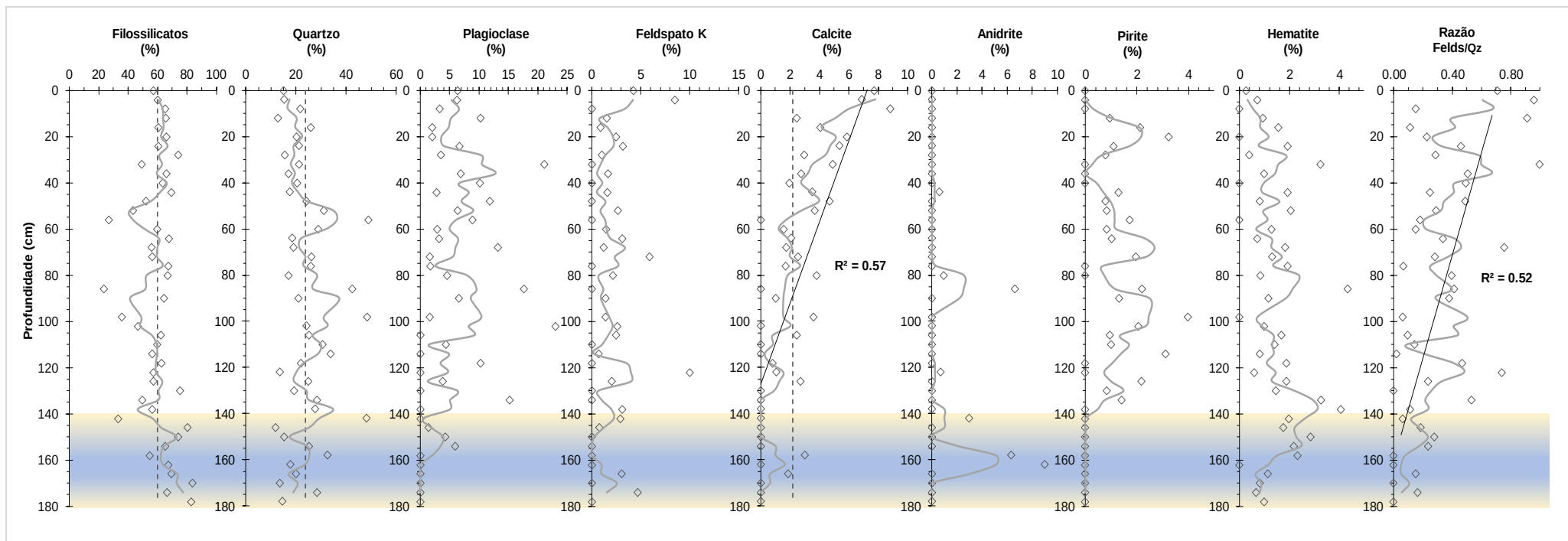


Figura 33: Gráficos, em função da profundidade, da percentagem dos minerais identificados na fração fina dos sedimentos do testemunho SP8. Os valores encontram-se representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada; a curva entre os valores representa a média móvel (média de três valores consecutivos). Em alguns gráficos foi representada a reta de regressão e o respectivo R^2 . A seção inferior do testemunho onde tendem a aumentar os teores de anidrita e a reduzir a percentagem de calcita e dos valores da razão Feldspatos/Quartzo, sem presença de pirita, foi sombreada.

8.1.4. Resultados geoquímicos dos sedimentos do testemunho SP8

A variação das concentrações dos elementos químicos (máximo, mínimo, médio e desvio padrão) analisados ao longo do testemunho SP8 e dos teores de matéria orgânica total e carbonatos foi incluída na Tabela 21. Apesar de terem sido determinadas as concentrações de W, este elemento não consta na referida tabela, porque estas estão abaixo do limite de detecção em todos os horizontes analisados; os teores de Te também ficaram abaixo dos limites de detecção na maior parte dos horizontes analisados, assim como o Au, por isso estes elementos químicos não são considerados na análise dos resultados neste trabalho. A Tabela 21 também mostra o intervalo de variação dos teores de MOT (0.12-4.44%; 1.69 ± 1.13 %) e carbonatos (1.02-3.71 %; 1.92 ± 0.79 %).

Os gráficos, em função da profundidade, dos teores de elementos químicos (Figura 35) mostram tendências diferentes de distribuição. Os teores de Cd e Zn aumentam sobretudo no topo do testemunho; as concentrações de Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Sc, Ti e V são mais reduzidas na seção inferior, enquanto as de Hg, Ag, Al e Pb, por exemplo, são mais elevadas. Por sua vez P e Ca tendem a aumentar da base para o topo do Figura 35).

A tendência da distribuição dos elementos químicos foi comparada com valores de MOT, carbonatos, variáveis granulométricas e mineralógicas através de Análise de Componentes Principais (PCA). Os dois primeiros fatores explicam a maior parte da variabilidade dos dados (total: 60%; fator 1: 41%; fator 2: 19%). A PCA permitiu associar as variáveis em função da sua correlação positiva ou negativa com os referidos fatores. Verifica-se por exemplo que alguns elementos químicos estão mais associados a sedimentos finos e mais ricos em matéria orgânica, como é o caso de P, Zn, Ca, Sr, Mn, Ba, Na, Co, La, Mg, Ti, Fe, Sc, As, K, Ni, Sb, U e Cr, assim como os carbonatos, pirita, calcita e opala C/T (Figura 37). Por outro lado, outros elementos químicos estão mais correlacionados com sedimentos de maior granulometria, como por exemplo o Bi, Ag, Hg, Cu, Pb, Se, Ga, Al, S, Th e Mo, assim como a anidrita (Figura 35;35-cont.).

Os resultados mostram que, em contraste com o Al, o Sc está correlacionado com sedimentos finos. Por esta razão, Sc foi utilizado como normalizador, visando remover a influência da granulometria nas concentrações dos elementos químicos, como já descrito para o testemunho SP7.

Tabela 21: Variação das concentrações dos elementos químicos analisados ao longo do testemunho SP8 e também dos teores de matéria orgânica (MOT) e carbonatos (carb.)

Variáveis	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desv.P
Ag	$\mu\text{g kg}^{-1}$	124.0	13.0	44.4	33.7
Al	%	4.7	3.2	3.8	0.8
As	mg kg^{-1}	9.9	1.8	7.0	2.7
Au	$\mu\text{g kg}^{-1}$	3.5	0.2	1.2	1.0
B	mg kg^{-1}	49.0	21.0	39.1	8.8
Ba	mg kg^{-1}	44.2	21.7	34.8	9.4
Bi	mg kg^{-1}	0.3	0.2	0.2	0.1
Ca	%	1.8	0.0	0.9	0.6
Cd	mg kg^{-1}	2.1	0.1	0.5	0.7
Co	mg kg^{-1}	10.5	2.2	7.8	2.8
Cr	mg kg^{-1}	71.2	40.8	59.2	13.9
Cu	mg kg^{-1}	27.6	7.0	13.9	7.1
Fe	%	4.0	1.7	3.5	0.9
Ga	mg kg^{-1}	19.3	9.5	12.0	3.6
Hg	$\mu\text{g kg}^{-1}$	899.0	17.0	124.4	248.8
K	%	0.8	0.3	0.6	0.2
La	mg kg^{-1}	32.1	14.0	27.1	7.3
Mg	%	1.5	0.2	1.1	0.4
Mn	mg kg^{-1}	1036.0	63.0	521.2	317.8
Mo	mg kg^{-1}	10.1	0.3	2.5	2.8
Na	%	1.2	0.2	0.6	0.3
Ni	mg kg^{-1}	22.8	7.7	18.1	5.0
P	%	0.1	0.0	0.1	0.0
Pb	mg kg^{-1}	60.6	17.7	30.6	14.2
S	%	0.9	0.3	0.5	0.2
Sb	mg kg^{-1}	0.1	0.0	0.1	0.0
Sc	mg kg^{-1}	8.8	4.1	7.4	1.9
Se	mg kg^{-1}	1.8	0.4	0.7	0.4
Sr	mg kg^{-1}	125.8	21.2	73.8	31.8
Te	mg kg^{-1}	0.1	0.0	0.0	0.0
Th	mg kg^{-1}	12.3	7.5	10.1	2.4
Ti	%	0.1	0.0	0.0	0.0
Tl	mg kg^{-1}	0.3	0.2	0.3	0.1
U	mg kg^{-1}	6.2	1.8	3.5	1.5
V	mg kg^{-1}	63.0	32.0	50.9	11.8
Zn	mg kg^{-1}	433.7	27.6	149.2	131.0
MOT	%	4.44	0.12	1.69	1.13
Carb.	%	3.71	1.02	1.92	0.79

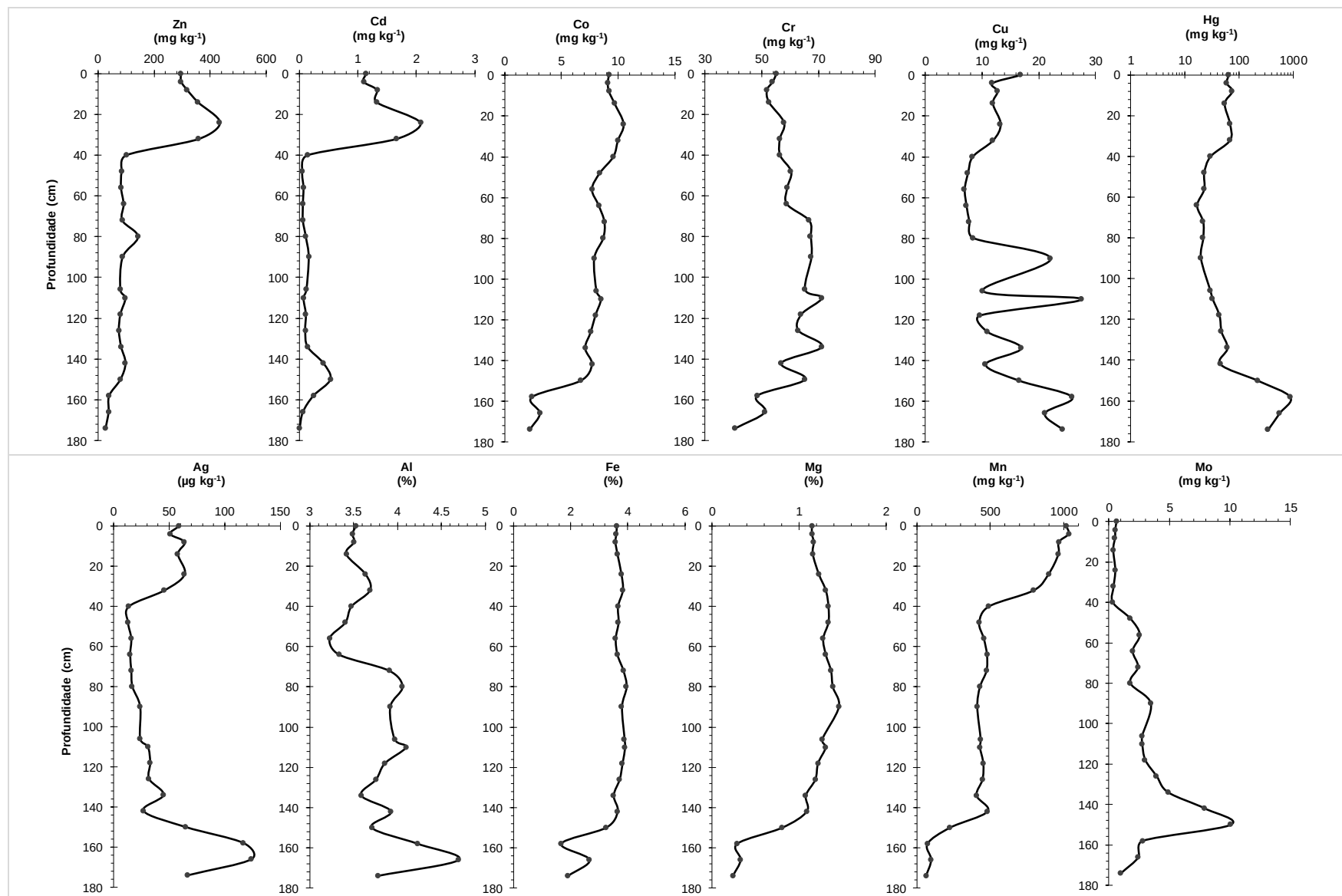


Figura 34: Gráficos, em função da profundidade, dos teores de elementos químicos dos sedimentos do testemunho SP8. A média dos valores no testemunho foi representada pela reta tracejada.

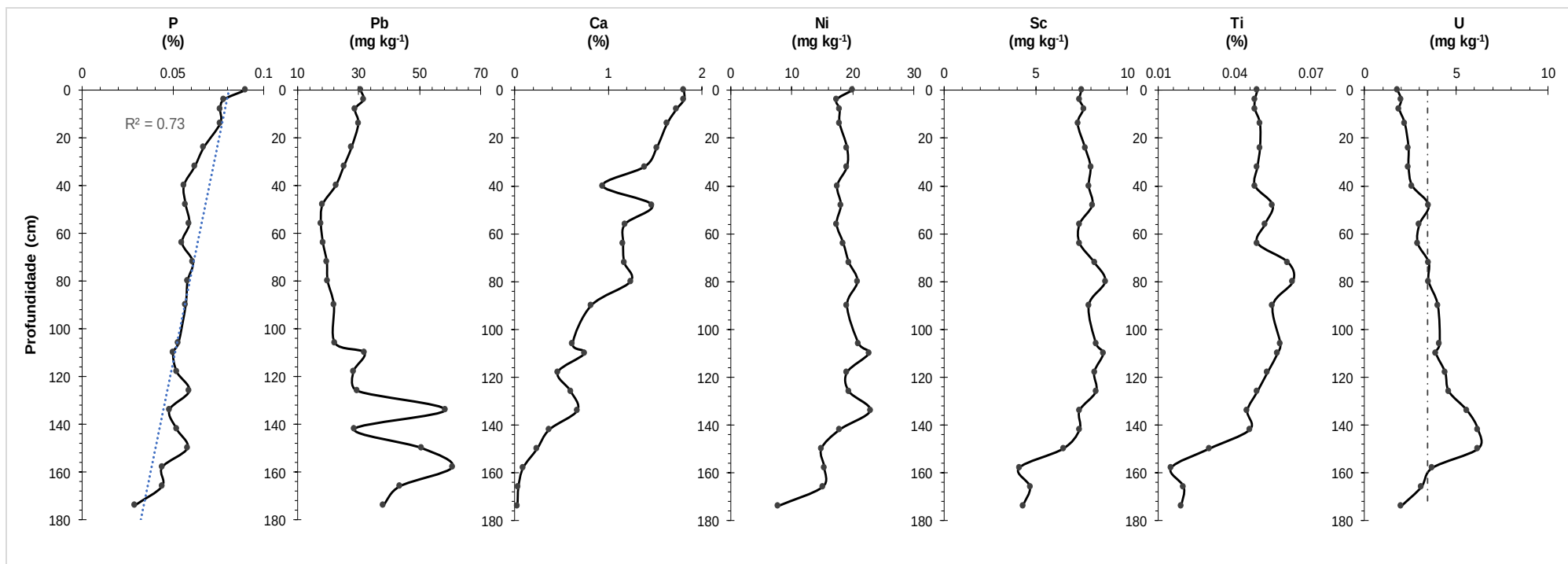


Figura 35 (cont.): Gráficos, em função da profundidade, dos teores de elementos químicos dos sedimentos do testemunho SP8. A média dos valores no testemunho foi representada pela reta tracejada. No gráfico de P foi representada a reta de regressão e o respectivo R^2 .

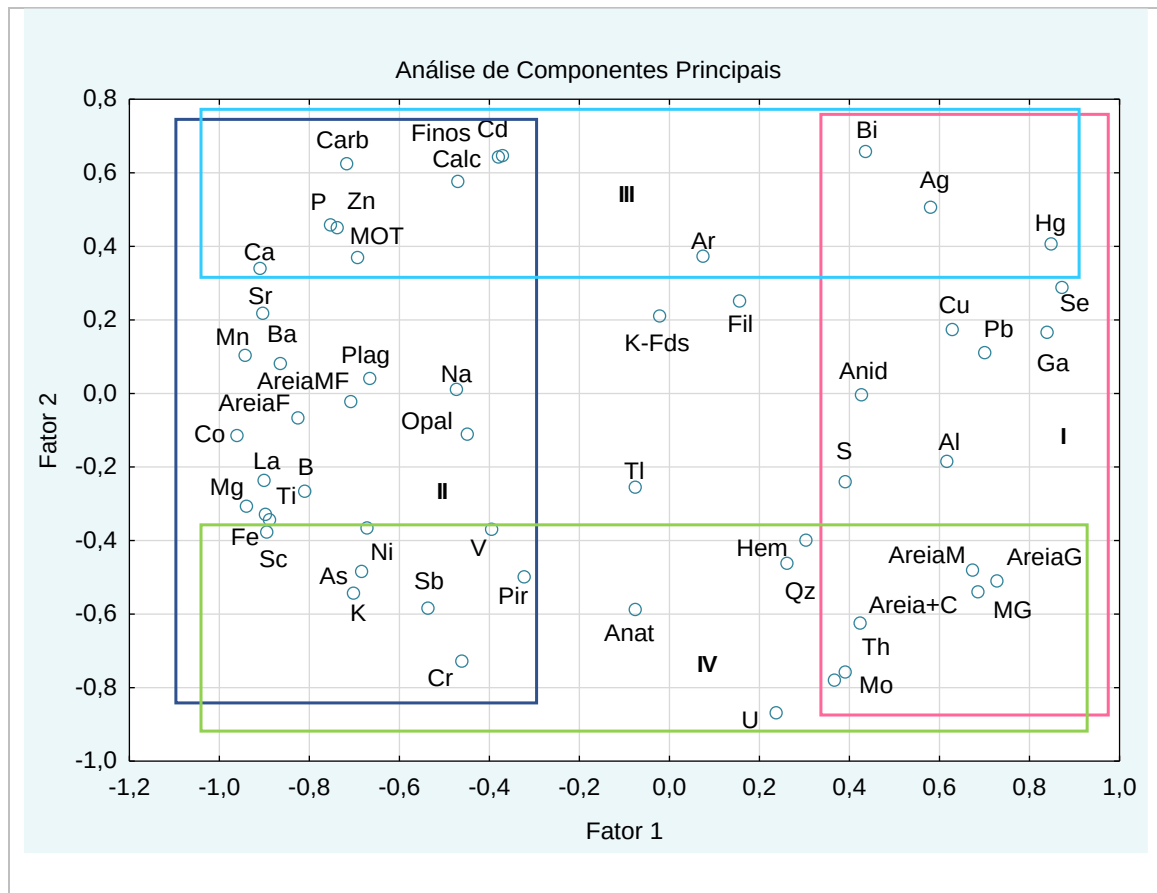


Figura 35: Gráfico do fator 1 contra o fator 2 da análise de componentes principais. As variáveis estão associadas em 4 grupos em função da sua correlação com os dois principais fatores. Legenda: AreiaM – fração areia média; AreiaG – fração areia grossa; Areia+C – fração areia + cascalho; Qz – quartzo; Carb – carbonatos; Plag. – plagioclásio; Finos – fração fina; Anid. – anidrita; MG – média granulométrica; Pir. – pirita; Fil. – filossilicatos. Opal – Opala C/T; Hem – hematita; Anat – anatase; areiaF – areia fina; AreiaMF – areia muito fina; MOT – matéria orgânica total; Calc – calcita.

Os elementos químicos litogênicos normalizados com o Sc mostram que algumas razões são pouco variáveis e não possuem nenhuma tendência ao longo do testemunho; outras atingem valores mais elevados apenas na seção inferior do testemunho, como por exemplo Ag/Sc, Bi/Sc, Ga/Sc e Th/Sc (Figura 37); enquanto outras apresentam o padrão inverso, como por exemplo Mg/Sc, Mn/Sc, Ca/Sc e Sr/Sc (Figura 37).

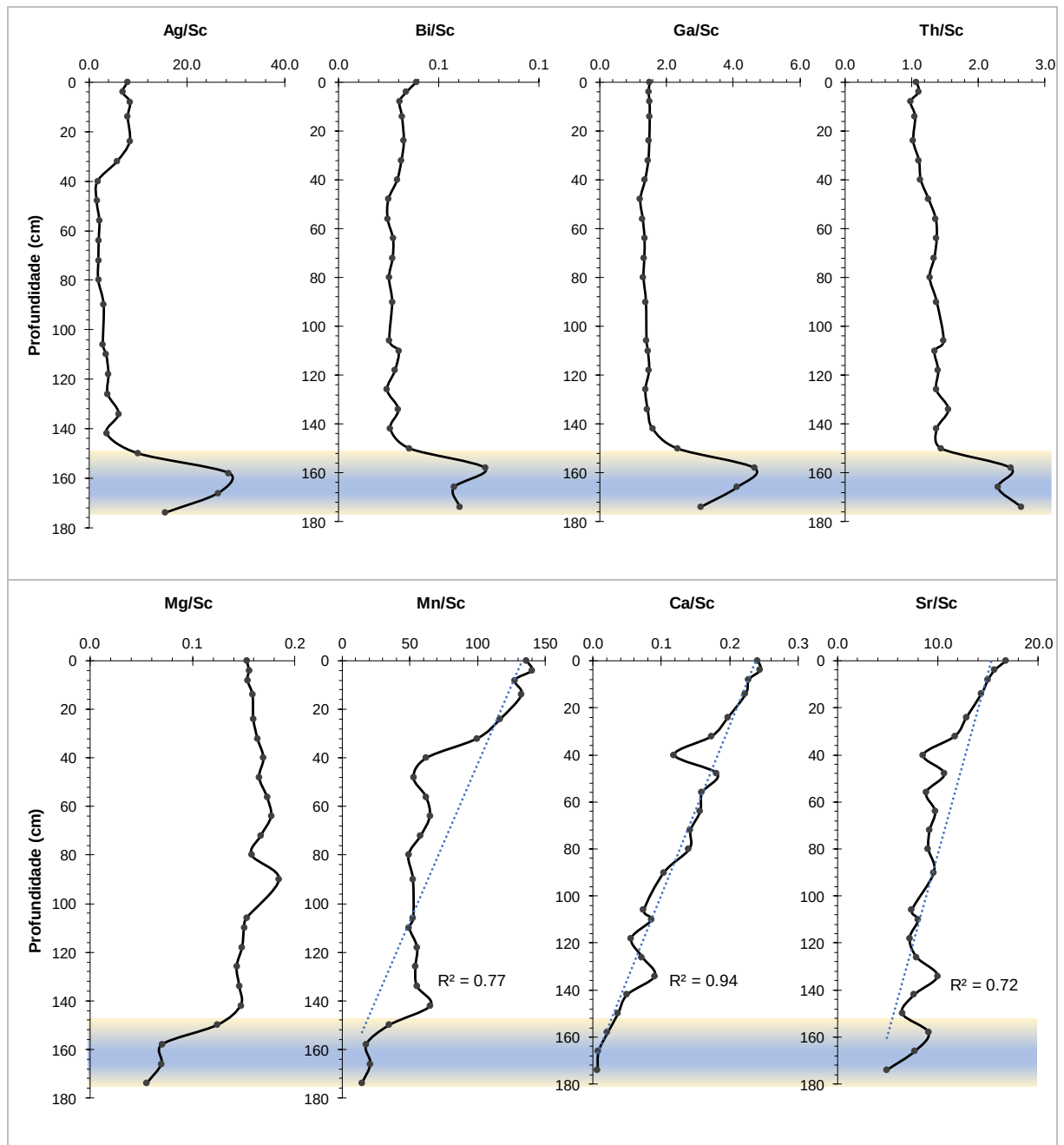


Figura 36: Gráficos de razões entre vários elementos químicos e Sc, ilustrando diferentes padrões de distribuição ao longo do testemunho. Os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada. Também foi representada a reta de regressão (linha pontilhada) e o respectivo R^2 em alguns gráficos. A seção inferior do testemunho, onde algumas razões são menores ou mais elevadas, foi sombreada.

Os valores de EF e I^{geo} para os PTEs ao longo do testemunho SP8, apresentados na Tabela 22, mostram que existem horizontes sedimentares enriquecidos em vários elementos químicos. Os gráficos de EF apresentados na Figura 38 evidenciam que os sedimentos dos primeiros 40 cm do testemunho SP8 estão enriquecidos em Cd e Zn, enquanto os da sua seção inferior estão enriquecidos em Cu, Ni, Pb e Hg. Por outro lado, os valores de EF-Co tendem a aumentar em direção ao topo do testemunho. Os valores de LPI chegam a 5 na seção superior a 32 cm. Na mesma secção, os valores de SPI variam entre 16-20.

Tabela 22: Valores de: A. Fatores de Enriquecimento (EF) e B. Índice de Geoacumulação (I_{geo}) para os Elementos Potencialmente Tóxicos (PTEs) ao longo do testemunho SP8. Estão assinalados os valores >2.

A. Prof. (cm)	EF-As	EF-Cd	EF-Co	EF-Cr	EF-Cu	EF-Hg	EF-Ni	EF-Pb	EF-Zn
0	1	13	3	1	2	0	2	1	6
4	1	13	3	1	2	0	2	1	6
8	1	15	3	1	2	0	2	1	6
14	1	16	3	1	2	0	2	1	7
24	1	24	3	1	2	0	2	1	8
32	1	18	3	1	2	0	2	0	7
40	1	2	3	1	1	0	2	0	2
48	1	1	2	1	1	0	2	0	2
56	1	1	2	1	1	0	2	0	2
64	1	1	2	1	1	0	2	0	2
72	1	1	2	1	1	0	2	0	2
80	1	1	2	1	1	0	2	0	2
90	1	2	2	1	3	0	2	0	2
106	1	1	2	1	1	0	2	0	1
110	1	1	2	1	3	0	2	1	2
118	1	1	2	1	1	0	2	0	1
126	1	1	2	1	1	0	2	0	1
134	2	2	2	1	2	0	3	1	2
142	2	5	2	1	2	0	2	1	2
150	1	7	2	1	3	1	2	1	2
158	1	5	1	1	7	4	3	2	1
166	1	1	1	1	5	2	3	1	1
174	1	0	1	1	6	2	2	1	1

Tabela 232 (cont.): Valores de: A. Fatores de Enriquecimento (EF) e B. Índice de Geoacumulação (I_{geo}) para os Elementos Potencialmente Tóxicos (PTEs) ao longo do testemunho SP8. Estão assinalados os valores >2.

B. Prof.	I_{geo}	I_{geo}	I_{geo}	I_{geo}	I_{geo}	I_{geo}	I_{geo}	I_{geo}	I_{geo}
cm	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
0	0	4	1	0	1	1	1	-1	3
4	0	4	1	0	1	1	1	-1	3
8	0	4	1	0	1	1	1	-1	3
14	0	4	1	0	1	1	1	-1	3
24	0	5	2	0	1	1	1	-1	3
32	0	4	2	0	1	1	1	-1	3
40	-1	1	1	0	0	1	1	-1	1
48	0	-1	1	0	0	1	1	-2	1
56	0	0	1	0	0	1	1	-2	1
64	0	-1	1	0	0	1	1	-2	1
72	0	-1	1	0	0	1	1	-1	1
80	0	0	1	0	0	1	1	-1	1
90	0	1	1	0	2	1	1	-1	1
106	0	0	1	0	1	1	1	-1	1
110	1	0	1	0	2	1	1	-1	1
118	0	0	1	0	0	1	1	-1	1
126	1	0	1	0	1	1	1	-1	1
134	1	1	1	0	1	1	1	0	1
142	1	2	1	0	1	1	1	-1	1
150	0	3	1	0	1	1	1	0	1
158	-2	1	-1	-1	2	1	1	0	0
166	-1	-1	0	0	2	1	1	0	0
174	-1	-10	-1	-1	2	1	0	-1	-1

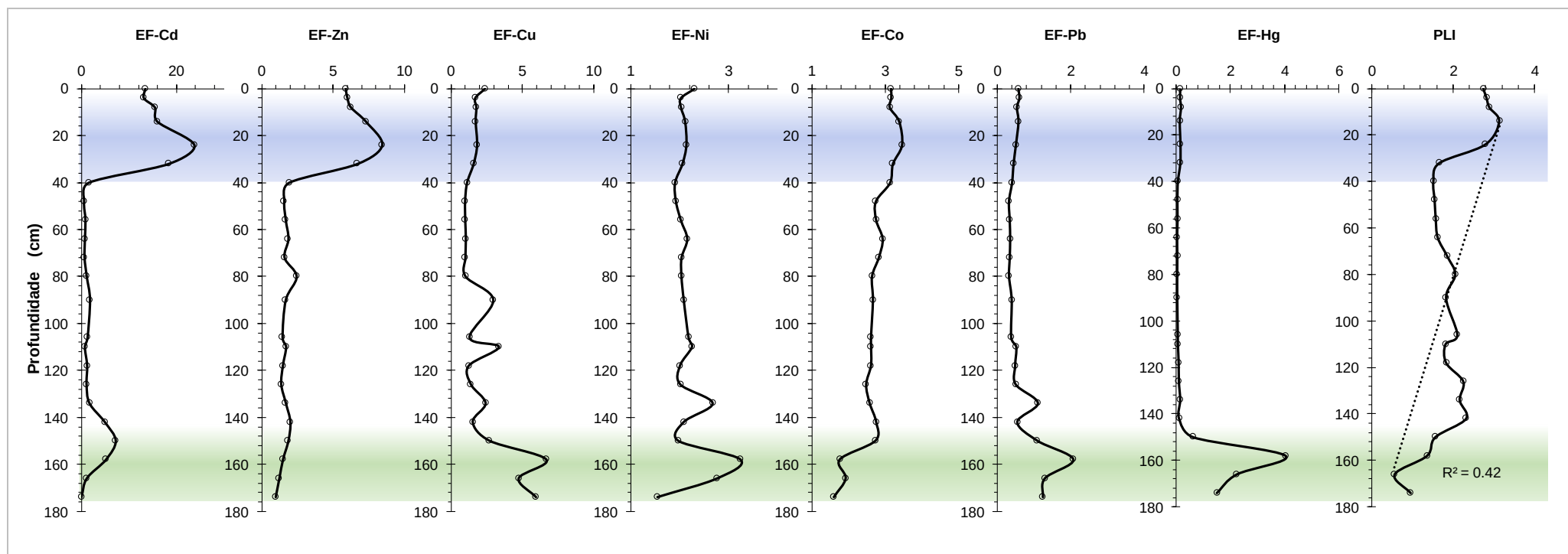


Figura 37: Valores dos fatores de enriquecimento (EF) dos elementos químicos potencialmente tóxicos (PTEs). Nos gráficos, os valores estão representados por pontos, a média dos valores no testemunho pela reta tracejada. Em alguns gráficos foi representada a reta de regressão e o respectivo R^2 . PLI: Índice de Carga de Poluição.

8.1.5. Análise elementar em carapaças de *A. tepida*

No Apêndice VIII são apresentados os resultados da análise geoquímica elementar em carapaças de *A. tepida* recolhidos em quatro níveis (4 cm, 32 cm, 64 cm e 134 cm) do testemunho SP8, discriminando também os valores obtidos nas câmaras interna, média e externa. A variação dos teores dos elementos químicos analisados (Al, As, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Ni, Pb, S, Sn, Sr, Ti, V e Zn), no conjunto dos exemplares e câmaras, foram incluídos na Tabela 23.

A análise elementar em carapaças de *A. tepida* permitiu verificar que o Ca (83.5-91.0 %; média $88.9 \pm 1.7\%$) é o elemento químico principal na composição da carapaça, uma vez que esta é essencialmente constituída por carbonato de cálcio (CaCO_3). Alguns elementos químicos identificados na composição carbonática de *A. tepida*, são essencialmente litogênicos, como por exemplo Al, F, K, Mg, Mn, S, Sr, Ti e V. Enquanto outros, quando presentes em elevadas concentrações no meio, e dependendo da sua disponibilidade, podem ser considerados elementos potencialmente tóxicos (PTEs), como por exemplo As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn e Zn. A variação dos teores de PTEs nos exemplares e câmaras analisadas podem ser visualizados nos gráficos da Figura 39.

Tabela 24: Variação dos teores dos elementos químicos estimados por EDS em A. tepida, em quatro níveis (4 cm, 32 cm, 64 cm e 134 cm) do testemunho SP8. Legenda: Desv.Pad – desvio padrão. Destacados em laranja os elementos que apresentaram maiores variações elementares.

Valores	Máximo	Mínimo	Média	DesvP.
	%	%	%	%
Al	1.7	0.0	0.4	0.4
As	2.6	0.0	0.2	0.5
Ca	91.0	83.5	88.9	1.7
Cd	0.3	0.0	0.1	0.1
Co	0.4	0.0	0.2	0.1
Cr	0.8	0.0	0.2	0.1
Cu	1.2	0.1	0.6	0.2
Fe	2.4	0.1	0.5	0.4
Hg	3.2	1.5	2.1	0.4
K	0.3	0.0	0.0	0.1
Mg	0.7	0.0	0.2	0.2
Mn	0.4	0.0	0.1	0.1
Ni	1.3	0.2	0.5	0.2
Pb	3.5	1.4	2.4	0.5
S	1.0	0.0	0.1	0.2
Sc	0.8	0.0	0.2	0.2
Sn	2.9	1.0	1.9	0.4
Sr	2.3	0.0	0.7	0.5
Ti	0.9	0.0	0.1	0.1
V	0.4	0.0	0.1	0.1
Zn	2.4	0.1	0.4	0.3

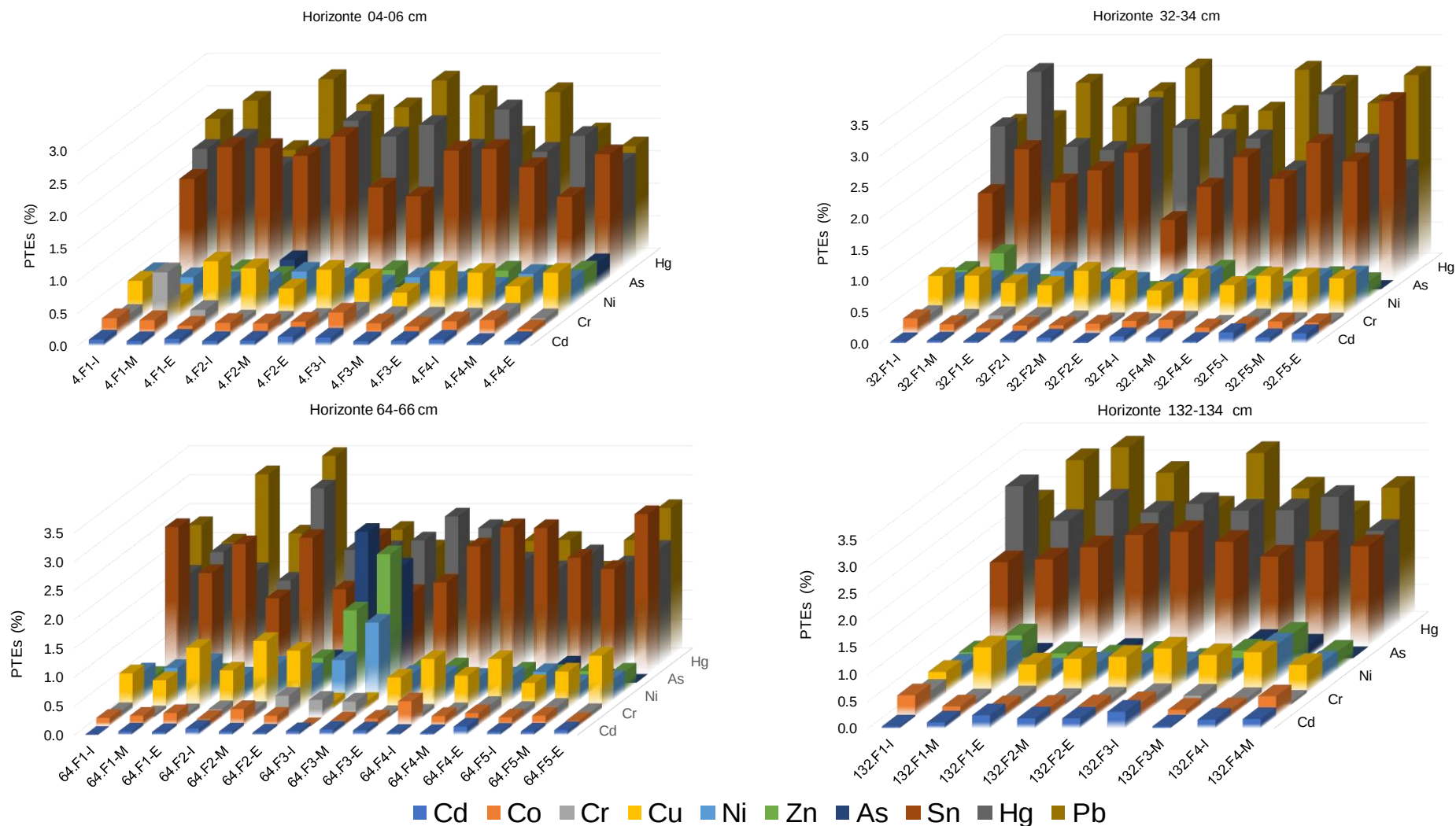


Figura 38: Teores de PTes nas câmaras I - Interna; M - Intermediária e; E – externa, de quatro a cinco espécimes de *A. tepida* (representados pelo prefixo F), recolhidos em quatro horizontes sedimentares (4 cm, 32 cm, 64 cm e 134 cm), do testemunho do testemunho SP8. O gráficos em barra destacam os 5 teores elementares que apresentaram maiores variações ocorridas nas composições das testas.

Os gráficos da Figura 41 mostram que em todos os níveis e exemplares analisados os elementos químicos que atingem globalmente concentrações mais elevadas são o Pb, Hg e Sn, seguindo-se-lhes por ordem decrescente o Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn e As.

8.1.6. Assembleias de foraminíferos

Não foram encontrados foraminíferos na seção entre 177-136 cm de profundidade e no horizonte de 122 cm. Registrou-se um número de foraminíferos inferior a 100 exemplares nos níveis 130 cm, 40 cm e 36 cm de profundidade (Tabela 24). Nos restantes níveis da seção 136-0 cm foram recolhidos mais de 100 foraminíferos. No total, nos níveis analisados foram recolhidos 8346 exemplares, correspondentes a 75 espécies de foraminíferos. A densidade de indivíduos por grama de sedimento foi <5791 ; a riqueza específica <29 espécies, a equitabilidade $<0,77$, o Índice de Shannon $<2,44$ e a dominância $<4,89$. Nos primeiros 22 cm os exemplares apresentavam com pequenas dimensões ($\leq 125\mu\text{m}$); o tamanho dos exemplares tendeu a aumentar abaixo desta profundidade. Os gêneros dominantes foram *Elphidium* e *Ammonia*, na seção 136-0 cm, onde foram encontrados foraminíferos.

Os gráficos em função da profundidade representados na Figura 41 mostram que desde base do testemunho (sem foraminíferos na seção 177-140 cm) se observa uma tendência para o aumento dos valores de densidade, riqueza específica, dominância, equitabilidade, Índice de Shannon. Na seção entre 40-0 cm, regista-se um aumento exponencial da razão *Ammonia/Elphidium*, em direção ao topo do testemunho (Figura 41).

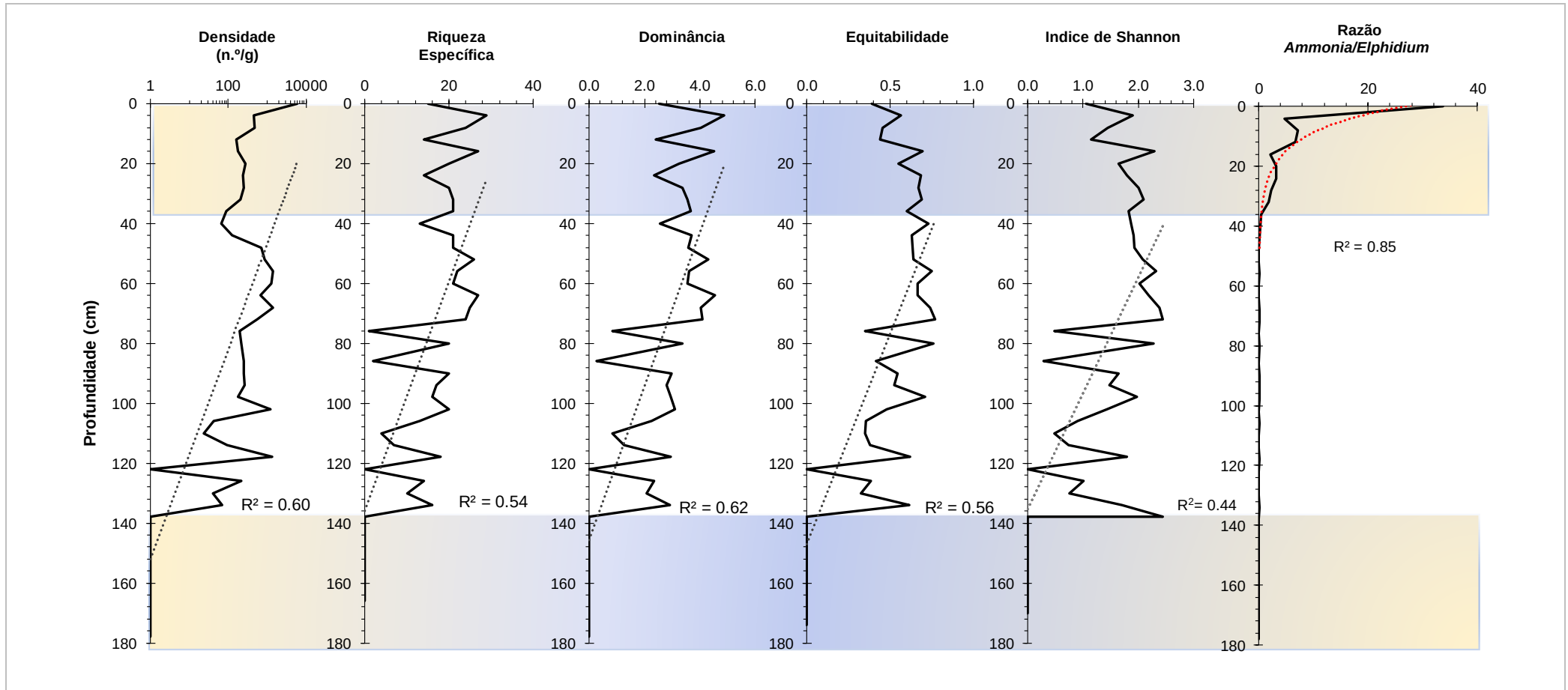


Figura 39: Densidade, riqueza específica, dominância, equitabilidade, índice de Shannon e da razão Ammonia/Elphidium ao longo do testemunho SP8. Foi representada em todos os gráficos a reta de regressão (linha pontilhada) e o respectivo R^2 . A reta de regressão da razão Ammonia/Elphidium é logarítmica, a dos restantes gráficos é linear caracterizando a diminuição exponencial dessas variáveis com a profundidade. Foram assinaladas (sombreadas) a seção inferior do testemunho, sem foraminíferos e a superior onde os valores da razão Ammonia/Elphidium aumentam exponencialmente.

Tabela 25: Parâmetros bióticos. Legenda: N – exemplares contados em cada amostra; RE – riqueza específica. Nenhum espécime de foraminífero foi encontrado entre a base do testemunho e o horizonte 134 cm.

Prof. (cm)	N	RE	Dominância	Equitabilidade	Índice de Snanon	Densidade(nº/g)
0	249	15	2.54	0.39	1.05	5791
4	307	29	4.89	0.56	1.90	446
8	298	24	4.04	0.46	1.45	486
12	227	14	2.40	0.44	1.16	160
16	316	27	4.52	0.70	2.29	174
20	342	20	3.26	0.55	1.65	271
24	248	14	2.36	0.68	1.80	244
28	284	20	3.36	0.67	2.01	250
32	277	21	3.56	0.69	2.10	210
36	233	21	3.67	0.60	1.82	90
40	107	13	2.57	0.73	1.87	66
44	224	21	3.70	0.63	1.92	129
48	272	21	3.57	0.64	1.94	718
52	327	26	4.32	0.64	2.09	863
56	333	22	3.62	0.75	2.32	1393
60	283	21	3.54	0.66	2.02	1310
64	305	27	4.55	0.66	2.19	688
68	380	25	4.04	0.74	2.38	1397
72	274	24	4.10	0.77	2.44	540
76	44	1	0.00		0.00	197
80	285	20	3.36	0.76	2.28	220
86	48	2	0.26	0.41	0.29	250
90	583	20	2.98	0.55	1.64	251
94	299	17	2.81	0.52	1.48	259
98	165	16	2.94	0.71	1.97	175
102	458	20	3.10	0.48	1.43	1199
106	209	13	2.25	0.35	0.90	42
110	34	4	0.85	0.35	0.48	23
114	117	7	1.26	0.38	0.74	94
118	318	18	2.95	0.62	1.79	1371
122	0	0			0.00	211
126	250	14	2.35	0.39	1.02	212
130	79	10	2.06	0.33	0.75	40
134	171	16	2.92	0.61	1.70	71

Os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão das espécies que atingiram abundância relativa ≥ 2 %, em pelo menos um nível da seção 136-0 cm, encontram-se listados na Tabela 25. Esta tabela mostra que as espécies que atingiram maiores abundâncias relativas foram por ordem decrescente: *Criboelphidium poeyanum* (<92 %; média 39.2±28.9%), *Ammonia tepida* (<75.9 %; média 15.9±22.8%), *Buliminella elegantissima* (<28.9 %; média 5.3±7.7%), *Ammonia rolshauseni* (<27.5 %; média 3.4±5.8%), *Pararotalia cananeaensis* (<21.5%; média 4.0±4.0%), *Criboelphidium excavatum* (<19.6 %; média 5.6±4.8%), *Bolivina fragilis* (<16.9 %; média 0.6±2.9%), *Elphidium oceanense* (<15.9 %; média 2.4±4.1%), *Elphidium incertum* (<15.9 %; média 2.4±4.1%), *Elphidium advenum* (<11.1%;

média $1.9 \pm 3.0\%$), *Porosonion granosum* ($<9.7\%$; média $1.3 \pm 2.4\%$), *Ammonia parkinsoniana* ($<6.7\%$; média $2.8 \pm 1.9\%$), *Bolivina striatula* ($<6.5\%$; média $1.4 \pm 1.9\%$), *Elphidium discoidale* ($<4.7\%$; média $0.8 \pm 1.2\%$), *Bulimina aculeata* ($<3.3\%$; média $0.9 \pm 1.1\%$), *Pseudonion japonicum* ($<3.0\%$; média $0.9 \pm 0.9\%$), *Criboelphidium williamsoni* ($<2.9\%$; média $0.4 \pm 0.6\%$), *Hopkinsina pacifica* ($<2.8\%$; média $1.1 \pm 0.5\%$), *Buccella peruviana* ($<2.5\%$; média $0.4 \pm 0.6\%$), *Criboelphidium gunteri* ($<2.5\%$; média $0.4 \pm 0.6\%$), *Elphidium maorium* ($<2.4\%$; média $0.3 \pm 0.6\%$), *Haynesina depressula* ($<2.2\%$; média $0.3 \pm 0.5\%$), *Nonionella chiliensis* ($<1.9\%$; média $0.2 \pm 0.5\%$), *Sagrina pulchella* ($<1.8\%$; média $0.1 \pm 0.3\%$), *Rosalina lomaensis* ($<1.6\%$; média $0.1 \pm 0.3\%$) e *Bolivina ordinaria* ($<1.6\%$; média $0.1 \pm 0.3\%$). Algumas espécies apenas atingiram proporções de 1% em pelo menos uma amostra, tais como: *Astronion sidebottomi*, *Hanzawaia concentrica*, *Ammonia cf. aoteana*, *Elphidium selseyense*, *Nonionella auris*, *Rosalina williamsoni*, *Bulimina patagonica*, *Elphidium advenum* var. *depressulum*, *Hopkinsina atlantica*, *Quinqueloculina laevigata*, *Bolivina cf. danvillensis*, *Globocassidulina crassa*, *Bolivina seminuda*, *Quinqueloculina bosciana*, *Rosalina bradyi*, *Bolivina translucens* e *Fursenkoina texturata*. A má preservação (partidos, dissolvidos) de alguns exemplares de alguns níveis dificultou a sua identificação. A tabela completa das espécies identificadas no testemunho SP8 encontra-se no Apêndice X. Na Figura 42 são mostradas algumas das espécies identificadas.

A percentagem das espécies mais abundantes na seção 136-0 cm do testemunho SP8 foi representada em gráficos em função da profundidade (Figuras 42 e 42 cont.). Observa-se que a espécie *A. tepida* é menos abundante na seção inferior do testemunho, onde a associação de foraminíferos é dominada essencialmente por *E. poeyanum*. A percentagem de *Ammonia rolshauseni* e de *Pararotalia cananeaensis* é mais elevada na seção superior do testemunho. No entanto, a abundância relativa destas espécies decresce no topo do testemunho enquanto a percentagem de *A. tepida* tende a subir continuamente. *Criboelphidium excavatum* está presente ao longo de toda a seção 136-0 cm enquanto *Buliminella elegantissima* apenas ocorre a partir de 96 cm de profundidade.

Para o cálculo do Índice de Foram Stress (ISF) foi realizado levantamento bibliográfico sobre a ecologia das espécies e identificadas as espécies sensíveis às mudanças ambientais e oportunistas/estresse tolerantes. Dessa forma os valores do índice variaram entre 1 e 5.1, indicando condições “moderadamente poluídas” da base onde os foraminíferos tiveram seu primeiro registro no testemunho até 56 cm; a partir deste nível em direção ao topo do testemunho os horizontes sedimentares tornam-se “altamente poluídos” como exibido no arranjo de gráficos no Apêndice XI. Essa tendência geral de aumento é seguida por um declínio na parte superior do testemunho.

Tabela 26: Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão, das espécies que atingiram abundância relativa $\geq 2\%$, em pelo menos um nível da seção 136-0 cm do testemunho SP8, por ordem decrescente de máxima abundância relativa.

Principais espécies	Max.	Min.	Med.	Desv.Pad
	%	%	%	%
<i>Cribroelphidium poeyanum</i> (d'Orbigny, 1839)	91.7	0.0	39.2	28.9
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman, 1926)	75.9	0.0	15.9	22.8
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny, 1839)	28.9	0.0	5.3	7.7
<i>Ammonia rolshauseni</i> (Cushman & Bermúdez, 1946)	27.5	0.0	3.4	5.8
<i>Pararotalia cananeaensis</i> (Debenay, Duleba, Bonetti De Melo e Souza & Eichler, 2001)	21.5	0.0	4.0	6.0
<i>Cribroelphidium excavatum</i> (Terquem, 1875)	19.6	0.0	5.6	4.8
<i>Bolivina fragilis</i> (Phleger & Parker, 1951)	16.9	0.0	0.6	2.9
<i>Elphidium oceanense</i> (d'Orbigny in Fornasini, 1904)	15.9	0.0	2.4	4.1
<i>Elphidium incertum</i> (Williamson 1858)	15.8	0.0	2.9	4.2
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman, 1922)	11.1	0.0	1.9	3.0
<i>Porosonion granosum</i> (Cushman, 1936)	9.7	0.0	1.3	2.4
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny, 1839)	6.7	0.0	2.8	1.9
<i>Bolivina striatula</i> (Cushman, 1922)	6.5	0.0	1.4	1.9
<i>Elphidium discoidale</i> (d'Orbigny, 1839)	4.7	0.0	0.8	1.2
<i>Bulimina aculeata</i> (d'Orbigny, 1826)	3.3	0.0	0.9	1.1
<i>Pseudonion japonicum</i> (Asano, 1936)	3.0	0.0	0.9	0.9
<i>Cribroelphidium williamsoni</i> (Haynes, 1973)	2.9	0.0	0.4	0.6
<i>Hopkinsina pacifica</i> (Cushman, 1933)	2.8	0.0	0.1	0.5
<i>Buccella peruviana</i> (d'Orbigny, 1839)	2.5	0.0	0.4	0.6
<i>Cribroelphidium gunteri</i> (Cole, 1931)	2.5	0.0	0.4	0.6
<i>Elphidium maorium</i> (Hayward, 1997)	2.4	0.0	0.3	0.6
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob, 1798)	2.2	0.0	0.2	0.5
<i>Nonionella chiliensis</i> (Cushman & Kellett, 1929)	1.9	0.0	0.2	0.5
<i>Sagrina pulchella</i> (d'Orbigny, 1839)	1.8	0.0	0.1	0.3
<i>Rosalina lomaensis</i> (Bandy, 1953)	1.6	0.0	0.1	0.3
<i>Bolivina ordinaria</i> (Phleger & Parker, 1952)	1.6	0.0	0.1	0.3

A abundância relativa das principais espécies foi comparada com dados sedimentológicos (granulométricos, mineralógicos e geoquímicos) por análise de componentes principais (PCA). Nesta análise foram consideradas apenas as variáveis com correlação significativa e $\geq 40\%$ com os dois primeiros fatores da PCA. Os dois primeiros fatores explicam 63% da variabilidade dos dados (Fator 1: 42%; Fator 2 – 20%). Os resultados da PCA apresentados na Figura 43 e os valores dos fatores 1 e 2 (apresentados na Tabela 26) permitem verificar que alguns elementos químicos (como Th, U, Mo, Al, Ga, Cu, Pb, Se e Hg) estão mais relacionados com o quartzo, a média granulométrica e areia média e grossa, enquanto a maioria dos elementos químicos K, Ti, Cr, As, Sb, Sc, Mg, Fe, Ni, La, Co, Mn, Ba, Sr, Ca, P, Zn, Cd, está mais associada a sedimentos finos; estes sedimentos também estão mais correlacionados com MOT, carbonatos, calcita, valores da razão feldspato/quartzo, plagioclásio, opala C/T.

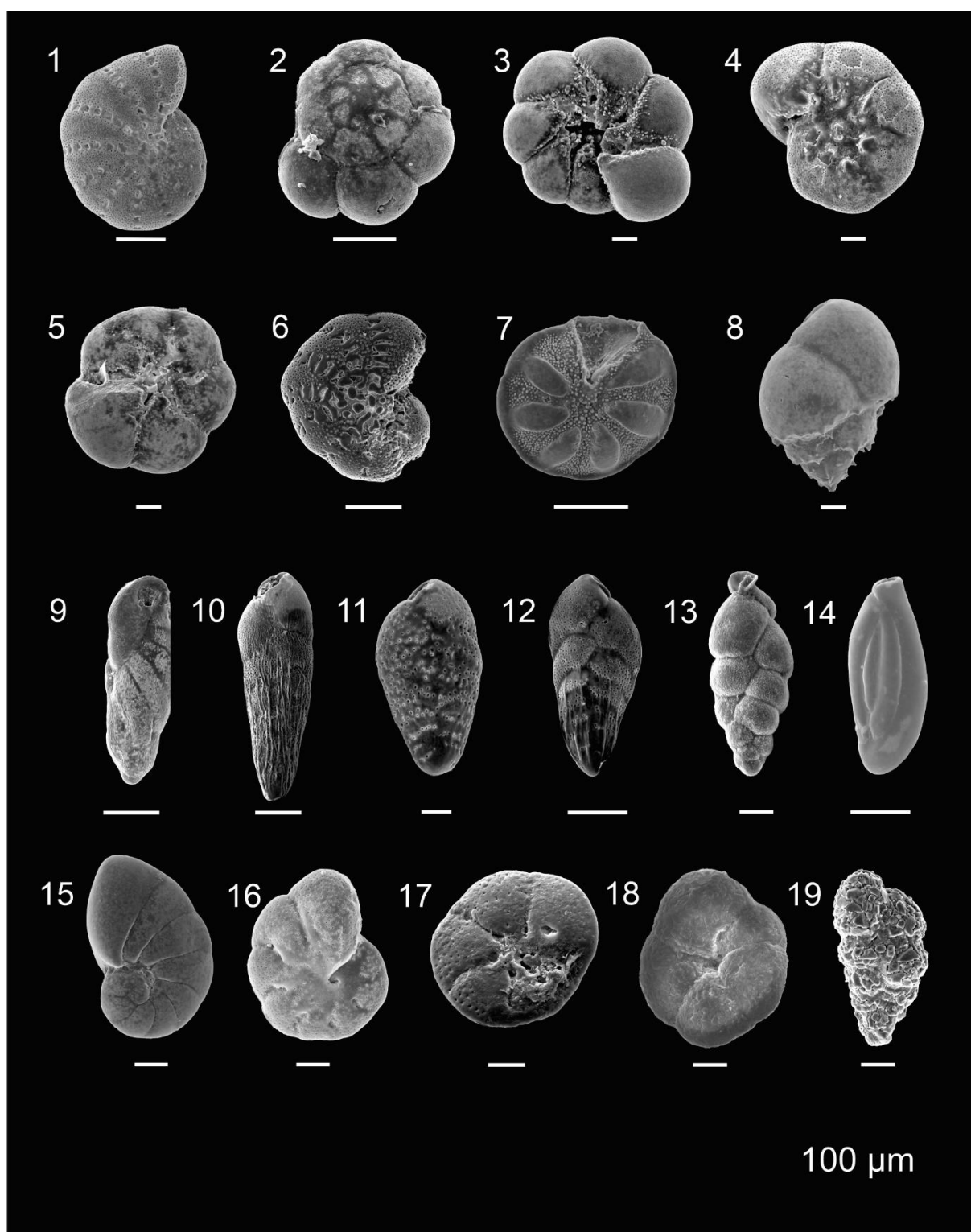


Figura 40: Fotos das principais espécies de foraminíferos identificadas ao longo do testemunho SP8. 1. *E. poyanum*. 2. *A. tepida*. 3 – *A. tepida*. 4. *A. parkinsoniana*. 5 – *A. rolshauseni*. 6. *C. excavatum*. 7. *B. peruviana*. 8. *B. aculeata*. 9. *B. elegantissima*. 10. *B. striatula*. 11. *B. compacta*. 12. *B. fragilis*. 13 *H. pacifica*. 14. *Q. laevigata*. 15. *P. japonicum*. 16. *A. gallowayi*. 17. *R. auberii*. 18. *C. exilis*. 19. *R. squamiformis*.

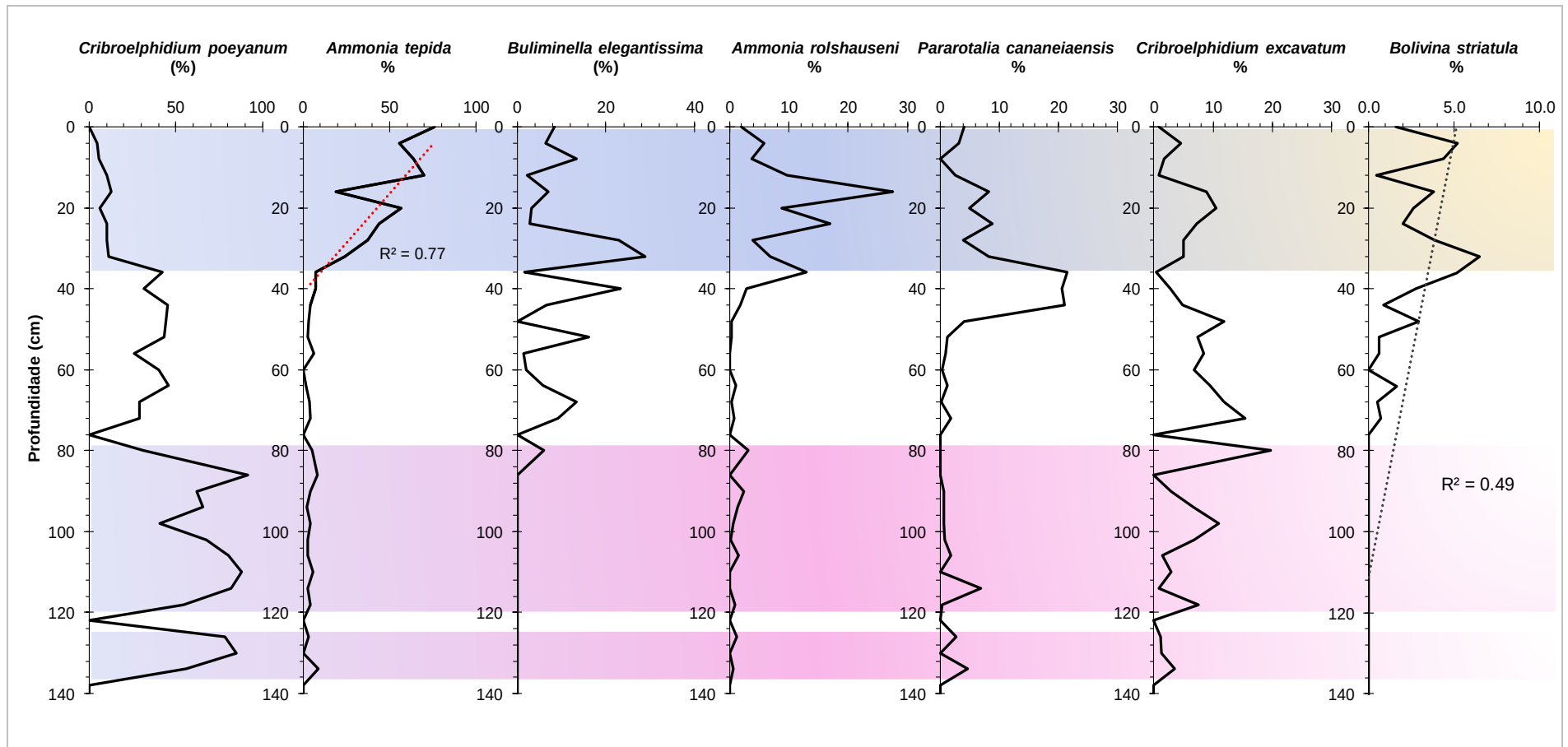


Figura 41: Percentagem das espécies mais abundantes na seção 136-0 cm do testemunho SP8. Foi representada a reta de regressão e respectivo R^2 para a curva de *A. tepida* e de *Bolivina striatula*. Foi assinalada a seção superior do testemunho onde aumenta a abundância relativa de *A. tepida*, assim como as faixas inferiores onde a abundância relativa de *E. poeyanum* aumenta consideravelmente.

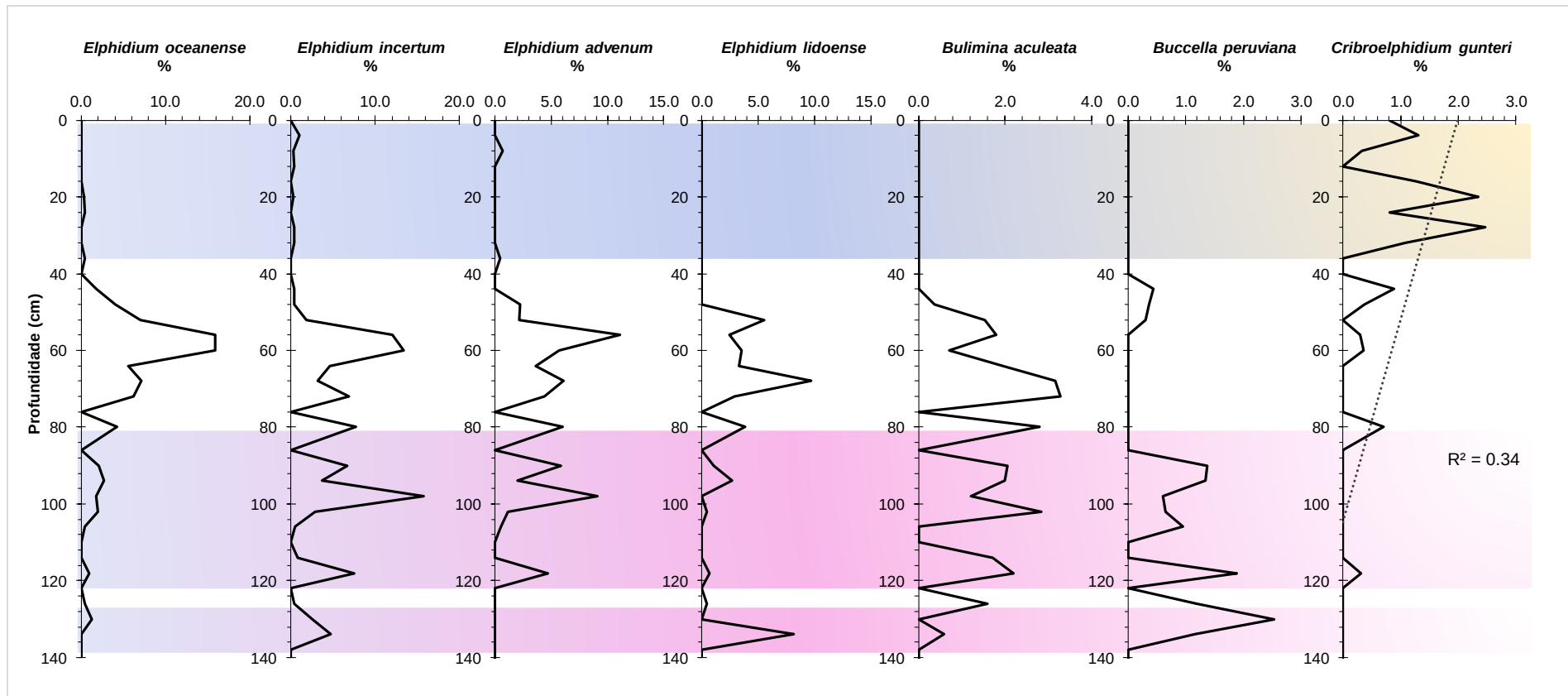


Figura 42 (cont.): Percentagem das espécies mais abundantes na seção 136-0 cm do testemunho SP8. Foi representada a reta de regressão e respectivo R^2 para a curva de *Cribroelphidium gunteri*. Foi assinalada a seção superior do testemunho onde aumenta a abundância relativa desta espécie, assim como as faixas inferiores onde a abundância relativa de *Cribroelphidium gunteri* aumenta consideravelmente.

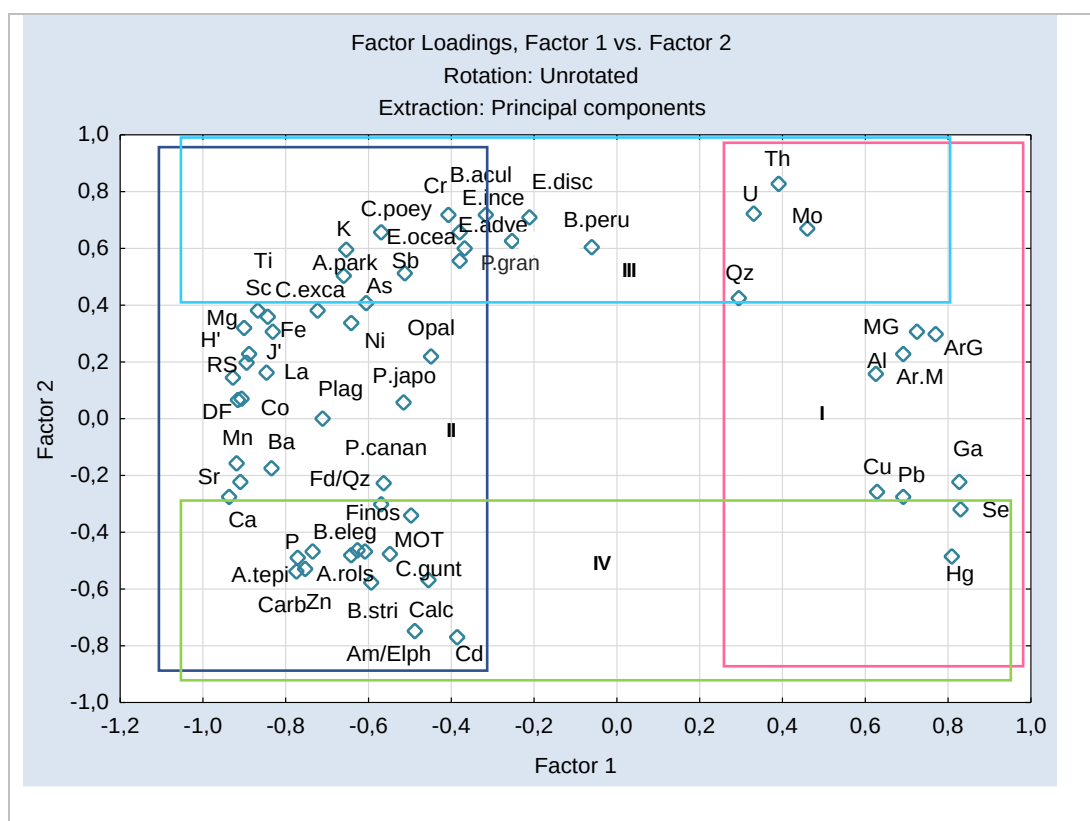


Figura 42: Gráfico do fator 1 contra o fator 2 da análise de componentes principais (PCA) com base numa seleção de dados granulométricos, mineralógicos, geoquímicos e bióticos. Estão assinalados conjuntos de variáveis mais positiva e negativamente relacionadas com cada um destes fatores. Legenda: C.poey - *Criboelphidium poeyanum*; A.tepi - *Ammonia tepida*; B.eleg - *Buliminella elegantissima*; A.rols - *Ammonia rolshauseni*; P.canan - *Pararotalia cananeaensis*; C.exca - *Criboelphidium excavatum*; E.ocea - *Elphidium oceanense*; E.ince - *Elphidium incertum*; E.adve - *Elphidium advenum*; P.gran - *Porosonion granosum*; A.park - *Ammonia parkinsoniana*; B.stri - *Bolivina striatula*; E.disc - *Elphidium discoidale*; B.acul - *Bulimina aculeata*; P.japo - *Pseudonion japonicum*; B.peru - *Buccella peruviana*; C.gunt - *Criboelphidium gunteri*; RS – riqueza específica; H' – Índice de Shannon; J' – equitabilidade; DF - Densidade de foraminíferos; Calc - Calcita; Opal - Opala C/CT; Plag – Plagioclásio; Qz - Quartzo; Finos – fração fina; MOT – matéria orgânica total; Carb – carbonatos; Am/Elh – *Ammonia/Elphidium*; Fd/Qx – feldspatos/quartzo; MG – média granulométrica; ArG – areia grossa; Ar.M – areia média.

Também estão mais relacionados com sedimentos finos os valores de densidade de foraminíferos, Índice de Shannon, equitabilidade, a razão *Ammonia/Elphidium*, algumas espécies de foraminíferos como por exemplo *A. tepida*, *C. gunteri*, *B. elegantissima*, *B. striatula*, *P. cananeaensis*, *P. japonicum*, *C. excavatum*, *A. parkinsoniana*, *E. oceanense*, *C. poeyanum*, *E. incertum*, *E. advenum* e *B. aculeata* (fig 43). Algumas espécies estão particularmente associadas ao enriquecimento de finos, de matéria orgânica, PTEs (como Zn e Cd) e P, é o caso da *A. tepida*, *B. striatula*, *B. elegantissima* e *C. gunteri* (fig 43) além de sedimentos onde os carbonatos são relativamente abundantes.

Tabela 27: Correlações das variáveis com os dois primeiros fatores da PCA (Figura 43).
 Legenda: *C.poey* - *Cribroelphidium poeyanum*; *A.tepi* - *Ammonia tepida*; *B.eleg* - *Buliminella elegantissima*; *A.rols* - *Ammonia rolshauseni*; *P.canan* - *Pararotalia cananeaensis*; *C.exca* - *Cribroelphidium excavatum*; *E.ocea* - *Elphidium oceanense*; *E.ince* - *Elphidium incertum*; *E.adve* - *Elphidium advenum*; *P.gran* - *Porosononion granosum*; *A.park* - *Ammonia parkinsoniana*; *B.stri* - *Bolivina striatula*; *E.disc* - *Elphidium discoidale*; *B.acul* - *Bulimina aculeata*; *P.japo* - *Pseudononion japonicum*; *B.peru* - *Buccella peruviana*; *C.gunt* - *Cribroelphidium gunteri*; RS – riqueza específica; H' – Índice de Shannon; J' – equitabilidade; DF - Densidade de foraminíferos; Calc - Calcita; Opal – Opala C/CT; Plag – Plagioclásio; Qz - Quartzo; Finos – fração fina; MOT – matéria orgânica total; Carb – carbonatos; Am/Elh – *Ammonia/Elphidium*; Fd/Qz – feldspatos/quartzo; MG – média granulométrica; ArG – areia grossa; Ar.M – areia média.

Variável	Fator 1	Fator 2	Variável	Fator 1	Fator 2
Al	0.63	0.16	Qz	0.30	0.42
As	-0.61	0.41	MG	0.73	0.31
Ba	-0.83	-0.18	Finos	-0.50	-0.34
Ca	-0.93	-0.28	ArG	0.77	0.29
Cd	-0.38	-0.77	Ar.M	0.69	0.23
Co	-0.91	0.07	Fd/Qz	-0.57	-0.30
Cr	-0.41	0.72	<i>C.poey</i>	-0.57	0.65
Cu	0.63	-0.26	<i>A.tepi</i>	-0.77	-0.49
Fe	-0.83	0.30	<i>B.eleg</i>	-0.62	-0.47
Ga	0.83	-0.22	<i>A.rols</i>	-0.64	-0.48
Hg	0.81	-0.49	<i>P.canan</i>	-0.56	-0.23
K	-0.65	0.59	<i>C.exca</i>	-0.72	0.38
La	-0.85	0.16	<i>E.ocea</i>	-0.38	0.56
Mg	-0.90	0.32	<i>E.ince</i>	-0.38	0.65
Mn	-0.92	-0.16	<i>E.adve</i>	-0.37	0.60
Mo	0.46	0.67	<i>P.gran</i>	-0.25	0.62
Ni	-0.64	0.33	<i>A.park</i>	-0.66	0.50
P	-0.73	-0.47	<i>B.stri</i>	-0.59	-0.58
Pb	0.69	-0.28	<i>E.disc</i>	-0.21	0.71
Sb	-0.51	0.51	<i>B.acul</i>	-0.32	0.71
Sc	-0.84	0.36	<i>P.japo</i>	-0.51	0.05
Se	0.83	-0.32	<i>B.peru</i>	-0.06	0.60
Sr	-0.91	-0.23	<i>C.gunt</i>	-0.55	-0.48
Th	0.39	0.82	RS	-0.93	0.14
Ti	-0.86	0.38	J'	-0.89	0.23
U	0.33	0.72	H'	-0.89	0.19
Zn	-0.75	-0.53	DF	-0.91	0.07
Calc	-0.45	-0.57	Am/Elph	-0.49	-0.75
Opal	-0.45	0.22	Carb	-0.77	-0.54
Plag	-0.71	0.00	MOT	-0.61	-0.47

8.2. Discussão

8.2.1. Mudanças sedimentológicas gerais registradas no testemunho SP8.

O testemunho SP8 é uma sequência sedimentar granudecrescente composta por sedimentos essencialmente siliciclásticos (Figuras 34), com sedimentos de maior granulometria na seção 177-90 cm de profundidade. A totalidade das amostras é pobre a muito pobremente selecionadas (Figura. 33). A seleção (*sorting*) é influenciada pela categoria de tamanho na rocha original, grau de intemperismo e energia do meio de deposição, o que significa, que os sedimentos deste testemunho apresentam pouca ou má seleção das partículas, o que indica que a energia do meio de transporte é ligeiramente variável (alternando entre momentos de maior e menor hidrodinâmica). A maior parte dos sedimentos analisados possui assimetria positiva, tendendo os níveis do topo do testemunho a apresentarem assimetria no sentido dos finos (Figura 33). Estas características sedimentológicas mostram que a energia de deposição pode ter sido em geral moderada a fraca sobretudo na seção superior do testemunho (90-0 cm).

A maioria dos níveis sedimentares possui sedimentos platicúrticos a muito platicúrticos, o que sugere mistura de populações diferentes de partículas, o que também é indicado pela presença de sedimentos polimodais na maioria dos níveis analisados. A análise morfoscópica de distintas frações granulométricas das areias revela também a presença de populações de partículas distintas: a fração areia muito fina integra sobretudo partículas sedimentares muito angulares ou angulares (Figura 31 - A), enquanto as frações de maior granulometria incluem um aumento progressivo de partículas subroladas a roladas, arredondados a sub-arredondados, com a superfície picotada, indicadora de transporte eólico, como se documenta na Figura 32.

Considerando que a seção inferior do testemunho (177-100 cm) contém uma maior proporção destas partículas, representadas genericamente pela curva areia média + grossa, poderemos deduzir que essa seção registra um maior fornecimento eólico de partículas sedimentares, e que este se tornou menos expressivo na seção superior do testemunho.

Além do modo e energia do agente transportador, o tamanho médio do sedimento poderia eventualmente ser também um indicador da distância dos sedimentos transportados: em geral, quanto maior a distância, maior a redução do tamanho das partículas, sendo os sedimentos mais grossos aqueles que sofrem menos transporte. Porém no testemunho SP8, o aumento dos valores da razão feldspato/quartzo, da base para o topo do testemunho, onde os sedimentos são mais finos, sugere que estes tendem a ser cada vez mais provenientes de fontes proximais. Por outro lado, alterações

significativas nas concentrações de vários elementos químicos são observadas na base do testemunho (150-177 cm). Por exemplo, Ag, Hg, Al, Mo e Pb (Figura 35) apresentam concentrações mais elevadas, assim como Ga, Se enquanto Fe, Mg, Co, Ni apresentam concentrações menores (Figura 35).

Nesta seção (150-177 cm), as razões Ag/Sc, Bi/Sc, Ga/Sc e Th/Sc mostram também valores mais elevados enquanto as razões de Mg/Sc, Mn/Sc e Ca/Sc apresentam o padrão inverso (Figura 37). Estes dados sugerem mudanças significativas da componente mineralógica relacionada à presença de uma maior variedade de minerais associada à presença de areia mais grossa. Assim, pode-se deduzir que os sedimentos da base do testemunho SP8, apesar de apresentarem maior dimensão, são menos intemperizados e são por isso provenientes da erosão de rochas localizadas próximo da área de estudo e levadas para dentro da baía por transporte fluvial, estando em contraste com a seção seguinte (150-100 cm) em que os sedimentos apresentam também maior granulometria, mas possuem composição mineralógica mais pobre (Figuras 33 e 34).

Adicionalmente, na seção inferior do testemunho (177-140 cm): não foi detectada a presença de pirita, nem foraminíferos; a calcita estava quase ausente; foram encontrados teores mais reduzidos de MOT e de carbonatos, razões mais baixas de Ca/Sc e de Sr/Sc; em alguns níveis foi identificada a presença de anidrita. A ausência de pirita é coerente com a ocorrência de teores reduzidos de MOT, e de um ambiente sedimentar oxigenado. A componente biogênica dos sedimentos (ex. conchas de moluscos, carapaças de foraminíferos) ausente ou reduzida nesta seção reflete-se nos teores reduzidos de calcita.

8.2.2. Características das assembleias de foraminíferos

A abundância de foraminíferos, embora variável, é significativa no testemunho SP8, entre 140-0 cm, tendendo a aumentar particularmente no topo, o que seria de se esperar já que as condições hidrodinâmicas passam a ser mais calmas, com características de um ambiente progressivamente confinado e mais favoráveis à acumulação de sedimentos. Como relatado por Friederichs *et al.* (2013), o início da formação e evolução da Restinga da Marambaia por volta dos 7.8 Ka AP, o que então terá favorecido o desenvolvimento das associações de foraminíferos.

O número de espécies encontrado é significativo, embora a maior parte delas (79 espécies) seja pouco abundante ($\leq 2\%$) e com ocorrências esporádicas. As espécies mais comuns e com abundâncias relativas $>10\%$, em pelo menos um horizonte (por ex.

Criboelphidium poeyanum, *Ammonia tepida*, *Buliminella elegantissima*, *Ammonia rolshauseni*, *Pararotalia cananeaensis*, *Criboelphidium excavatum*, *Elphidium oceanense*, *Elphidium incertum*, *Elphidium advenum*), são comuns em ambientes costeiros rasos. Os valores do Índice de Shannon ($<2,44$), usados como indicadores de diversidade, indicam a presença de um ambiente transicional.

Na seção 140-80 cm, a associação é dominada por Elphidiídeos sensíveis ao oxigênio, com destaque para a espécie *E. poeyanum*, integrando também outras espécies como por exemplo *C. excavatum*, *B. aculeta* e *B. peruviana* graças as condições marinhas recém estabelecida.

Entre 80-60 cm de profundidade a abundância relativa de *E. poeyanum* decresce, mas aumenta a de outras espécies como por exemplo *Elphidium oceanense*, *Elphidium incertum*, *Elphidium advenum* e *Porosononion granosum*, ocorrendo também um aumento da abundância relativa de *Pararotalia cananeaensis*. Esta espécie torna-se dominante entre 44-36 cm, mas declina e a associação passa a ser dominada por *Ammonia rolshauseni* até 10 cm de profundidade. A partir de 86 cm de profundidade, à medida que aumentam os teores de MOT, aumenta a percentagem de *B. elegantissima* e de *Bolivina striatula*. Porém, estas espécies declinam no topo do testemunho, dando lugar a um aumento significativo de *A. tepida*, que atinge 76%.

As mudanças nas associações de foraminíferos ao longo do testemunho SP8 indicam a presença de um ambiente com maior conexão com o oceano no período registrado entre 140-80 cm, semelhante ao inferido por Friederichs *et al.* (2013), que ressalta a fragilidade de ilhas-barreiras e tendo por vezes ocorrido rompimento ou destruição desta, mesmo com uma desaceleração da transgressão. A situação permaneceu semelhante, ainda com boa conexão com o oceano no período registrado na seção entre 80 - 56 cm de profundidade, mas progredindo para um ambiente cada vez mais confinado na seção entre 40-0 cm, possivelmente relacionado ao fechamento da Restinga da Marambaia, reduzindo a troca mais direta entre este ambiente e o oceano.

Ao confrontarmos os resultados desses índices com os demais proxies analisados, é possível perceber que esta mudança na saúde ambiental ocorreu durante um momento de transição do nível do mar de baixo para alto, no Holoceno Médio, estando o início do aumento desse estresse principalmente relacionado a processos de aumento da restrição do ambiente. Outro ponto importante a ressaltar é a composição da assembleia de foraminíferos, onde a mesma é bastante semelhante com as demais observadas ao longo do litoral brasileiro, e reportado por diversos autores a exemplo de, Laut *et al.* (2016); Pinto *et al.* (2016) Duleba *et al.* (2018).

8.2.3. Modelo de idades do testemunho SP8

Os resultados da datação por radiocarbono apresentados na Tabela 16, permitem supor que o testemunho SP8 contém sedimentos depositados nos últimos ≈ 9.000 anos BP. Porém os dados adquiridos permitem deduzir que o registro temporal da sedimentação não foi contínuo. As concentrações de Zn e Cd e os fatores de enriquecimento destes elementos químicos (Figuras 35, 35 cont. e 38) apresentam uma tendência semelhante à que se registra no testemunho SP3 (Figura 18-A e 19), datado com Pb^{210} e Cs^{137} ; e por Gomes *et al.* (2009) em um testemunho coletado nas proximidades da boca do Rio Guandu.

As datações obtidas tanto no testemunho SP3 como no estudo de Gomes *et al.* (2009) permitiram deduzir que momento aproximado em que o enriquecimento de metais como Cd e Zn começaram a ser marcantes após 1980 (*Anno Domini*). Esta idade possivelmente correspondendo ao horizonte 34-35 cm do testemunho SP8, idade estimada em função da similaridade entre as características observadas entre os dois testemunhos, e concordante tanto com o período de início da produção de cádmio pela fundição de zinco (Companhia Siderúrgica Ingá Mercantil), em 1974 quanto pela concentração máxima de metal em sedimentos na década de 1980 (Patchineelam *et al.*, 2011, Rodrigues *et al.*, 2020).

Considerando a datação de radiocarbono obtida para o nível 36-38 cm de 1.267 a 1.207 anos cal. BP pode-se inferir que houve uma perda significativa do registro sedimentar, provavelmente >1000 anos, denotada tanto pela marcante mudança na granulometria quanto pelos teores de minerais e elementos químicos. Uma descontinuidade sedimentar semelhante, com perda temporal de registro sedimentar de cerca de 2000 anos foi também reportada por Alves Martins *et al.* (2019), no testemunho SP6 (286 cm de comprimento), coletado na área interna da Baía de Sepetiba, a 3,0 m de profundidade, em frente à foz do Rio Guandú.

No entanto, de acordo com o modelo de idade apresentado na Figura 44, abaixo de 38 cm de profundidade as datações obtidas parecem ser coerentes e permitem estimar taxas de acumulação de sedimentos de 1,3-2,4 cm por 100 anos.

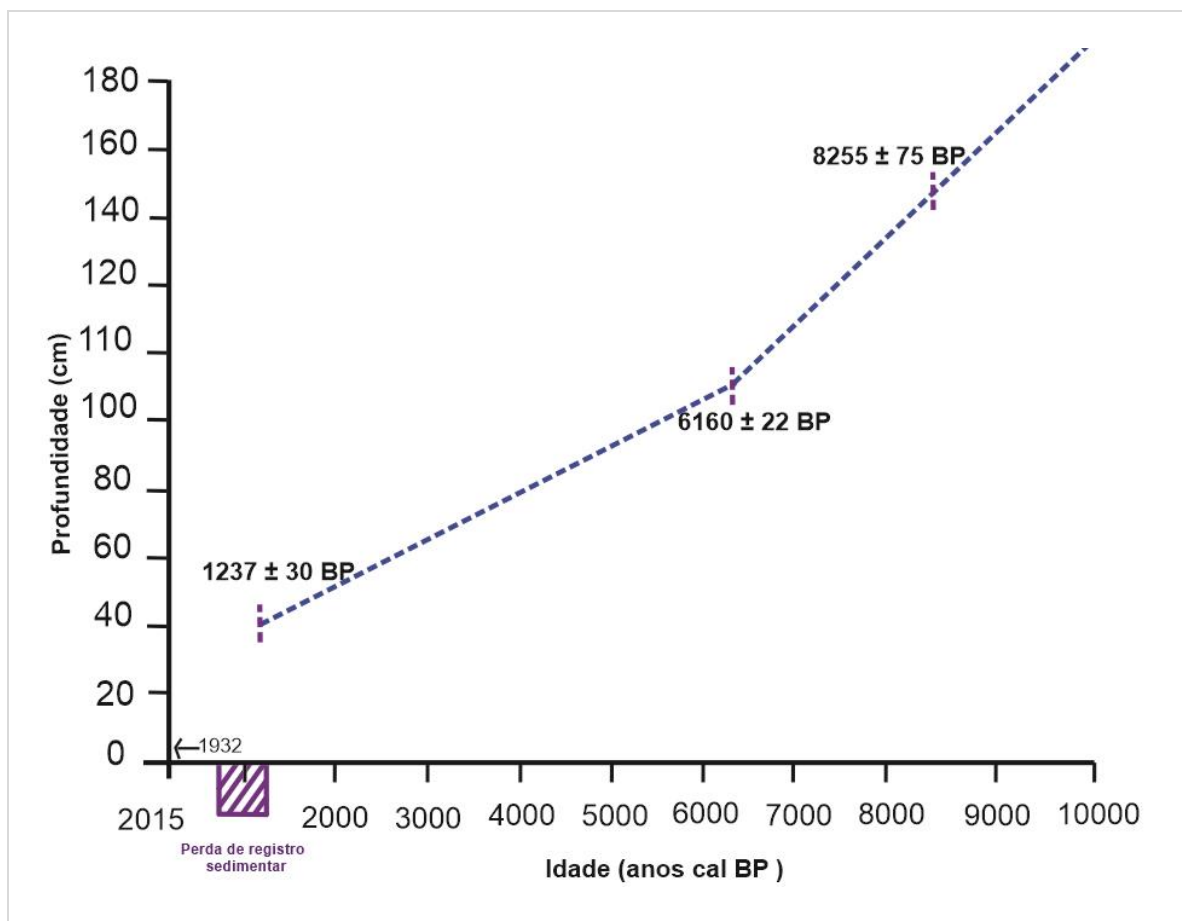


Figura 43: Modelo de idades do testemunho SP8, estabelecido por interpolação das idades de radiocarbono e outros registros sedimentares (ver a discussão no texto).

8.2.4. Evolução ambiental da área de estudo

8.2.4.1. Ambiente sedimentar depositado entre 9.5 – 7.8 Ka AP

A fim de sequenciar alguns dos eventos mais marcantes na área de estudo, foram colocadas em confronto certas variáveis, tais como valores dos parâmetros texturais Y1 e Y3, das razões Th/Sc e Feldspato/Quartzo e da densidade de foraminíferos (Figura 45). Foram também comparados os valores dos dois primeiros fatores *score* da PCA (Tabela 26), da média granulométrica, da razão *Ammonia/Elphidium* e dos fatores de enriquecimento (EF) de Zn e Cd (Figura 46). Com base nestes dados e em outros resultados (texturais, mineralógicos, geoquímicos e microfaunais) descritos anteriormente, é possível deduzir algumas alterações ocorridas na área de estudo.

De acordo com a função discriminante linear de Sahu (1964), valores de Y3 < -7,419 indicam que a amostra é derivada de ambiente fluvial, enquanto um valor de Y3 > -7,419 mostra que a amostra é um depósito marinho raso. No caso do testemunho SP8 todas as amostras apresentam valores < -7,4190 o que indica que a área de estudo poderá ter sido influenciada por material recebido de fontes fluviais. Por outro lado, se Y4 for > 10.000, enquanto se Y4 for < 9,8433, o ambiente poderá ter sido do tipo "fluvial". Considerando que os valores de Y4 são < 9,8433, abaixo dos 48 cm de profundidade, mas tendem a aumentar depois deste horizonte, pode supor-se também que os níveis inferiores do testemunho tenham recebido maior contribuição de sedimentos fluviais. Porém tanto Y3 como Y4 sugerem que essa influência foi-se dispersando em direção ao topo do testemunho (Figura 45).

O aumento das razões de vários elementos químicos normalizados com Sc, na seção 177-150 cm (na base do testemunho), sugere a ocorrência de um sedimento imaturo (menos re trabalhado), mais rico do ponto de vista mineralógico, provavelmente relacionado com a contribuição fluvial, a qual é mais marcada nesta seção. Com essa componente mistura-se outra de natureza eólica (caracterizada por grãos mais dentados, resultado do impacto no processo de transporte por saltação). Estas partículas passam a ser predominantes na seção seguinte, entre 150-100 cm de profundidade, nas frações sedimentares mais grossas do sedimento (>250 µm).

A ausência de foraminíferos e demais organismos de ambientes aquáticos (moluscos, ostracodes, etc) que dispõem suas carapaças como registro da sua presença no meio, associadas às características morfológicas das partículas sedimentares, elevados valores da razão Sr/Ca, baixos valores de Ca/Mg, CO₃, Feldspatos/Quartzo e Ti/Al (proxy de processo eólico; Chen *et al.*, 2013) assim como a presença majoritária de partículas sedimentares transportadas pelo vento, na fração areia média permitem supor que os sedimentos da seção 177-140 cm, terão sido

depositados em ambiente subaéreo, com influência eólica. Em alguns níveis desta secção ocorrem picos de minerais evaporíticos, tais como a anidrita, sugerindo a presença esporádica de água oceânica na área, provavelmente relacionada com processos de transposição (*overwash*).

Tanto Roncarati & Carelli (2012) quanto Reis *et al.* (2020) afirmam que durante o período de cerca de 9.5 a 6 Ka BP existiam diversas desembocaduras de rios, compondo o sistema fluvial da região, desaguardo próximos a área de estudo deste trabalho. Esta afirmação explica muito sobre o tipo de material encontrado na base do SP8, que consiste em diversos fragmentos líticos com características de retrabalhamento por aporte fluvial, assim como conjunto de elementos químicos semelhantes à composição do embasamento do entorno. Ter em vista o conceito de que a composição elementar do sedimento reflete características primordiais da rocha mãe (Turekian e Wedepohl, 1961; Wedepohl, 1995; Arunakumara *et al.*, 2013; Ali *et al.*, 2019), reforça a afirmação de que estes são derivados de fontes proximais.

Dessa forma estima-se que os teores de Co, Ni e Zn encontrados neste pacote sedimentar seja derivado dos minerais augita, olivina e hornblenda (presentes nas rochas ígneas adjacentes) (Martínez-Colón *et al.*, 2009; Ramakrishna & Gill, 2019) e que esses a entrada desses metais no ambiente, que hoje se conhece por Baía de Sepetiba, sejam derivados da lixiviação das dessas rochas.

O horizonte sedimentar de 140 cm marca uma mudança brusca no tipo de sedimento. Passando de um ambiente sem registro da presença de foraminíferos para outro em que estes organismos passam a estar presentes de forma quase que continua (à exceção do horizonte em torno de 120 cm, no qual não foram encontrados vestígios destes organismos) (Figura 45), testemunhando o afogamento da área de estudo descrito por no decurso da subida do nível do mar durante um pulso de transgressão Holocênica.

Para este período, os valores de EF-Cd atestam o aumento da toxicidade dos sedimentos (Singh *et al.*, 2002; Tabela 22, Figura 46) exclusivamente relacionada a processos naturais.

8.2.4.2. Ambiente sedimentar transicional estuarino-marinho ($\approx 7.8-1.2$ ka BP).

Os sedimentos da seção inferior do SP8, datados para a profundidade de 140 cm, mostram uma idade de cerca de $\approx 7,8$ ka AP, caracterizados pelo aumento de areias finas a lamosas, pobremente selecionada. Os sedimentos que compreendem o pacote sedimentar que vai deste ponto aos 40 cm permitem inferir que a Enseada da Marambaia anteriormente exposta, como um ambiente subaéreo passou por um momento de inundação, durante uma fase de transgressão marinha, marcada tanto pelas características dos sedimentos quanto pelo aparecimento do registro de vida de organismos marinhos, como as espécies de foraminíferos *C. poeyanum* associado a *C. excavatum*, *E. oceanense*, *E. incertum*, *E. advenum* e *E. discoidale*, mas também *P. granosum*. *B. aculeata*, *B. peruviana* e gêneros de *Ammonia* já presente, mas em menor abundância (Figura 42).

Como citado anteriormente, tanto Roncaratti & Carelli, quanto Reis *et al.* (2020) afirmam a proximidade de rios a essas áreas, sendo “empurrados” (retrogradação) migrando para o interior do continente, com a subida do nível relativo do mar e levando a uma diminuição na carga de filossilicatos fornecidos, como é possível perceber com a redução progressiva do AI em direção ao topo do testemunho (Figuras 34 e 35).

Carelli *et al.* (2011), Friederich *et al.* (2013) e Borges & Nittrouer (2016) inferem que por volta dos 6 Ka AP a área pode ter passado por uma fase de máximo transgressivo, levando a uma superfície de inundação máximo da área posterior ao intervalo glacial Würm.

Os valores do *fator score 1* da PCA (Figura 43), as características dos proxies e a composição das associações dos foraminíferos bentônicos estabelecidos para esse período, confirmam de fato que havia um maior contato com o oceano entre 140-56 cm, indicando um momento de maior influência marinha.

A resposta ecológica dos foraminíferos e da composição da assembleia com as mudanças evidenciadas na região é resultado principalmente de mudanças no padrão da salinidade na área, tendo em vista que apesar de esta área ser caracterizada como marinha rasa, este foi o último episódio de maior conexão com o oceano, uma vez posterior a esse intervalo o registro das testas nos sedimentos mostram um aumento do grau de confinamento em direção ao topo do testemunho (Figura 46).

8.2.4.3. Ambiente sedimentar estuarino antropizado (≈1.975-2.015 AD).

Os 40 cm superiores do SP8 registram um ambiente com idade recente estimada de ≈1.975 a 2.015, passando a ser progressivamente mais restrito, após um período de não conservação sedimentar de ± 1000 anos, atestado pelo aumento do assoreamento da área, poluição PTE antropogênica, principalmente Zn, Cd e Co (Figuras 35, 37 e 38) e MO alta (tabela 21). Como atestado pela redução da média granulométrica, pelo aumento exponencial dos valores da razão *Ammonia/Elphidium* (proporcional declínio em H' e J') que indicam a prevalência de condições subóxicas nos sedimentos, demonstrando que além das características de confinamento da Enseada da Marambaia existe também a presença marcante da influência antrópica na área, após 1980.

O aumento dos teores de P (Figura 35) pode estar relacionado com a introdução na Baía de Sepetiba a partir da somatória do despejo por esgotos domésticos, adubos usados em campos agrícolas e também, provenientes da área de manguezal localizada a nordeste da área, pelo fato de o fósforo ser um nutriente conhecidamente importante para o desenvolvimento das plantas, estimulando o aumento da produtividade natural.

A área de estudo recebe atualmente matéria orgânica de várias fontes, quer naturais (resultantes da própria produtividade natural dentro deste sistema costeiro), restos de plantas que são transportadas pelos rios, quer advinda do manguezal adjacente a partir das oscilações da maré ao longo dos dias e introduzidas na baía, ou ainda antrópicas derivadas de esgotos domésticos (Araujo *et al.*, 2017). As indústrias implantadas na região nos últimos 80 anos são reconhecidamente grandes responsáveis pelo lançamento de poluentes compostos por metais (Magalhães & Pfeiffer, 2001; Bufoni & Carvalho, 2009; Araujo *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.* 2020); situação semelhante é também observada nos testemunhos SP3 e SP7.

A diminuição da hidrodinâmica com o confinamento (≈ 3.440 anos) da região onde o testemunho SP8 foi retirado (Saco da Marambaia) inferida por Roncarati e Carelli, 2012 - atestada tanto pela diminuição da granulometria em direção ao topo do testemunho quanto pelo tipo de minerais predominantes - permite que ocorra a decantação/ acumulação de sedimentos finos e poluentes (Cunha *et al.*, 2006; Roncarati e Carelli, 2012; Friederich *et al.*, 2013).

Para além disso verificou-se também no topo do testemunho uma grande acumulação de microplásticos, constituindo a fração sedimentar >500 µm. A abundância de microplásticos (Figuras 30 e 31) também pode ser um problema na Baía de Sepetiba, porém sua influência nos organismos que fazem parte dos elos iniciais das cadeias ainda não é conhecida, principalmente para os foraminíferos, apesar de as pesquisas

sobre a ocorrência de microplásticos em ambientes marinhos ter ganhado mais visibilidade e atenção nos últimos anos (Ivar do Sul & Costa, 2014). Pesquisadores como Neto *et al.*, 2019 ; Barletta *et al.*, 2019; Garcia *et al.*, 2020 vem tentando entender como a poluição por microplásticos atua no Brasil e influencia a vida dos organismos

Ao analisarmos a disposição dos elementos químicos considerados PTEs (tabela 22) fica claro que os piores níveis estão concentrados nos 25 cm superiores do SP8 (≈ 1.986 DC). Segundo as normas reguladoras da CONAMA (2004), ambientes que excedem 410 mg kg^{-1} de Zn (nível 2) estão automaticamente caracterizados como áreas propensas a infringir efeitos adversos sobre a biota, mesmo os teores dos demais elementos aqui obtidos não alcançando níveis tão elevados assim (nível 1) (Figura 35). Logo de acordo com essa regulamentação os sedimentos superficiais desta área são descritos como potencialmente perigosos em caso de serem postos em suspensão (Monte *et al.*, 2015).

Sintetizando as regras da legislação brasileira com os resultados obtidos junto aos índices PLI e a relação obtida pelo Fator Score 2 do PCA (Figura 38 e 46) mostram os sedimentos do sistema como progressivamente deteriorados e altamente poluídos pela ação antrópica. Uma leve “melhora” é observada por volta dos 25 cm, concordantemente com o encerramento das atividades da Metalúrgica INGA Mercantil em 1988 (Magalhães & Pfeiffer, 1995; Araújo *et al.*, 2017), contudo, os efeitos desses contaminantes ainda são registradas no sedimentos, assim como a somatória de outros mais a partir da entrada recente de novas empresas poluidoras na região (exemplo TKCSA/TERNIUM) (Silva *et al.*, 2018) e reportadas nas mídias atuais.

O aumento dos teores dos metais, reduzindo a qualidade da saúde ambiental, parece ter tido um impacto direto na ecologia das associações de foraminíferos, levando à redução do tamanho destes organismos, o que denota a ocorrência de ciclos de vida curtos ou dormência potencial (Castelo *et al.*, 2021 *in press*). Paralelo a isto suas associações passaram a ser largamente dominadas por uma única espécie, *A. tepida*, dando vez a uma renovação monoespecífica da comunidade. Sendo a espécie *A. tepida* conhecida por tolerar condições de reduzida oxigenação do sedimento causada pela elevada acumulação de matéria orgânica e vários tipos de poluição (Boltovskoy, 1965), como por exemplo a causada por metais. Esta espécie tende a compor e ser abundantes em sedimentos intermarés de águas rasas, com baixas condições de adaptabilidade para outras espécies (Coccioni, 2000; LeKieffre *et al.*, 2017) e se reproduzir facilmente em águas eurihalinas sendo um importante indicador de ambientes inóspitos para estabelecimentos de diversos outros organismos.

A análise geoquímica da parede carbonática desta espécie, revela que em todas as câmaras, exemplares e níveis analisados ocorrem concentrações relativamente mais

elevadas de Pb, Hg e Sn, similar ao ocorrido no testemunho SP3, seguindo-se lhes por ordem decrescente o Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn e As. Estes elementos químicos são incluídos na composição química da carapaça, uma vez que estão presentes no meio.

No entanto, a fim de melhor compreender a relação entre a presença de PTEs no meio e a sua acumulação nas carapaças de foraminíferos faz-se necessários estudos mais aprofundados, sobre a influência destes nas reações fisiológicas destes grupos de organismos.

CONCLUSÕES

Com base nas informações obtidas a partir dos dados apresentados é possível supor que o ambiente registrado nestes testemunhos estiveram sujeitos à diversos processos de oscilações atuantes sobre a Baía de Sepetiba. Permitindo supor que a área de estudo por vezes esteve:

- Sujeita a condições subaéreas e sob a influência fluvial e eólica até ≈ 8.700 anos BP e marinhas rasas a partir de 6000 anos BP até a atualidade;
- Existiu uma melhor conexão com o oceano entre ≈ 8.300 -2.500 anos BP, permitindo inferir que esta conexão está associada aos momentos de abertura do cordão arenoso da Restinga da Marambaia;
- O ambiente evoluiu para um aumento progressivo do grau de confinamento a partir de 2.500 anos BP, marcado pela presença de espécies de foraminíferos ditas oportunistas como *A. tepida*, que resistem às condições desfavoráveis para as demais espécies, em detrimento das mais sensíveis.
- Ao longo do processo de evolução recente, o ambiente que compõe a Baía de Sepetiba – similar a diversas áreas ao redor do mundo sujeitas à ação humana - tem sofrido forte processo de antropização.

- principalmente a partir de 1980 com o aumento da implantação da atividade industrial na região, estando essas mudanças muito bem marcadas no testemunho SP3 e nas porções superiores dos SP7 e SP8, tanto nos sedimentos quanto na composição química das testas de foraminíferos e refletidas também nas características da assembleia.

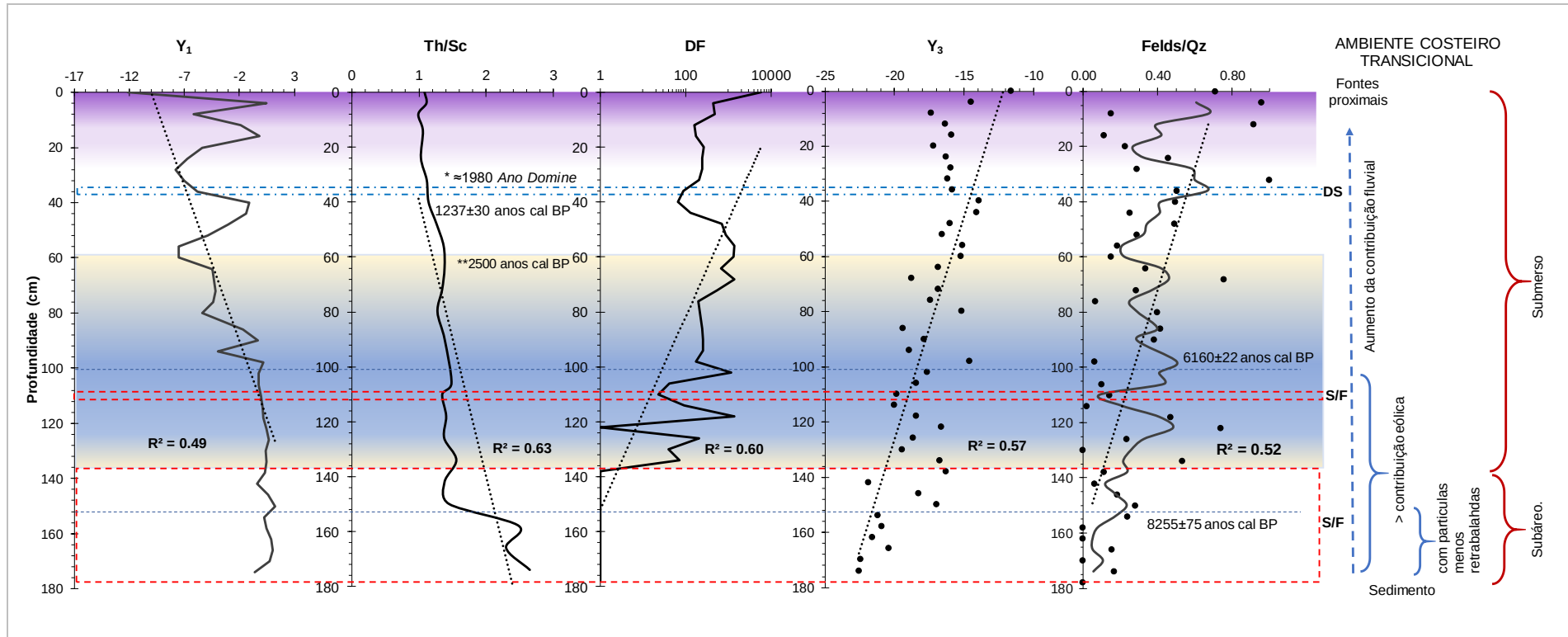


Figura 44: Comparação dos valores dos parâmetros texturais Y_1 e Y_3 , das razões Th/Sc e Feldspato/Quartzo ($Felds/Qz$) e da densidade de foraminíferos (DF). Estão sinalizados os níveis datados por radiocarbono; a descontinuidade sedimentar a ≈ 36 cm de profundidade e; duas idades estimadas: (*) por comparação com dados geoquímicos do testemunho SP3, com o mesmo tipo de registro para as concentrações de Zn e Cd e; (**) com base nas idades de radiocarbono obtidas deste testemunho. Está representada a reta de regressão e o respectivo R^2 das variáveis. Foram assinalados na imagem alguns eventos, estabelecidos com base na interpretação dos dados do testemunho SP8. Legenda: DS – descontinuidade sedimentar; S/F – sem foraminíferos

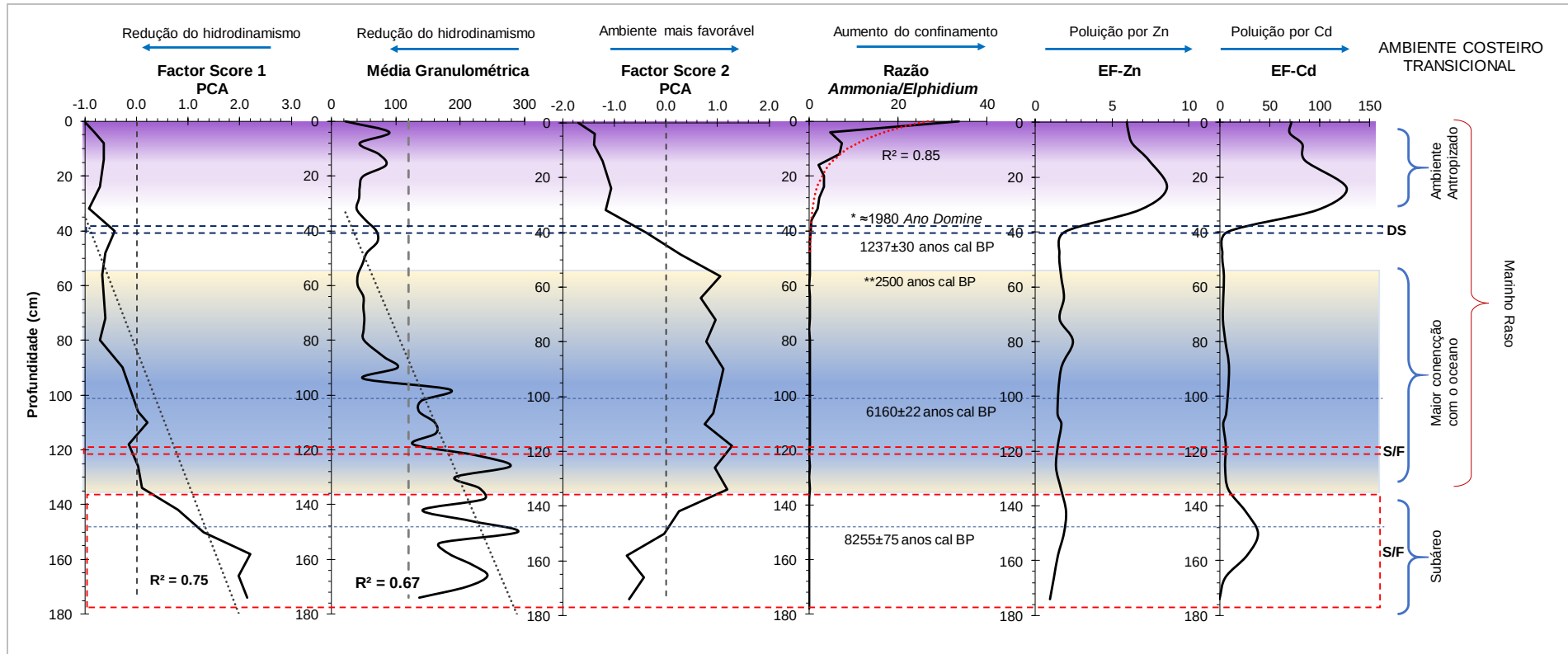


Figura 45: Comparação dos valores dos dois primeiros fatores score da PCA da Figura 45 com os valores da média granulométrica, razão Ammonia/Elphidium e dos fatores de enriquecimento (EF) de Zn e Cd. Estão sinalizados os níveis datados por radiocarbono; a descontinuidade sedimentar em torno de ≈ 36 cm de profundidade e; duas idades estimadas: (*) por comparação com dados geoquímicos do testemunho SP3, com o mesmo tipo de registro para as concentrações de Zn e Cd e; (**) com base nas idades de radiocarbono obtidas neste testemunho. Está representada a reta de regressão e o respectivo R^2 para os valores do factor score 1 da PCA e a média granulométrica. Foram assinalados na imagem alguns eventos, estabelecidos com base na interpretação dos dados do testemunho SP8. Legenda: DS – descontinuidade sedimentar; S/F – sem foraminíferos

8. BIBLIOGRAFIA

- Alegría, H., Martínez-Colón, M., Kurt-Karakus, P., Brooks, G., Hanson, L., Birgul, A. Historical sediment record and levels of PCBs in sediments and mangroves of Jobos Bay, Puerto Rico. **Science of the Total Environment**, 573, 1003-1009. 2016.
- Almeida, F. F. M. de The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48, Supl. 1, p. 15-26. 1976.
- Almeida, P. M. M. Análise espaço-temporal da área ocupada por florestas de mangue em Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ) de 1985 até 2006 e sua relação com as variações climáticas. **Dissertação de Mestrado em Geografia**, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.
- Almeida, P. M. M.; Schmid, K.; Cruz, C. B. M.; Soares, M. L. G. Dinâmica de um remanescente de floresta de Mangue do município do Rio de Janeiro. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1982.
- Alves Martins, M.V., Fonseca, M. C. M. F.; Pereira, E.; Terroso, D. L.; Rocha, F.; Rodrigues, M. A. C. Holocene closure of a barrier beach in sepetiba bay and its environmental impact (Rio de Janeiro, Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, v. 2, p. 65-80, 2017.
- Alves Martins, M.V., Nunes, M.A.S., Alves, M.I., Coelho, M.H.P.A., Castelo, W.F.L., Lorini, L.M., Terroso, D., Geraldés, M.C., Laut, L., Zaaboub, N., Rocha, F. Geochemical normalizers to study the lithogenic input to a coastal lagoon with hydrodynamic contrasts. A case study of Aveiro Lagoon (Portugal). **Journal of Sedimentary Environments**, 3 (2): 74-92. 2018.
- Alves Martins, M.V., Pereira, E., Figueira, R.C.L., Oliveira, T., Pinto Simon, A.F.S., Terroso, D., Ramalho, J.C.M., Silva, L., Ferreira, C., Geraldés, M.C., Duleba, W., Rocha, F., Rodrigues, M.A. Impact of eutrophication on benthic foraminifera in Sepetiba Bay (Rio de Janeiro State, SE Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, 4 (4): 480-500. 2019.
- Angulo, R. J., Lessa, G. C. & Souza, M. C. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews** 25 486 – 506. 2006.
- Angulo, R. J. & Souza, M. C. Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos Quaternários no Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences**. 05 (2): 01-32. 2014.
- Araújo, D. F.; Boaventura, G.R.; Machado, W.; Viers, J.; Weiss, D.; Patchineelam, S. R.; Ruiz, I.; Rodrigues, A.P.C.; Babinski, M. & Dantas, E. Tracing of anthropogenic zinc sources in coastal environments using stable isotope composition. **Chemical Geology**, 449, pp. 226-235. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.12.004>
- Armstrong, H. & Brasier, M. **Microfossils**. 2ed. Oxford: Blackwell Publishing. 2005.

- Barbosa, C. Foraminiferal zonations as base lines for Quaternary sea-level fluctuations in south-southeast Brazilian mangroves and marshes. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 35, no. 1, p. 22–43. 2005.
- Barbosa, V. P. Foraminíferos bentônicos como indicadores bioestratigráficos no Quaternário Superior da Bacia De Campos. **Rev. bras. paleontol.** 13(2):129-142, Maio / Agosto. Sociedade Brasileira de Paleontologia. doi: 10.4072/rbp.2010.2.06. 2010.
- Barletta, M., Lima, A.R.A., Costa, M.F. Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. **Sci. Total Environ.** 651, 1199–1218. 2019.
- Bernal, G.; Ruiz-Ochoa, M. A.; Piedrahita, M. T.; & Restrepo, E. Foraminíferos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Cispa Tá y la interacción Río Sinú - Mar Caribe Colombiano. **Boletín de Ciencias De La Tierra** - Número 23, Junio de 2008 - Medellín. 2008. ISSN 0120-3630.
- Barcellos, C.; Lacerda, I. D.; Ceradini, S. Sediment origin and budget in Sepetiba Bay (Brazil) - An approach based on multi-element analysis. **Environmental Geology**, 32: 203-209. 1997.
- Blanton, T., Huang, T., Toraya, H., Hubbard, C., Robie, S., Louër, D., . . . Raftery, T. JCPDS—International Centre for Diffraction Data round robin study of silver behenate. **A possible low-angle X-ray diffraction calibration standard**. Powder Diffraction, 10(2), 91-95. 1995. Doi:10.1017/S0885715600014421
- Borges, H.V. Dinâmica sedimentar da Restinga da Marambaia e Baía de Sepetiba. **Dissertação de mestrado** – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.
- Borges, H. V. & Nittrouer, C. A. Sediment accumulation in Sepetiba Bay during the Holocene: A Reflex of The Human Influence. **Journal of Sedimentary Environments**, 1(1): 90-106. 2016.
- Bouchet, V. M. P.; Alve, E.; Rygg, B. & Telford, R.J., Benthic foraminifera provide a promising tool for ecological quality assessment of marine waters. **Ecological Indicators** 23, 66–75. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.011>
- Brönnimann, P.; Moura, J.A. & Dias-Brito, D. Estudos Ecológicos na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil: Foraminíferos, p.75-861. In: **Congresso Latino-Americano de Paleontologia**, Porto Alegre, RS. 1981a.
- Brönnimann, P.; Moura, J.A. & Dias-Brito, D. Foraminíferos da Fácies Mangue da Planície de Maré de Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil, p.91-861. In: **Congresso Latino-Americano de Paleontologia**, Porto Alegre, RS. 1981b.
- Buat-Menard, P., Chesselet, R. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. **Earth and Planetary Science Letters** 42, p. 398–411. 1979. [http://doi.org/10.1016/0012-821X\(79\)90049-9](http://doi.org/10.1016/0012-821X(79)90049-9)

- Bueno, C., Figueira, R., Ivanoff, M.D., Toldo Junior, E.E., Fornaro, L., García-Rodríguez, F.G. A multi proxy assessment of long-term anthropogenic impacts in Patos Lagoon, southern Brazil. **Journal of Sedimentary Environments**, 4 (3): 276-290. 2019.
- Candido R. J. F.; Mello, F. M.; Sousa, G. M. & Farias, C. C. M. Análise Geológica-Estrutural auxiliada por Sensoriamento Remoto aplicada aos Estudos Geoambientais no Sub-Graben Guandu-Sepetiba – RJ. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR, Foz do Iguaçu. 2013.
- Carelli, S. G.; Roncarati, H.; Nascimento, D. N.; Geraldês M. C. **Síntese da evolução Geológica Cenozoica da Baía de Sepetiba e Restinga de Marambaia, Sul do Estado do Rio de Janeiro**. 2011.
- Carreira, R. S. Ribeiro, P. V. & Silva, C. E. M. Hidrocarbonetos e Esteróis como indicadores de fontes e destino de matéria orgânica em sedimentos da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. **Quim. Nova**, Vol. 32, No. 7, 1805-1811, 2009.
- Castelo, W. F. L.; Alves Martins, M. V.; De Lima Ferreira, P. A.; Figueira, R.; Da Costa, C. F.; Da Fonseca, L. B.; Bergamashi, S.; Pereira, E.; Terroso, D.; Pinto, A. F. S.; Simon, M. B.; Socorro, O. A. A.; Frontalini, F.; Da Silva, L. C.; Rocha, F.; Geraldês, M.; Guerra, J. V. Long-term eutrophication and contamination of the central area of Sepetiba Bay (SW Brazil). *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021.
- Castro, C. M & Ferreirinha, M. M. A Problemática Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu: Desafios para a Gestão dos Recursos Hídricos. **Anuário do Instituto de Geociências** –Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. - Vol. 35 – 2, p. 71-77. 2013.
- Castro, J. W. A., Suguio, K., Seoane, J. C. S., Cunha, A. M. D., & Dias, F. F. Sea-level fluctuations and coastal evolution in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, 86(2), 671–683. 2014. <http://doi:10.1590/0001>
- Castro, R.O.; Silva, M.L. & Araújo, F.V. Review on microplastic studies in Brazilian aquatic ecosystems. **Ocean Coast Manag.** 165, 385–400. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.09.013>. 2018.
- Chang, H. K.; Assine, M. L.; Corrêa, F. S. Tinen, J. S.; Vidal, A. C. & Koike, L. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. **Revista Brasileira de Geociências**, 38 (2 - suplemento): 29-46. 2008.
- Chaves, F. O., Gomes, J. R., Soares, M. L. G., Estrada, G. C. D., Almeida, P. M. M., Oliveira, V F. Contribuição ao conhecimento e à conservação da planície costeira de Guaratiba – Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro – Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, Número Especial 2, Manguezais do Brasil. 2010.
- Coimbra, J. C., Carreño, A. L. & Ferron, F. A. **Holocene Podocopida ostracoda from Sepetiba Bay Brazil – Some dominant taxa**.1995.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente - **Resolução Nº 344**, de 25 de Março de 2004, Publicada no DOU nº 087, de 07/05/2004, pp. 56-57. 2004.

- Correia, M., & Lee, J.J. Chloroplast retention by *Elphidium excavatum* (Terquem). **Is it a selective process? Symbiosis**, 29(4), 343-355. 2000.
- Costa, M. F.; Ivar do Sul, J. A.; Santos-Cavalcanti, J. S.; Araújo, M. C. B.; Spengler, A. & Tourinho, T.S. Small and microplastics on the strandline: snapshot of a Brazilian beach. *Environ. Monit. Assess.* 168, 299-304. 2010.
- Copeland, G.; Monteiro, T.; Couchc, S. & Borthwickd, A. Water quality in Sepetiba Bay, Brazil. **Mar. Environ. Res.**, 55: 385–408. 2003.
- Cunha, C. L. N.; Rosman, P. C. C.; Monteiro, T. C. Do N. Caracterização da Circulação Bidimensional da Baía de Sepetiba.. In: **XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS e do V SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA**. Aracaju-SE: ABRH, v. 1. p. 151-151. 2001.
- Cunha, C.L.N.; Rosman, P.C.C.; Ferreira, A.P.; Monteiro, T.C.N. Hydrodynamics and Water Quality Models Applied to Sepetiba Bay. **Continental Shelf Research**, v. 26, p. 1940-1953. 2006. 10.1016/j.csr.2006.06.010
- Duque, M. M; Giacomini, J; Wasserman, J. C. Modelagem hidrodinâmica bidimensional da Baía da Ilha Grande e Baía de Sepetiba visando a subsidiar o plano local de desenvolvimento da maricultura. In: **XX Semana Nacional de Oceanografia, 2008, Arraial do Cabo - RJ**. CD de Resumos. Rio de Janeiro: Faculdade de Oceanografia - UERJ - p. 1-3. 2008.
- Debenay, J.-P., Duleba, W., Bonetti, C., Melo-E-Souza, S.H., Eichler, B.B. (2001a). *Pararotalia cananeiaensis* n. sp., indicator of marine influence and water circulation in Brazilian coastal and paralic environments. **Journal of Foraminiferal Research**, 31, 152-163. 2001.
- De Souza Lima, R.G., Araújo, F.G., Maia, M. F., Pinto, A.S.S.B. Evaluation of Heavy Metals in Fish of the Sepetiba and Ilha Grande Bays, Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Research Section**, A 89, 171-179. 2002.
- Dias Pereira, S.; Hélio, H.; Helio V.; Carvalho Barros, L.; Brum Lopes, M.; Panazio, W. & Wandeck, C. **BAÍA DE SEPETIBA: CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR**. 2018.
- Dias-Brito, D; Moura, J & Wurdig, N. Relationships between ecological models based on ostracodes and foraminifers fro Sepetiba Bay (Rio de Janeiro – Brazil). In: Hanai, T. *et al.* (ed.). **Evolutionary biology of Ostracoda: Its fundamentals and applications**. Developments in Paleontology and Stratigraphy, 11: 467-485. 1988.
- Dourado, F., Cunha, J., Lima, A. & Palermo, N. **Os novos empreendimentos na baía de sepetiba e o passivo ambiental da Cia Mercantil e Industrial Ingá**. 2012.
- Duleba, W., Setembrino, P., Coimbra, J. C. S. & Barbosa, C. F. Foraminíferos, Ostracodes e Tecamebas recentes utilizados como bioindicadores em estudos ambientais brasileiros. **Quaternário do Brasil**. Holos, Ribeirão Preto, 176-210. 2003.
- Duleba, W., Teodoro, A.C., Debenay, J-P, Alves Martins, M.V., Gubitoso, S., Pregnolato, L.A., Lerena, L.M., Prada, S. M., Bevilacqua, J. E. Environmental impact of the largest

- petroleum terminal in SE Brazil: A multiproxy analysis based on sediment geochemistry and living benthic foraminifera. **PLoS ONE** 13(2): e0191446. 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191446>
- Dominguez, J. M. L.; Bittencourt, A. C. S. P. & Martin, L. **Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate**. 1992.
- Eichler, P. P. B. Foraminifera zonation and water renewal in transects along Bertioga Channel, SP, Brazil. **Global Journal for Research Analysis**, v. 6, Issue:4. 2017. ISSN N° 2277 – 8160.
- Ferrari, A. L. A geologia do “rift” da Guanabara (RJ) na sua porção centro ocidental e sua relação com o embasamento précambriano. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, **Anais**. Natal: SBG, 6:2851-2872. 1990.
- Ferrari, A. L. Evolução tectônica do Graben da Guanabara . **Tese de Doutorado**. IgC/ USP. São Paulo, pp. 412. 2001.
- Ferreira, A.P., Horta, M.A.P., Cunha, C.L.N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasi.. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 10 (2): 229-241. 2010.
- Ferreira, P.A.L., Siegle, E., Schettini, C.A.F., De Mahiques, M.M., Figueira, R.C.L., 2014. Statistical validation of the model of diffusion-convection (MDC) of ¹³⁷Cs for the assessment of recent sedimentation rates in coastal systems. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry** (Print), v. 1, p. 1-13.
- Figueira, R.C.L., Tessler, M.G., Mahiques, M.M., Fukumoto, M.M., 2007. Is there a technique for the determination of sedimentation rates based on calcium carbonate content? A comparative study on the Southeastern Brazilian shelf. **Soils and Foundations**, 47, 649–656.
- Figuti, L. O homem pré-histórico, o molusco e o sambaqui. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia** 3: 67-80 1993.
- Fiorini, F. Benthic foraminiferal associations from Upper Quaternary deposits of Southeastern Po Plain, Italy. *Micropaleontology*, vol. 50, n° 1, pp. 45-58, text-figures 1-4, plates 1-3, appendix 1. 2004. Ferrari, A, P. Evolução Tectônica do Graben da Guanabara. **Tese de Doutorado** – USP, pp 449. 2001.
- Folk R.L.; Ward, W.C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 3–26, 1957.
- Fragoso, M. R. Estimativa do Padrão de Circulação da Baía de Sepetiba (RJ) - Através de Modelagem Numérica. **Monografia de Graduação**, Depto. Oceanografia - UERJ, Rio de Janeiro, 84 pp. 1995.
- Fragoso, M. R. Estudo Numérico da Circulação Marinha da Região das Baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ). **Dissertação de mestrado**, IOUSP. 1999.

- Friederichs, Yasmin. Lima.; Reis, A. T.; Silva, C. G.; Toulemonde, B.; Maia, R. M. C.; Guerra, J. V. Arquitetura Sísmica do Sistema Fluvio-estuarino da Baía de Sepetiba Preservado na Estratigrafia Rasa da Plataforma Interna Adjacente, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 43, p. 124-138. 2013.
- Gallo, M. N.; Vinzon, S. B.; Jordão, M. D. L.; Kim, M.; Medeiros, A. D. Variabilidade das concentrações de sedimentos em suspensão no rio Guandu. In: Tubbs Filho, D; Antunes, J. C. O.; Vettorazzi, J. S. (Org.). **Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim - Experiências para a gestão dos recursos hídricos**. 1ed. Rio de Janeiro: INEA, v. 1, p. 325-339. 2012,
- Garcia, M.; Campos; C.C., Mota, E.M.T.; Santos, N.M.O.; Campelo, R.P.S.; Prado, L.C.G., Melo Junior, M. & Soares, M.O., Microplastics in subsurface waters of the western equatorial Atlantic (Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, 150, 110705. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110705>
- Gomes, A. S. “Análise de Dados Ecológicos” **Apostila desenvolvida na Universidade Federal Fluminense**, Instituto de Biologia, Centro de estudos gerais, Departamento de Biologia Marinha. pp. 26. 2004.
- Gomes, C. F. **Argilas, o que são e para que servem**. pp 457. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.
- Gomes, C. S. F.– **Minerais Industriais: matérias-primas cerâmicas**. Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Científica (Ed.), 247 pp. 1990.
- Gontijo-Pascutti, A.H.F., Hasui, Y., Santos, M., Soares Júnior, A. V, Souza, I.A. As serras do Mar e da Mantiqueira, in: Hasui, Y., Carneiro, C. da R., Almeida, F.F.M., Bartorelli, A. (Orgs.), **Geologia do Brasil**. Livro. Beca, São Paulo, p. 549–571. 2012.
- Gooday, A. J. Benthic foraminifera. In Turekian, K. K. (ed.), **Climate and Oceans**. Princeton: Elsevier, pp. 425–436. 2001.
- Gregory, J.M. “Sea-Level Changes under Increasing Atmospheric CO₂ in a Transient Coupled Ocean-Atmosphere GCM Experiment.” **Journal of Climate**, 6:2247-2262. 1993.
- Hamacher, C. Fluxo de materiais entre manguezais e áreas costeiras adjacentes: Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil. **Tese de Doutorado em Química**. Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. 2001
- Herricks, E. E. & Schaeffer, D. J. Can We Optimize Biomonitoring? **Environmental Management**, vol. 9, 6: 487 – 492.
- Horton, B. P., W hittaker, J. E., Thomson, K. H., Hardbattle, M. I., Kemp, A., W oodroffe, S. A., & W right, M. R. The Development of a Modern Foraminiferal Data Set for Sea-Level Reconstructions, Wakatobi Marine National Park, Southeast Sulawesi, Indonesia. **Departmental Papers (EES) - University of Pennsylvania Scholarly Commons**. 2005.
- Howell, B. F., and Paul H. Dunn. “Early Cambrian ‘Foraminifera.’” *Journal of Paleontology*, vol. 16, nº. 5, pp. 638–639. **JSTOR**, www.jstor.org/stable/1298784. 1942. Acessado em 05 de Fevereiro de 2020.

- Ivar do Sul, J. A. & Costa, M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. **Environmental Pollution**, 185, 352-364. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.036>
- Krumbein, W.C.; Pettijohn, F. **Manual of sedimentary petrology**. New York: Appleton Century-Crofts. 1938.
- Jesus, P. B.; Dias, F. F.; Muniz, R. A. ; Macario, K. D. ; Seoane, J. C. S.; Quattrocioni, D. G. S. ; Cassab, R. C. T.; Aguilera, O.; Souza, R. C. C. L.; Alves, E. Q.; Chanca, I. S. ; Carvalho, C.; Araujo, J. C. . Holocene paleo-sea level in southeastern Brazil: an approach based on vermetids shells. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 2, p. 35-48. 2017.
- Lacerda, L. D., Marins, R.V., Paraquetti, H. H. M., Mounier, S., Benaim, J. & Fevrier, D., 2001. Mercury distribution and reactivity i waters of a subtropical coastal lagoon, Sepetiba Bay, SE Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 12 (1), 93-98. 2001.
- Lamego, A. R. Setores da Evolução Fluminense II – O Homem e a Restinga. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Conselho Nacional de geografia. 1946.
- Laut, L. L. M.; Koutsoukos, E.A.M. ; Rodrigues, M.A. da C. . Foraminíferos como Indicadores das Variação do Nível Relativo do Mar no Manguezal de Guaratiba, RJ - Brasil. In: II Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 2003, São Paulo. **II Simpósio Brasileiro de Oceanografia**, 2003.
- Laut, L. M.; Koutsoukos, E. A. M. & Rodrigues, M. A. C. Review of mangrove foraminifera from the Guaratiba tidal plain, Rio de Janeiro, SE Brazil, collected in the early 70's. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, pp. 427-42. ISSN 0101-9759 - Vol. 29 - 1/2006.
- Laut, L. L. M. & Rodrigues, M. A. C. Foraminíferos do manguezal de Guaratiba, Rio de Janeiro: Revisão taxonômica e aplicação de análises multivariadas. In: Carvalho, I. et al. (Ed), **Paleontologia: Cenários da Vida**. Editora Interciência, v.3, p. 231-240. 2011.
- Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Martins, V.; Rodrigues, M.A.C.; Mendonça, J.O.; Clemente, I.M.M.M.; Laut, V.M.; Mentzigen, L.G. alves. In: **Baía de Sepetiba: Estado da Arte**. Rodrigues, M.A.C.; Pereira, S.D.; Santos, S.B., Rio de Janeiro: Cobã, pp 115 - 150. 2012.
- LeKieffre, C.; Spangenberg, J E.; Mabilieu, G.; Escrig S.; Meibom, A. & Geslin, E. Surviving anoxia in marine sediments: The metabolic response of ubiquitous benthic foraminifera (*Ammonia tepida*). **PLoS ONE** 12(5): e0177604. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177604>
- Lins de Barros, F. M. Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro / Flavia Moraes Lins de Barros. – Rio de Janeiro: UFRJ-PPGG. **Tese de doutorado**. 2010.
- Lino, A. S.; Galvão, P. M. A.; Longo, R. T. L.; Azevedo-Silva, C. E.; Dorneles, P. R.; Torres, J. P. M.; Malm, O. Metal bioaccumulation in consumed marine bivalves in Southeast

- Brazilian coast. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology** 34, 50–55. 2016.
- Maio, C. R. Sepetiba: Contribuição ao estudo dos níveis de erosão do Brasil. **Ver. Bras. Geogr.**, A. XX, nº 2. 1958.
- Magalhães, V.F. & Pfeiffer, W.C. Arsenic concentration in sediments near a metallurgical plant (Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil). **Journal of Geochemical Exploration**, 52(1–2), 175-181. 1995.
- Magurran, A. E. Ecological Diversity and Its Measurement. University Press, Princeton, NJ. 1988.
- Martin, L.; Suguio, K. & Flexor, J. M. As flutuações de nível do mar durante o quaternário superior e a evolução geológica de "deltas" brasileiros. **Boletim IG-USP**. - Publicação Especial, n. 15. 1993. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2317-8078.v0i15p01-186>
- Martin, Louis & Dominguez, José & 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**. 19. 101-124. 2003.
- Mauz, B.; Lang, A. Removal of the feldspar-derived luminescence component from polymineral fine silt samples for optical dating applications: evaluation of chemical treatment protocols and quality control procedures. **Ancient TL**, v. 22, n. 1, p. 1-8, 2004.
- Mc Granaham, G., Balk, D., Anderson, B. **The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones** v 19 issue: 1, page(s): 17-37. 2007.
- Mello, F. M de. Análise estrutural aplicada aos estudos geoambientais no Sub-Gráben Guandu-Sepetiba-RJ. In: INEA/Comitê da Bacia Hidrográfica Guandu (RJ). In: Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim Experiências para a gestão dos recursos hídricos. Comitê Bacia Hidrografica Rio Guandu. Org. Décio Tubbs Filho, Julio Cesar Oliveira, Antunes, Janaina Silva Vettorazzi. Rio de Janeiro , INEA, 2012. pp. 340. MOLISANI, M. M.; MARINS, R. V.; MACHADO, W.; Paraquetti, H.H.M.; Bidone, E.D. Lacerda, L.D. Environmental changes in Sepetiba Bay, SE – Brazil. **Reg Environ Change**, 4:17–27. 2012.
- Misumi, S.; de Barros, M.; Vilela, C. & Barth, O. Palinologia, Paleoflorística e Aspectos Paleoclimáticos de Sedimentos do Pleistoceno Tardio na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, Rio de Janeiro, Brasil. **Anuario do Instituto de Geociencias**. 37. 104-114. 10.11137/2014_1_104_114. 2014.
- Moreira, J. L. P., Madeira, C. V., Gil, J. A., Machado, M. A. P. Bacia de Santos. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 15(2): 531-550. 2007.
- Moura, J. A.; Dias-Brito, D.; Bronniman, P. Modelo ambiental de laguna costeira clastica- Baía de Sepetiba, RJ. **Atlas do Simpósio do Quaternário do Brasil**. 1982.
- Nascimento, D. N.; *Fernandes Chaves, H. A.; Carelli, S. G.; Polivanov, H. e Geraldês, M. C.* Caracterização paleoambiental utilizando argilas costeiras de subsuperfície - **Estudo de caso: baía de Sepetiba**-RJ. 2012.

- Nascimento, D. N.; Chaves, H. A. F.; Carelli, S.C.; Polivanov, H.; Geraldês, M. C. Caracterização paleoambiental utilizando argilas costeiras de Subsuperfície - Estudo De Caso: Baía De Sepetiba-RJ. In: Rodrigues, M. A. C.; Pereira, S. D.; Bergamaschi, S. (Org.). **INTERAÇÕES HOMEM-MEIO nas zonas costeiras: Brasil/Portugal**. 1º ed. Rio de Janeiro: Corbã, v. 1, p. 281-282. 2013.
- Nascimento, D.N., Salomão, M.S., Mane, M.A., Geraldês, M.C., Alves Martins, M.V. Marine Progression records in the Sepetiba Bay region (RJ-Brazil) by GPR and Ground Magnetic survey. **Journal of Sedimentary Environments**, 4 (4): 518-539. 2019.
- Neumann, B.; Vafeidis, A.T.; Zimmermann, J.; Nicholls, R. J. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. **PLoS ONE** 10(3): e0118571. 2015. <http://doi:10.1371/journal.pone.0118571>
- Oliveira, T. S., Barcellos, R. L., Schettini, C. A. F. & Camargo, P. B. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **RGCI** [online]. vol.14, n.3 [citado 2020-04-29], pp. 399-412. 2014. ISSN 1646-8872. <http://doi.org/10.5894/rgci470>.
- Passos, S. A., Dias, F.F., dos Santos, P.R.A. *et al.* Evaluation of the effects of a possible sea-level rise in Mangaratiba - RJ. **J Coast Conserv**, 23, 355–366. 2019. <http://doi.org/10.1007/s11852-018-0665-2>
- Passos, A. & Deus, L. & Santos, P. & Dias, Fabio. Modeling of Occupation and Land Use in the Coastal Zone of the Municipality of Mangaratiba-RJ and its Implications Using the LCM Tool and Orbital Images. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. 43. 346-354. 2020. DOI: 10.11137/2020_1_346_354.
- Patchineelam, S., Sanders, C., Smoak, J., Zem, R., Oliveira, G., Patchineelam, S., 2011. A historical evaluation of anthropogenic impact in coastal ecosystems by geochemical signatures. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 22, 120–125. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-118950532011000100016>
- Pellegrini, J. A. C. Caracterização da planície hipersalina (apicum) associada a um bosque de mangue em Guaratiba, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro-RJ. 101f. **Dissertação de Mestrado em Ciências** -Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.
- Pereira, M.J., Barbosa, C.M., Agra, J., Gomes, J.B., Aranha, L.G.F., Saito, M., Ramos, M.A., Carvalho, M.D., Stamato, M., Bagni, O. Estratigrafia da Bacia de Santos: análise das seqüências, sistemas deposicionais e revisão litoestratigráfica. In: SBG, **Congresso Brasileiro de Geologia**, 34, Goiânia, Anais, v 1: pp 65-79. 1986.
- Pereira, M.J.; Feijó, F.J. Bacia de Santos. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v.8, n.1, p. 219 – 234, 1994.
- Pereira, S.D. Influência da variação relativa do nível do mar no manguezal de Guaratiba – Baía de Sepetiba – RJ. **Tese de Doutorado**. Centro de Geologia Costeira e Oceânica. UFRGS. 133 p. 1998
- Pereira, S.D.; Villena, H.H.; Barros, L.C.; Lopes, M.B.; Panazio, W. & Wandeck, C. Baía de Sepetiba: caracterização sedimentar. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário/II Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas/II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão

- Portuguesa. Recife, 2003. Publicação em CD Rom. São Paulo, **Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. 2003.
- Pereira, S. D. & Santos, S. B. Restos de moluscos na Baía de Sepetiba como indicadores de alterações pretéritas da linha de costa no Holoceno. In: Maria Antonieta da C. Rodrigues; Silvia Dias Pereira; Sonia Barbosa dos Santos. (Org.). **Baía de Sepetiba: Estado da Arte**. 1ed. Rio de Janeiro: Corbã, v. 1, p. 105-111. 2012.
- Petró, S. M. **Introdução ao Estudo dos Foraminíferos**. Universidade federal do rio grande do sul - Instituto de geociências. Porto Alegre. 2018.
- Pillet, L., Vargas, C., Pawlowski, J. Molecular identification of sequestered diatom chloroplasts and kleptoplastidy in foraminifera. **Protist**, 162 (3) 394-404. 2011. Doi.org/10.1016/j.protis.2010.10.001
- Pinto, A.F.S., Martins, M.V.A., Rodrigues, M.A.C., Nogueira, L., Laut, L.L.M., Pereira, E., Late Holocene evolution of the Northeast intertidal region of Sepetiba Bay, Rio de Janeiro (Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, 1(1): 107-138. 2016.
- Pinto, A.F.S., Ramalho, J.C.M., Borghi, L., Carelli, T.G., Plantz, J.B., Pereira, E., Terroso, D., Santos, W.H., Geraldés, M.C., Rocha, F., Rodrigues, M.A.C., Laut, L., Martins, M.V.A. Background concentrations of chemical elements in Sepetiba Bay (SE Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, 4 (1), p. 108-123. 2019. Doi.org/10.12957/jse.2019.40992
- Rebello, M.F., Amaral, M.C.R., Pfeiffer, W.C. High Zn and Cd accumulation in the oyster *Crassostrea rhizophorae*, and its relevance as a sentinel species. **Marine Pollution Bulletin**, 46: 1341-1358. 2003.
- Reis, A. T., Maia, R., Silva, C. Gorini, C., Rabineau, M., Alves, E., Guerra, J., Simões, I., Arantes-Oliveira, R. Feições geomorfológicas indicativas de variações eustáticas e de exposição subaérea da plataforma continental sul fluminense durante o pleistoceno superior-holoceno. **Revista Brasileira de Geofísica**. 29. 10.22564/rbgf.v29i3.102. 2011.
- Reis, A. T., Amendola, G., Dadalto, T. P., Silva, C. G., Tardin Poço, R., Guerra, J. V., Alves Martins, M. V., Cardia, R. R., Gorini, C., Marina Rabineau, M. Arquitetura e evolução deposicional da sucessão sedimentar Pleistoceno Tardio-Holoceno (ÚLTIMOS ~20 Ka) da Baía De Sepetiba (RJ) São Paulo, UNESP, **Revista Geociências**, v. 39, n. 3, p. 695 - 708, 2020.
- Riccomini, C., Sant'Anna, L. & Ferrari, A. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 383-406. 2004.
- Riccomini, C.; Modenesi-Gauttieri, M. C.; Ferrari, A. L.; Hiruma, S. T.; Sant'anna, L. G. Origin and evolution of the Continental Rift of Southeastern Brazil. In: **31st International Geological Congress**, Rio de Janeiro. Field Trip Guide Aft-10. Rio de Janeiro: International Union of Geological Sciences, 2000. p. 1-37. 2000.
- Roberts, M.L; Steven R.; Beaupré, S.R.; Burton, J.R. A high-throughput, low-cost method for analysis of carbonate samples for ^{14}C . **Radiocarbon**, v. 55, n. 2–3, p. 585–592. 2013.

- Rocha, D. S.; Cunha, B. C. A.; Geraldês, M. C.; Pereira, S. D.; Almeida, A.C. Metais pesados em sedimentos da baía de Sepetiba, RJ: implicações sobre fontes e dinâmica da distribuição pelas correntes de maré. **Geochimica Brasiliensis**, v. 24, p. 63-70. 2010.
- Rocha, F. - Argilas aplicadas a estudos litoestratigráficos e paleoambientais na Bacia Sedimentar de Aveiro. **Tese de Doutorado**., Universidade de Aveiro, Aveiro, 399 pp. 1993.
- Rodrigues, M. A., Pereira, S. D., Araújo-Junior, H. I, Pereira, O. N. A. Contexto geológico da Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro in: **Baía de Sepetiba - Riscos à natureza e aos coletivos humanos na metrópole do Rio de Janeiro**. pp. 228, 1º ed., Letra Capital. 2018.
- Roncarati, H. & Carelli, S. G. Considerações sobre o Estado da Arte dos Processos Geológicos Cenozóicos Atuantes na Baía de Sepetiba. In: **Baía de Sepetiba: Estado da Arte**. Rodrigues, M.A.C.; Pereira, S.D.; Santos, S.B., Rio de Janeiro: Cobã, p.13 — 36. 2012.
- Rossetti, F. Late Cenozoic sedimentary evolution in Northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. **Journal of South American Earth Sciences - JSAMES**, vol. 14, pp 77-89. 2001.
- Ruellan, F. A evolução geomorfológica da baía de Guanabara e das regiões vizinhas. **Rev. Bras. Geografia**, ano IV, nº 4. 1944.
- Sahu, B. K. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. **J sed petrol**, 34, 73–83. 1964.
- Samir, A.M. El-Din A. B. Benthic foraminiferal assemblages and morphological abnormalities as pollution proxies in two Egyptian bays. **Marine Micropaleontology**, 41 193-227. 2001,
- SEMADS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da Macrorregião 2 - Bacia da baía de Sepetiba**. 2001.
- Sen Gupta, B. **Modern Foraminifera**. Dordrecht: Kluwer Academic. 1999.
- Shawar, L., Halevy, I., Said-Ahmad, W., Feinstein, S., Boyko, V., Kamysny, A., & Amrani, A. (2018). Dynamics of pyrite formation and organic matter sulfurization in organic-rich carbonate sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 241, 219-239. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.08.048>
- Signorini, S.R. A Study of The Circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba Part. I, A Survey of the Circulation Based on Experimental Field Data. **Bolm Inst. oceanogr.**, 29(1): 41-55. 1980.
- Silva, A. C. P.da Andressa de Oliveira Spata & Lima, M. S. C. C. Gestão ambiental integrada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro: a avaliação de impactos cumulativos e sinérgicos entre cidades milionárias – o exemplo da baía de Sepetiba (RJ). **Dossiê Políticas urbanas, sustentabilidade e governança**, 38. 2018. <https://doi.org/10.4000/confins.16960>

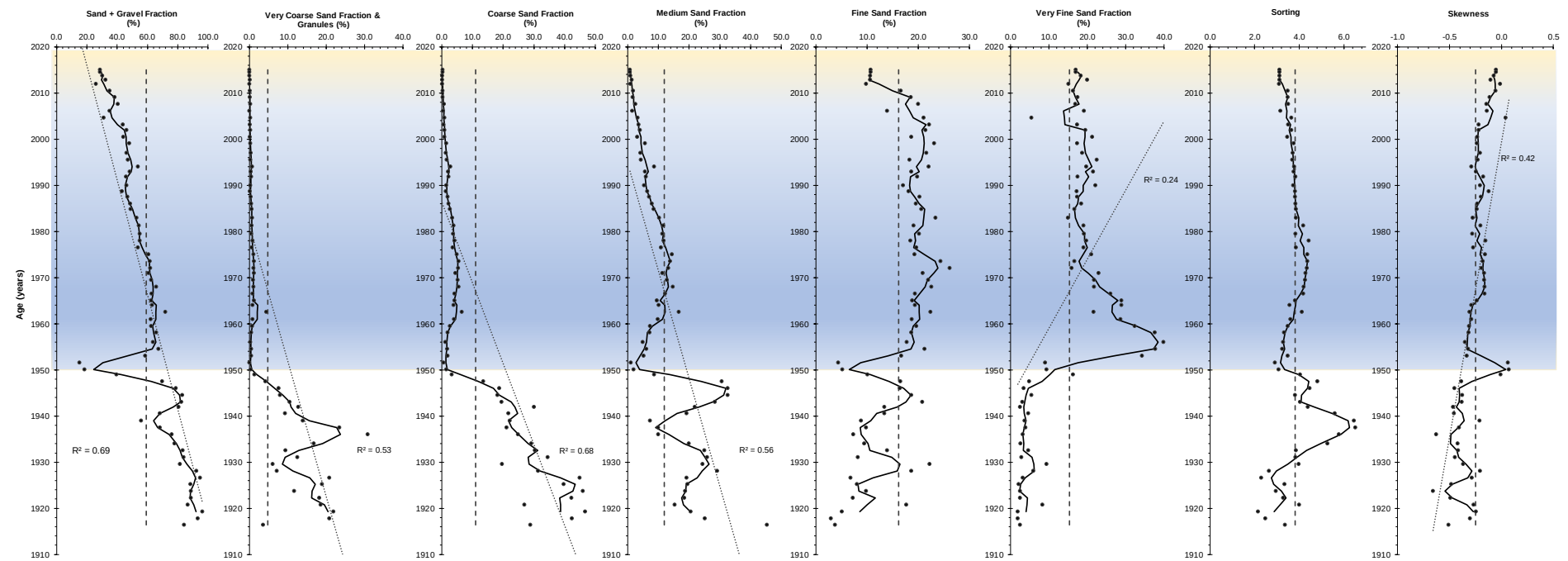
- Silva, K.J.; Rodrigues, M. A. C.; Koutsoukos, E. A. M. Foraminíferos Bentônicos do Holoceno Superior da Baía de Sepetiba. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 2006, Aracaju. **XLIII Congresso Brasileiro de Geologia**, pp. 323-323 – Aracaju. 2006.
- Silva, L.C.; Vieira, V.S.; Guimarães, M.T.; Souza, E.C. Neoproterozóico/Cambriano. In: Silva, L.C.; Cunha, H.C.S. (org.). Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. 2 ed. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Escala 1:400.000. Brasília: CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2001.
- Soares de Almeida, G., Marques, E. D., José da Silva, F., Pinto, C. P., Silva-Filho, E. V. Application of pXRF (Field Portable X-ray Fluorescence) Technique in fluvial sediments geochemical analysis – Bule Stream, Minas Gerais State, Brazil. **Journal of Sedimentary Environments** 4 (2), 143-158. 2019. Doi: 10.12957/jse.2019.43279
- Souza, R. C. C. L. De; Trindade, D. C.; Decco, J. De; Lima, T. A. & Silva, E. P. Archaeozoology of marine mollusks from Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, Rio de Janeiro, Brazil. **Zoologia** (Curitiba), 27(3), 363-371. 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702010000300007>
- Stuiver, M.; Reimer, P.J.; Reimer, R.W. CALIB Radiocarbon Calibration. **Programa, versão 7.1**. Disponível em: <<http://calib.org/calib>>.
- Stuvier, M.; Reimer, P.J. **Extended ^{14}C data base and revised CALIB 3.0 ^{14}C age calibration**. **Radiocarbon**, v. 35, p. 215 - 230. 1993.
- Suguio, K. & Martin, L. Mecanismos de gênese das planícies sedimentares quaternárias do litoral do Estado de São Paulo. **29º Congresso Brasileiro de Geologia, Ouro Preto (MG)**. Anais, v.1, p. 295-305. 1976.
- Suguio, K. & Martin, L. Quaternary formations of the state of São Paulo and southern Rio de Janeiro. In: **International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary**, São Paulo (SP). Special Publication nº 1, 55 p. 1978.
- Suguio, K.; Vieira, E. M.; Barcelo, J. H. & Silva, M. S. Interpretação ecológica dos foraminíferos de sedimentos modernos da Baía de Sepetiba e adjacências. Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geociências**. Vol.9, Nº4. 1979.
- Suguio, K. As flutuações de nível do mar durante o Quaternário Superior e a evolução geológica de "deltas" brasileiros. **Boletim IG- USP**. n. 15 1993.
- Sutherland, R. A, Lee, C. T. Discrimination between coastal sub environments using textural characteristics. **Sedimentology**, v. 41, 1133–1143. 1994.
- Tinoco, I. M. Contribuição a sedimentologia e microfauna da Baía de Sepetiba. (Estado do Rio de Janeiro). pp. 7 (8): 123 – 136. **Trab. Inst. Ocean**. Univ. Fed. Pernambuco, Recife. 1966.
- Toniolo, T. F.; Giannini, P. C. F.; Ângulo, R. J.; Souza, M. C.; Pessenda, L. C. R.; Spotorno-Oliveira, P. Sea-level fall and coastal water cooling during the Late Holocene in Southeastern Brazil based on vermetid bioconstructions. **Marine Geology**, 428, 106281. 2020. <http://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106281>

- Turner, S. M & Homes, G. M. Monitoring Sea Level: Who's Monitoring the Land? Sea-Level Change and Their Effects - **World Scientific Publishing Co.** 2001
- Yanko, V. & Kronfeld, J. Trace metal pollution affects the carbonate chemistry of benthic foraminiferal shell: Israel Society for Ecology and Environmental Quality Sciences, **24th Annual Meeting**, Tel Aviv University, 46. 1993.
- Yanko, V., Kronfeld, J. Low and high magnesian calcitic tests of benthic foraminifera chemically mirror morphological deformations: IV International **Congress on Paleocyanography** (ICP IV), 21±25 September, 1992, Kiel, Germany, (Abs.), p. 308. 1992.
- Verstraete, J-M. **Low frequency Sea Level Variability in the Western Tropical Pacific 1992-1998.** 2001.
- Wigley, T.M.L. The Science of Climate Change: Global and U.S. Perspectives. **Pew Center on Global Climate Change**, Arlington, VA, pp 19 - 34. 1999.
- Williams, S. J. Sea-level rise implications for Coastal Regions. **Journal Coastal.** 2013.
- Research, 63: 184-196. Zalán, P.V. & Oliveira, J.A.B de. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.13, n.2, pp. 269-300. 2005.
- Zalán, P.V. O Gráben da Guanabara: uma feição tectônica modelar, mas pouco apreciada e entendida. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 42., 2004, Araxá. **Anais. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Geologia.** 2004.
- Zalán P.V. & Oliveira J.A.B. 2005. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 13(2):269-300.
- Zaninetti, L., Brönnimann, P., Beurlen, G., and Moura, J.A. La mangrove de Guaratiba et la Baie de Sepetiba, Etat de Rio de Janeiro, Bresil: **Foraminifères et écologie. Note préliminaire**, v. 11, pp 39-44. 1976.

APÊNDICES

SP3

APÊNDICE I – Figura suplementar 1



Gráficos de frações de sedimentos (%) e valores de classificação e assimetria de acordo com a idade.

APÊNDICE II – Variabilidade dos dados do testemunho SP3

	Fator 1	Fator 2
Fe/Sc	-0,42	0,70
Mn/Sc	-0,96	0,18
Nb/Sc	0,70	-0,29
La/Sc	0,74	-0,09
Fines	-0,94	0,02
SMGS	0,95	-0,02
Anidrita	0,35	-0,27
Bassanita	0,67	-0,26
K-Feldspato	0,02	-0,42
Filossilicatos	0,07	0,28
Pirita	-0,11	-0,78
Plagioclásio	-0,42	0,27
Quartzo	-0,20	0,38
Resíduos insolúveis	0,44	-0,30
Carbonatos	-0,89	0,20
TOC	-0,79	-0,43
S	-0,64	-0,55
N	-0,94	-0,24
$\delta^{15}\text{N}$	-0,84	0,39
PLI	-0,82	-0,48
SPI	-0,77	-0,55
EF-As	-0,61	0,58
EF-Cd	-0,64	-0,66
EF-Cr	-0,69	0,28
EF-Cu	-0,05	-0,57
EF-Ni	0,27	-0,42
EF-P	-0,40	0,27
EF-Pb	0,82	-0,47
EF-Sn	-0,44	-0,75
EF-Zn	-0,68	-0,59
Variância explicada	0,41	0,19

Apêndice III

. Concentrações elementares de EDS avaliadas por EDS em 3 amostras de *A. tepida* (F1, F2 e F3) recuperadas da camada sedimentar localizada a 6,90 m abaixo do topo.

Elementos	Mg	Ti	Fe	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Cu	K	Sc	V	Cr	Co	Ni	Zn	As	Sr	Cd	Sn	Ba	La	Nd	Hg	Pb
<i>A. tepida</i>	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

F1-I	0,08	0,01	0,37	0,17	0,54	0,00	0,00	88,47	0,02	0,67	0,00	0,34	0,26	0,11	0,16	0,54	0,52	0,00	0,22	0,13	1,34	0,00	0,56	0,94	1,91	2,66
F1-M	0,16	0,00	0,30	0,53	1,22	0,00	0,00	87,10	0,17	0,86	0,00	0,45	0,12	0,10	0,18	0,56	0,25	0,02	0,38	0,04	1,38	0,00	0,29	1,13	2,39	2,37
F1-E	0,12	0,08	0,59	0,23	0,78	0,00	0,16	88,90	0,15	0,67	0,00	0,38	0,09	0,12	0,16	0,44	0,34	0,00	0,15	0,03	1,34	0,21	0,42	0,72	1,69	2,22

F2-I	0,09	0,08	5,25	0,72			2,92	80,10	0,16	0,74	0,12	0,20	0,20	0,16	0,18	0,47	0,36	0,00	1,38	0,02	1,13	0,24	0,85	0,67	1,63	2,32
F2-M	0,38	0,01	0,22	0,63			0,00	87,45	0,07	0,41	0,00	0,93	0,09	0,08	0,10	0,42	0,42	0,00	0,91	0,13	1,92	0,11	0,47	1,03	1,76	2,49
F2-E	0,06	0,00	0,46	0,34			0,00	88,59	0,13	0,47	0,00	0,26	0,19	0,05	0,19	0,49	0,45	0,00	0,86	0,03	1,58	0,16	1,16	0,60	1,80	2,16

F3-I	0,22	0,00	0,75	0,73			0,11	86,21	0,10	0,40	0,00	0,72	0,07	0,12	0,21	0,53	0,26	0,00	1,09	0,03	2,26	0,21	0,57	0,82	2,13	2,46
F3-M	0,01	0,00	0,27	0,07			0,00	87,32	0,09	0,73	0,00	0,30	0,22	0,11	0,20	0,36	0,40	0,06	0,14	0,06	1,90	0,19	0,50	1,09	3,37	2,61
F3-E	0,06	0,00	394,00	0,08			0,03	89,61	0,08	0,32	0,00	0,44	0,10	0,11	0,19	0,29	0,28	0,32	0,50	0,03	1,85	0,08	0,47	0,69	2,00	2,09
Média	0,13	0,02	44,69	0,39	0,85	0,00	0,36	87,08	0,11	0,58	0,01	0,45	0,15	0,11	0,17	0,45	0,36	0,04	0,63	0,06	1,63	0,13	0,59	0,85	2,08	2,38
DesvPad	0,11	0,03	131,00	0,27	0,34	0,00	0,96	2,82	0,05	0,19	0,04	0,23	0,07	0,03	0,03	0,09	0,09	0,10	0,45	0,04	0,37	0,09	0,26	0,20	0,54	0,20

APÊNDICE IV: Tabela estatística de teores das porcentagens granulometricas, geradas a partir do uso do software gradistat.

SP3	Areia > 63 µm	Finos < 63 µm	63- 125 µm	125- 250 µm	250- 500 µm	500- 1000 µm	>1000 µm	MEAN	SORTING	SORTING:	MODE 1	MODE 2	MODE 3
	%	%	%	%	%	%	%	µm	µm	µm	µm	µm	µm
0-2	28.94	71.21	17.01	10.67	0.81	0.30	0.00	25.5	3.116	Poorly Sorted	76.5	152.500	
2-4	28.94	71.21	17.01	10.67	0.81	0.30	0.00	25.5	3.116	Poorly Sorted	76.5	152.500	
4-6	30.28	69.83	18.38	10.59	0.97	0.24	0.00	26.0	3.111	Poorly Sorted	76.5	152.500	
6-8	32.36	67.64	20.00	10.62	1.42	0.21	0.11	26.872	3.114	Poorly Sorted	76.500	152.500	
8-10	26.01	73.99	15.14	9.77	0.94	0.16	0.00	24.4	3.107	Poorly Sorted	76.5	152.500	
10-12	35.14	64.86	16.26	16.57	1.83	0.38	0.09	32.5	3.489	Poorly Sorted	76.5	152.500	
12-14	38.46	61.78	17.51	18.57	1.66	0.38	0.10	34.482	3.480	Poorly Sorted	152.500	76.500	
14-16	40.57	59.62	16.93	19.97	2.56	0.73	0.19	36.258	3.506	Poorly Sorted	152.5	76.500	
16-18	35.01	64.99	19.13	13.92	1.53	0.43	0.00	28.470	3.153	Poorly Sorted	76.5	152.500	
18-20	20.15	69.01	5.49	21.05	3.29	0.93	0.23	31.79	3.650	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
20-22	43.95	56.19	17.39	22.14	3.51	0.66	0.10	39.05	3.498	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
22-24	46.23	53.90	19.56	21.41	3.96	0.96	0.21	41.01	3.661	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
24-26	44.13	55.93	21.29	18.62	3.12	0.89	0.14	38.72	3.459	Poorly Sorted	76.50	152.5	
26-28	48.05	52.09	17.36	23.10	5.69	1.46	0.30	43.39	3.754	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
28-30	46.15	53.85	18.73	21.59	4.15	1.34	0.35	41.19	3.706	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
30-32	47.02	52.98	22.43	18.27	4.36	1.67	0.29	41.67	3.691	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
32-34	53.87	46.23	19.70	22.01	8.58	2.77	0.71	48.85	3.776	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
34-36	48.50	51.72	21.47	18.65	5.64	2.09	0.42	43.54	3.755	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
36-38	46.12	53.96	17.47	19.85	6.02	2.25	0.46	41.65	3.827	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
38-40	46.63	53.75	22.10	17.03	5.36	1.48	0.29	41.19	3.724	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
40-42	43.47	56.70	17.22	18.09	6.43	1.37	0.19	39.09	3.814	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
42-44	47.13	53.04	17.36	20.25	7.07	1.93	0.35	42.72	3.822	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
44-46	48.67	51.49	18.43	19.57	7.82	2.23	0.46	44.49	3.828	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
46-48	49.14	50.94	16.70	20.65	8.46	2.66	0.60	45.42	3.862	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
48-50	52.92	47.20	14.93	23.40	10.26	3.50	0.71	49.19	3.858	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5

Apêndice IV (continuação):

SP3	Areia > 63 µm	Finos < 63 µm	63-125 µm	125-250 µm	250-500 µm	500-1000 µm	>1000 µm	MEAN	SORTING	SORTING:	MODE 1	MODE 2	MODE 3
	%	%	%	%	%	%	%	µm	µm	µm	µm	µm	µm
50-52	54.38	45.73	19.08	19.11	11.60	3.84	0.64	56.17	4.186	Very Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
52-54	54.89	45.17	19.11	20.16	11.27	3.76	0.52	50.52	3.829	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
54-56	55.03	44.97	19.77	18.49	11.72	4.17	0.87	57.02	4.424	Very Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
56-58	53.82	46.18	19.04	19.65	10.84	3.65	0.63	49.69	3.845	Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
58-60	60.62	39.38	21.07	19.25	14.37	4.88	1.05	63.26	4.373	Very Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
60-62	61.66	38.34	16.66	24.39	13.90	5.46	1.25	65.67	4.374	Very Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
62-64	61.87	38.13	15.96	26.17	13.24	5.43	1.08	65.77	4.338	Very Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
64-66	60.77	39.23	22.94	20.86	11.26	4.54	1.16	61.53	4.278	Very Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
66-68	62.62	37.38	21.74	21.95	12.84	5.17	0.91	64.59	4.272	Very Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
68-70	65.95	34.22	21.79	22.54	14.78	5.56	1.11	69.44	4.202	Very Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
70-72	62.74	37.26	26.11	19.35	12.24	4.17	0.87	63.05	4.177	Very Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
72-74	62.56	37.44	28.85	18.83	9.51	4.21	1.17	54.97	3.814	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
74-76	63.23	36.92	28.92	19.36	10.10	3.87	0.84	55.46	3.578	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
76-78	71.88	28.24	21.64	22.43	16.70	6.52	4.47	91.27	4.118	Very Poorly Sorted	152.5	76.50	302.5
78-80	62.16	37.84	28.67	18.78	9.77	4.09	0.85	54.61	3.614	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
80-82	62.70	37.41	32.33	19.62	7.32	2.63	0.69	53.34	3.489	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
82-84	65.90	34.26	37.55	18.66	7.09	1.97	0.47	55.06	3.330	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
84-86	64.06	36.14	39.79	17.71	4.97	1.14	0.25	52.13	3.272	Poorly Sorted	76.50	152.5	
86-88	67.53	32.78	37.73	21.20	6.08	1.75	0.45	56.40	3.246	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
88-90	58.68	41.46	34.27	16.71	5.19	1.88	0.50	49.07	3.485	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
90-92	15.04	84.96	9.02	4.36	1.02	0.64	0.00	20.06	2.914	Poorly Sorted	76.50	152.5	
92-94	18.55	81.61	9.44	5.22	1.89	1.43	0.40	21.53	3.073	Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
94-96	39.71	60.44	16.27	10.05	8.62	3.28	1.34	37.31	4.033	Very Poorly Sorted	76.50	152.5	302.5
96-98	69.69	30.40	4.87	16.47	30.66	13.48	4.12	115.2	4.818	Very Poorly Sorted	302.5	152.5	605.0
98-100	78.78	21.22	3.49	16.38	32.51	18.78	7.64	174.5	4.463	Very Poorly Sorted	302.5	605.0	152.5

Apêndice V (continuação):

SP3	Areia > 63 µm	Finos < 63 µm	63-125 µm	125-250 µm	250-500 µm	500-1000 µm	>1000 µm	MEAN	SORTING	SORTING:	MODE 1	MODE 2	MODE 3
	%	%	%	%	%	%	%	µm	µm	µm	µm	µm	µm
100-102	83.18	17.06	5.50	18.67	32.52	18.21	8.03	209.3	3.809	Poorly Sorted	302.5	605.0	152.5
102-104	82.29	17.71	3.13	20.75	28.48	19.43	10.51	204.8	4.038	Very Poorly Sorted	302.5	152.5	605.0
104-406	80.60	19.40	2.54	13.38	21.91	30.01	12.76	203.0	4.396	Very Poorly Sorted	605.0	302.5	1200.0
106-108	68.23	31.84	4.61	13.42	19.13	21.72	9.28	136.2	5.591	Very Poorly Sorted	605.0	302.5	152.5
108-110	56.05	44.09	3.67	8.84	7.33	22.18	13.89	100.5	6.454	Very Poorly Sorted	605.0	1200.0	152.5
110-112	68.45	31.69	3.97	9.85	9.97	21.05	23.47	173.4	6.519	Very Poorly Sorted	1200.0	605.0	302.5
112-114	76.20	23.80	3.23	7.29	10.01	24.83	30.85	252.6	5.777	Very Poorly Sorted	1200.0	605.0	302.5
114-116	78.14	22.05	2.62	9.45	19.98	29.10	16.80	215.6	5.273	Very Poorly Sorted	605.0	302.5	1200.0
116-118	83.36	16.75	4.62	13.89	25.01	30.30	9.44	225.3	3.864	Poorly Sorted	605.0	302.5	152.5
118-120	83.88	16.21	2.81	8.25	25.84	34.45	12.44	243.0	3.829	Poorly Sorted	605.0	302.5	1200.0
120-122	81.83	18.35	9.39	22.23	24.38	19.64	6.02	188.5	3.969	Poorly Sorted	302.5	152.5	605.0
122-124	92.43	7.73	5.99	18.66	29.15	31.30	7.16	296.5	2.652	Poorly Sorted	605.0	302.5	152.5
124-126	94.90	5.10	3.24	6.82	19.16	44.84	20.84	537.3	2.289	Poorly Sorted	605.0	1200.0	302.5
126-128	88.42	11.67	2.18	8.05	19.47	39.67	18.95	428.5	3.333	Poorly Sorted	605.0	1200.0	302.5
128-130	88.89	11.31	2.56	9.85	18.69	45.90	11.68	367.4	2.959	Poorly Sorted	605.0	302.5	1200.0
130-132	88.87	11.37	2.46	7.27	18.44	42.29	18.17	431.0	3.283	Poorly Sorted	605.0	1200.0	302.5
132-134	87.15	13.21	8.32	17.66	15.37	26.92	18.53	289.3	3.990	Poorly Sorted	605.0	1200.0	152.5
134-136	96.24	3.83	1.92	5.08	20.56	46.72	21.90	556.3	2.160	Poorly Sorted	605.0	1200.0	302.5
136-138	93.37	6.77	1.94	2.93	25.18	42.32	20.86	543.6	2.490	Poorly Sorted	605.0	302.5	1200.0
138-140	84.26	15.86	2.52	3.79	45.39	28.92	3.52	231.1	3.357	Poorly Sorted	302.5	605.0	

APÊNDICE VI - Tabela 05: Variação total dos teores (%) dos elementos químicos nos exemplares analisados sob MEV-EDS nos foraminíferos do testemunho SP8.

Elementos	Máx.	Min.	Média	Dv.P
<i>Al</i>	2,84	0,02	0,54	0,60
<i>As</i>	0,42	0,00	0,07	0,12
<i>Ca</i>	89,14	69,36	86,27	3,99
<i>Co</i>	0,43	0,08	0,20	0,08
<i>Cr</i>	0,83	0,02	0,16	0,15
<i>Cu</i>	1,17	0,35	0,66	0,19
<i>Fe</i>	3,83	0,19	0,69	0,82
<i>Hg</i>	3,19	1,47	2,11	0,42
<i>K</i>	0,25	0,00	0,05	0,06
<i>Mg</i>	0,96	0,00	0,28	0,23
<i>Mn</i>	16,90	0,02	0,90	3,26
<i>Ni</i>	0,69	0,22	0,43	0,11
<i>Pb</i>	3,47	1,38	2,40	0,51
<i>S</i>	0,98	0,00	0,15	0,24
<i>Sn</i>	2,87	0,96	1,90	0,45
<i>Sr</i>	2,82	0,00	0,76	0,65
<i>Ti</i>	0,89	0,00	0,08	0,18
<i>V</i>	0,32	0,00	0,11	0,08
<i>Zn</i>	0,72	0,13	0,37	0,12

APÊNDICE VII - Tabela 28: Dados dos elementos químicos retidos nas as testas de *A. tepida* em 3 níveis de profundidade, obtidos através da técnica EDS, aplicada sobre do testemunho SP3.

Horizonte	Amostra/ Elemento	Mg	Ti	Fe	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Cu	K	Sc	V	Cr	Co	Ni	Zn	As	Sr	Cd	Sn	Hg	Pb	Mo
0-2cm	0.F1.I	0,71	0,01	2,38	0,69	1,64	0,00	0,52	83,65	0,10	0,53	0,07	0,40	0,29	0,19	0,11	0,56	0,24	0,05	0,34	0,04	1,57	2,00	2,89	1,00
	0.F1.M	0,25	0,06	0,28	0,27	0,49	0,00	0,00	89,83	0,14	0,65	0,08	0,12	0,11	0,21	0,27	0,43	0,46	0,04	0,26	0,03	1,39	2,36	2,27	0,00
	0.F1.E	0,16	0,00	0,88	0,78	0,00	0,00	0,00	85,00	0,11	0,65	0,03	0,45	0,12	0,12	0,16	0,45	0,72	0,00	0,87	0,00	2,10	3,19	2,29	0,00
	0.F2.I	0,80	0,00	0,64	1,65	2,41	0,05	0,00	84,52	0,16	0,60	0,24	0,29	0,28	0,10	0,18	0,42	0,13	0,00	0,69	0,03	0,95	2,32	3,15	0,39
	0.F2.M	0,20	0,08	0,41	0,62	1,28	0,00	0,00	88,15	0,08	0,51	0,08	0,33	0,11	0,19	0,16	0,59	0,33	0,00	0,22	0,06	1,77	1,97	2,53	0,36
	0.F3.I	0,72	0,09	0,72	1,01	1,92	0,00	0,00	82,36	4,26	0,86	0,01	0,19	0,13	0,15	0,21	0,43	0,24	0,00	0,40	0,07	2,51	1,62	1,82	0,28
	0.F3.M	0,95	0,11	1,12	2,78	3,87	0,00	0,00	80,24	2,28	0,56	0,16	0,02	0,08	0,14	0,09	0,53	0,43	0,00	0,46	0,09	1,22	1,71	2,51	0,68
	0.F3.E	0,43	0,08	0,80	0,79	1,50	0,07	0,07	70,21	17,23	0,79	0,07	0,15	0,06	0,15	0,24	0,44	0,43	0,00	0,08	0,10	1,90	2,10	2,15	0,18
	0.F4.I	0,09	0,04	0,29	0,29	0,66	0,00	0,00	89,82	0,17	0,51	0,09	0,10	0,20	0,06	0,12	0,32	0,37	0,00	0,09	0,04	1,65	1,65	3,13	0,32
	0.F4.M	0,15	0,04	0,19	0,52	0,98	0,00	0,00	89,44	0,14	0,42	0,04	0,00	0,19	0,09	0,23	0,40	0,33	0,03	0,20	0,11	1,51	2,16	2,41	0,42
	0.F4.E	0,17	0,00	0,28	0,24	0,00	0,00	0,25	87,54	0,22	0,62	0,08	0,16	0,20	0,09	0,23	0,52	0,47	0,07	0,48	0,10	1,97	2,12	2,42	0,00
	0.F5.I	0,54	0,00	0,27	1,30	0,00	0,00	0,00	85,05	0,10	0,61	0,00	0,20	0,04	0,06	0,19	0,52	0,27	0,00	1,56	0,16	2,87	1,65	3,00	0,00
	0.F5.M	0,08	0,00	0,64	1,15	0,00	0,00	0,00	84,52	0,06	0,65	0,10	0,26	0,00	0,12	0,14	0,27	0,32	0,00	1,22	0,18	2,20	2,83	2,86	0,00
	0.F5.E	0,14	0,20	0,35	0,61	0,83	0,00	0,00	87,96	0,13	0,64	0,00	0,00	0,25	0,10	0,22	0,49	0,37	0,00	0,51	0,10	1,93	2,09	2,59	0,51
14-16 cm	14.F1.I	1,26	0,09	1,86	5,82	8,61	0,06	0,23	72,99	0,11	0,75	0,17	0,87	0,16	0,13	0,11	0,31	0,51	0,00	1,30	0,18	0,36	1,80	2,31	0,00
	14.F1.M	0,24	0,00	0,45	1,75	2,97	0,02	0,00	86,10	0,14	0,58	0,00	0,83	0,15	0,20	0,16	0,28	0,27	0,00	0,34	0,33	1,19	1,21	2,58	0,21
	14.F1.E	0,13	0,03	0,26	0,28	0,64	0,05	0,00	89,33	0,09	0,48	0,00	0,06	0,07	0,25	0,25	0,74	0,42	0,00	0,37	0,23	0,53	2,39	2,91	0,00
	14.F2.I	0,15	0,00	0,23	0,05	0,38	0,02	0,00	90,66	0,08	0,60	0,00	1,08	0,19	0,13	0,19	0,47	0,45	0,95	0,36	0,16	1,23	1,93	1,45	0,00
	14.F2.M	0,22	0,00	0,44	1,49	1,98	0,07	0,10	86,86	0,14	0,64	0,05	0,37	0,14	0,11	0,19	0,37	0,44	0,00	0,58	0,16	0,44	2,56	2,66	0,00
	14.F2.E	0,09	0,00	1,08	1,78	3,28	0,02	0,14	83,58	0,23	0,81	0,04	1,07	0,14	0,29	0,11	0,31	0,42	0,00	0,68	0,21	1,21	2,04	2,48	0,00
	14.F3.I	0,33	0,00	0,22	0,11	0,64	0,00	0,00	87,59	0,24	0,53	0,00	1,90	0,23	0,21	0,25	0,51	0,24	0,04	0,49	0,17	1,50	2,63	2,05	0,12
	14.F3.M	0,22	0,10	0,32	0,33	1,16	0,10	0,00	89,24	0,21	0,65	0,00	0,48	0,14	0,16	0,17	0,43	0,40	0,18	0,48	0,20	0,77	2,07	2,00	0,19
	14.F3.E	0,07	0,12	0,30	0,36	1,51	0,02	0,00	89,09	0,12	0,77	0,02	0,89	0,16	0,24	0,14	0,52	0,33	0,00	0,32	0,20	0,45	2,08	2,28	0,02
	14.F4.I	0,11	0,00	0,25	0,21	0,81	0,02	0,00	89,52	0,14	0,75	0,00	0,80	0,18	0,12	0,26	0,32	0,34	0,00	0,30	0,30	0,34	2,58	2,57	0,00
	14.F4.M	0,94	0,00	0,43	1,32	1,15	0,10	0,00	86,37	0,23	0,38	0,00	1,41	0,15	0,12	0,16	0,57	0,26	0,00	0,56	0,14	0,92	2,15	2,56	0,08
	14.F4.E	0,09	0,00	0,16	0,51	0,89	0,04	0,00	89,45	0,24	0,57	0,00	0,72	0,22	0,21	0,13	0,51	0,45	0,00	0,48	0,18	0,65	2,15	2,31	0,06
	14.F5.I	0,95	0,00	0,17	0,06	0,48	0,16	0,43	88,31	0,11	0,79	0,00	0,59	0,23	0,16	0,21	0,44	0,38	0,00	0,20	0,21	0,43	2,48	3,23	0,00
	14.F5.M	1,55	0,00	0,23	0,14	0,64	0,11	0,41	88,68	0,15	0,72	0,00	0,91	0,14	0,07	0,12	0,43	0,37	0,00	0,34	0,14	1,05	2,06	1,76	0,00
	14.F5.E	1,07	0,00	0,24	0,22	0,79	0,04	0,31	88,65	0,14	0,60	0,00	0,63	0,22	0,13	0,16	0,62	0,50	0,00	0,39	0,15	0,51	2,05	2,60	0,00
26-28 cm	26.F1.I	0,46	0,00	0,47	2,02	2,73	0,13	0,00	83,57	0,09	0,89	0,01	1,44	0,28	0,18	0,15	0,52	0,38	0,00	0,76	0,18	0,99	2,35	2,32	0,09
	26.F1.M	0,03	0,00	0,31	0,12	0,82	0,04	0,00	88,48	0,16	0,67	0,00	1,15	0,20	0,15	0,14	0,44	0,37	0,00	0,36	0,13	0,86	2,64	2,94	0,00
	26.F1.E	0,19	0,00	0,33	0,87	2,05	0,04	0,00	88,05	0,11	0,52	0,00	1,07	0,19	0,09	0,22	0,40	0,43	0,00	0,68	0,16	1,25	1,75	1,55	0,08
	26.F2.I	0,24	0,03	1,41	2,01	3,55	0,07	0,00	84,10	0,29	0,63	0,16	0,71	0,15	0,12	0,10	0,45	0,29	0,00	0,68	0,17	0,41	2,16	2,05	0,22
	26.F2.M	0,40	0,00	0,58	1,31	2,18	0,10	0,00	85,20	0,14	0,82	0,01	1,47	0,16	0,15	0,20	0,64	0,37	0,00	0,22	0,18	1,49	1,83	2,50	0,07
	26.F2.E	0,69	0,00	1,46	2,15	2,74	0,10	0,00	84,37	0,12	0,66	0,04	0,79	0,18	0,21	0,11	0,49	0,35	0,10	0,60	0,16	0,45	2,30	1,93	0,00
	26.F3.I	0,32	0,04	0,73	2,55	3,38	0,01	0,03	85,23	0,14	0,65	0,01	0,75	0,18	0,33	0,16	0,33	0,25	0,00	0,70	0,14	0,41	1,55	2,08	0,06
	26.F3.M	0,00	0,05	0,33	0,42	0,92	0,01	0,00	88,98	0,20	0,59	0,09	0,52	0,17	0,13	0,15	0,43	0,48	0,07	0,36	0,10	0,39	2,31	3,22	0,08
	26.F3.E	0,19	0,04	0,45	0,54	1,02	0,02	0,00	88,60	0,17	0,91	0,00	0,89	0,09	0,14	0,21	0,44	0,56	0,29	0,25	0,27	0,78	2,38	1,67	0,11
	26.F4.I	0,18	0,04	0,66	1,24	2,30	0,02	0,00	87,01	0,17	0,68	0,01	0,56	0,10	0,12	0,17	0,48	0,39	0,14	0,68	0,15	0,61	2,10	2,19	0,00
	26.F4.M	0,39	0,15	1,36	2,91	3,95	0,03	0,13	82,24	0,15	0,61	0,10	0,36	0,11	0,17	0,19	0,74	0,37	0,00	1,10	0,14	0,51	2,00	2,30	0,00
	26.F4.E	0,38	0,03	0,60	2,04	2,77	0,03	0,00	85,52	0,16	0,60	0,11	0,55	0,20	0,11	0,10	0,42	0,38	0,00	0,91	0,09	0,38	1,67	2,94	0,02
	Max.	1,55	0,20	2,38	5,82	8,61	0,16	0,52	90,66	17,23	0,91	0,24	1,90	0,29	0,33	0,27	0,74	0,72	0,95	1,56	0,33	2,87	3,19	3,23	1,00
	Min	0,00	0,00	0,16	0,05	0,00	0,00	0,00	70,21	0,06	0,38	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09	0,27	0,13	0,00	0,08	0,00	0,34	1,21	1,45	0,00
	Med	0,40	0,03	0,60	1,10	1,71	0,04	0,06	86,00	0,72	0,64	0,05	0,62	0,16	0,15	0,17	0,46	0,38	0,05	0,53	0,14	1,11	2,12	2,43	0,14
	Desv.P	0,36	0,05	0,49	1,09	1,56	0,04	0,13	4,10	2,71	0,12	0,06	0,45	0,06	0,06	0,05	0,11	0,10	0,15	0,32	0,07	0,66	0,37	0,45	0,21

SP8

APÊNDICE VIII Valores dos teores (%) elementos químicos presente nas testas de foraminíferos, obtidos por meio da técnica EDS, nos 04 (quatro) horizontes analisados no SP8.

Amostra	Mg	Ti	Fe	Al	Sc	S	Ca	Mn	Cu	K	V	Cr	Co	Ni	Zn	As	Sr	Sn	Cd	Hg	Pb
4.F1-I	0.2	0.1	0.5	0.2	0.0	0.1	90.5	0.1	0.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.3	0.0	0.6	1.5	0.1	1.8	2.1
4.F1-M	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1	0.2	88.9	0.1	0.4	0.0	0.1	0.8	0.2	0.5	0.3	0.2	0.7	2.0	0.1	2.0	2.4
4.F1-E	0.4	0.2	0.3	0.4	0.0	0.2	89.6	0.0	0.9	0.0	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4	0.1	1.0	2.0	0.1	1.6	1.7
4.F2-I	0.2	0.0	0.3	0.2	0.3	0.0	89.4	0.2	0.7	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.4	0.5	1.9	0.1	1.8	2.8
4.F2-M	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.0	89.7	0.4	0.4	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.2	0.0	0.8	2.2	0.1	2.3	2.4
4.F2-E	0.0	0.0	0.3	0.4	0.2	0.0	90.6	0.0	0.7	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.4	0.0	0.6	1.4	0.1	2.0	2.3
4.F3-I	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	90.4	0.1	0.6	0.0	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	0.0	0.7	1.2	0.1	2.2	2.7
4.F3-M	0.3	0.2	0.4	0.1	0.1	0.0	90.2	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.4	0.0	0.5	2.0	0.1	1.8	2.5
4.F3-E	0.3	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	89.1	0.1	0.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	0.0	0.9	2.0	0.1	2.4	1.9
4.F4-I	0.3	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	90.3	0.2	0.7	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.0	0.7	1.7	0.1	1.8	2.6
4.F4-M	0.4	0.0	0.5	1.4	0.1	0.1	88.4	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.3	0.0	1.8	1.2	0.0	2.0	1.9
4.F4-E	0.1	0.0	0.4	0.4	0.4	0.3	89.8	0.1	0.7	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.9	1.9	0.1	1.6	1.7
32.F1-I	0.2	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	90.4	0.1	0.6	0.1	0.0	0.2	0.3	0.4	0.4	0.0	0.6	1.4	0.0	2.3	2.2
32.F1-M	0.2	0.0	0.9	0.8	0.4	0.0	86.9	0.1	0.7	0.0	0.1	0.1	0.2	0.5	0.7	0.0	0.9	2.1	0.0	3.2	2.3
32.F1-E	0.7	0.0	2.4	0.7	0.4	1.0	84.9	0.1	0.5	0.1	0.3	0.2	0.1	0.6	0.2	0.1	1.4	1.6	0.0	2.0	2.9
32.F2-I	0.2	0.0	0.4	0.6	0.3	0.2	90.0	0.0	0.5	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.3	0.0	0.2	1.8	0.1	1.9	2.5
32.F2-M	0.1	0.0	0.4	0.3	0.2	0.0	89.0	0.1	0.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.0	0.5	2.0	0.1	2.6	2.7
32.F2-E	0.7	0.0	0.6	1.7	0.3	0.2	85.9	0.1	0.6	0.3	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.0	2.3	1.0	0.0	2.3	3.1
32.F4-I	0.1	0.0	0.2	0.5	0.0	0.1	90.3	0.1	0.4	0.0	0.2	0.0	0.2	0.4	0.3	0.0	0.9	1.5	0.1	2.1	2.4
32.F4-M	0.2	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	89.3	0.2	0.6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.5	0.5	0.1	0.5	2.0	0.1	2.1	2.4
32.F4-E	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	90.7	0.1	0.5	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.4	0.0	0.5	1.6	0.0	1.6	3.1
32.F5-I	0.1	0.0	0.6	1.1	0.3	0.0	86.9	0.1	0.6	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.0	1.2	2.2	0.2	2.8	2.9
32.F5-M	0.1	0.1	0.4	0.6	0.0	0.2	88.9	0.1	0.6	0.0	0.2	0.1	0.2	0.5	0.4	0.0	1.1	1.9	0.1	2.1	2.5
32.F5-E	0.5	0.0	0.3	1.3	0.2	0.0	86.7	0.1	0.6	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.3	0.0	1.6	2.9	0.2	1.6	3.0
64.F1-I	0.2	0.0	0.4	0.1	0.5	0.1	90.3	0.2	0.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	0.3	0.0	0.2	2.5	0.0	1.6	2.3
64.F1-M	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	91.0	0.1	0.5	0.0	0.1	0.1	0.2	0.6	0.3	0.1	0.6	1.7	0.1	2.0	2.0
64.F1-E	0.3	0.0	0.4	0.2	0.4	0.2	87.7	0.3	1.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.7	0.3	0.0	0.8	2.2	0.0	1.6	3.2
64.F2-I	0.4	0.0	0.7	0.3	0.5	0.0	90.2	0.1	0.7	0.0	0.3	0.1	0.1	0.4	0.2	0.0	0.9	1.3	0.1	1.5	2.1
64.F2-M	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	87.2	0.2	1.2	0.0	0.1	0.1	0.3	0.6	0.5	0.0	0.1	2.4	0.1	3.1	3.5
64.F2-E	0.4	0.0	0.6	0.4	0.1	0.2	89.1	0.2	1.0	0.0	0.1	0.4	0.2	0.5	0.6	0.4	1.1	1.5	0.0	2.0	1.4
64.F3-I	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	84.9	0.0	0.1	0.1	0.4	0.3	0.0	0.7	1.4	2.6	1.9	2.4	0.1	2.0	2.2
64.F3-M	0.2	0.0	0.8	0.7	0.1	0.1	83.5	0.0	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1	1.3	2.4	2.0	2.2	1.4	0.1	2.2	1.9
64.F3-E	0.5	0.1	0.5	0.9	0.2	0.0	88.4	0.1	0.5	0.0	0.1	0.1	0.1	0.5	0.4	0.0	1.4	1.6	0.1	2.6	1.9
64.F4-I	0.2	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	89.9	0.1	0.9	0.0	0.0	0.1	0.4	0.4	0.4	0.0	0.1	2.2	0.0	2.4	2.2
64.F4-M	0.2	0.0	0.3	0.3	0.8	0.2	89.3	0.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.0	0.8	2.5	0.0	1.8	2.0
64.F4-E	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	90.1	0.1	0.9	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.0	0.6	2.5	0.1	1.7	2.0
64.F5-I	0.1	0.0	0.5	0.2	0.2	0.0	90.8	0.3	0.4	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.3	0.3	0.6	2.0	0.1	1.9	1.5
64.F5-M	0.1	0.0	0.5	0.5	0.3	0.0	90.4	0.1	0.6	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.6	1.8	0.1	1.7	2.0
64.F5-E	0.0	0.0	0.4	0.3	0.6	0.3	88.3	0.1	0.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.3	0.0	0.7	2.8	0.1	2.0	2.6

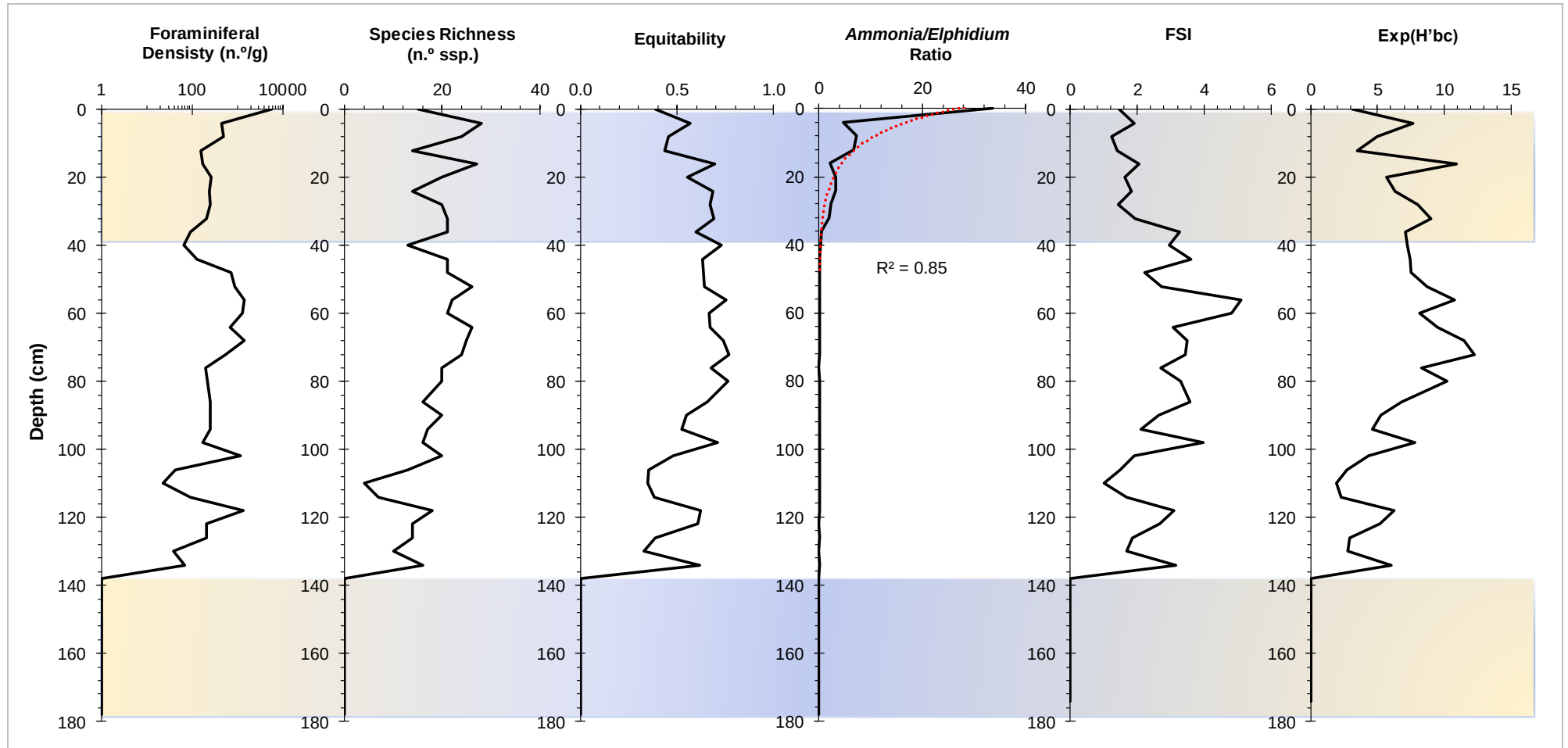
APÊNDICE IX Valores dos teores (%) elementos químicos presente nas testas de foraminíferos, obtidos por meio da técnica EDS, nos 04 (quatro) horizontes analisados.

Amostra	Mg	Ti	Fe	Al	Sc	S	Ca	Mn	Cu	K	V	Cr	Co	Ni	Zn	As	Sr	Sn	Cd	Hg	Pb
132.F1-I	0.3	0.9	1.1	1.4	0.0	0.5	87.0	0.1	0.4	0.1	0.1	0.3	0.4	0.3	0.3	0.0	0.3	1.6	0.0	2.8	2.3
132.F1-M	0.3	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	89.1	0.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	0.6	0.1	0.3	1.6	0.1	2.1	3.0
132.F1-E	0.2	0.0	1.1	0.6	0.0	1.0	87.3	0.2	0.5	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.0	0.3	1.8	0.2	2.5	3.3
132.F2-M	0.2	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	89.7	0.2	0.6	0.0	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.0	2.1	0.2	2.3	2.8
132.F2-E	0.6	0.1	0.8	0.2	0.0	0.0	89.4	0.2	0.7	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0	2.1	0.2	2.4	2.1
132.F3-I	0.1	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	89.6	0.2	0.8	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.0	0.1	1.9	0.3	2.3	3.2
132.F3-M	0.3	0.4	0.5	0.5	0.0	0.0	89.6	0.1	0.7	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.3	0.1	1.7	0.0	2.3	2.5
132.F4-I	0.4	0.2	0.3	0.6	0.0	0.0	88.7	0.2	0.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.3	1.9	0.2	2.6	2.1
132.F4-M	0.3	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	90.5	0.2	0.5	0.1	0.2	0.1	0.4	0.4	0.3	0.0	0.0	1.9	0.2	1.9	2.5
Máximo	0.7	0.9	2.4	1.7	0.8	1.0	91.0	0.4	1.2	0.3	0.4	0.8	0.4	1.3	2.4	2.6	2.3	2.9	0.3	3.2	3.5
Minimo	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	83.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	1.0	0.0	1.5	1.4
Média	0.2	0.1	0.5	0.4	0.2	0.1	88.9	0.1	0.6	0.0	0.1	0.2	0.2	0.5	0.4	0.2	0.7	1.9	0.1	2.1	2.4
DvP.	0.2	0.1	0.4	0.4	0.2	0.2	1.7	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.4	0.1	0.4	0.5

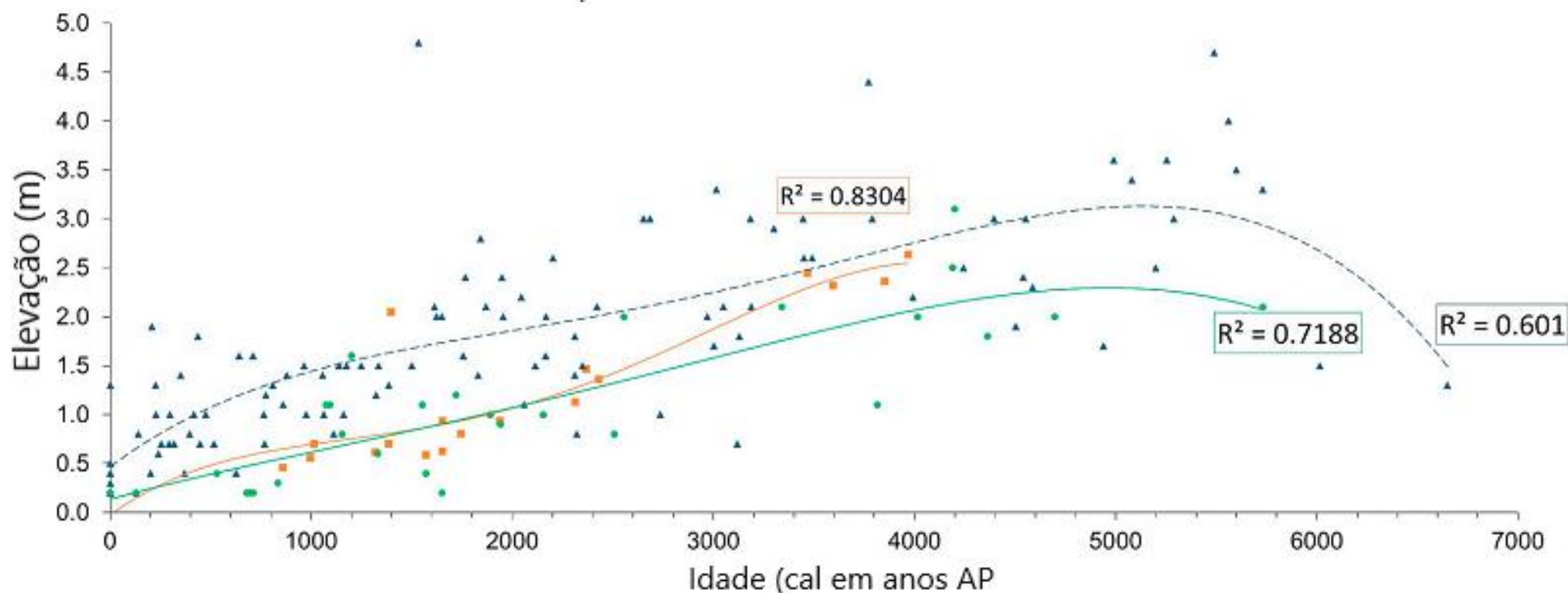
APÊNDICE X: Variação dos valores máximo, médio, mínimo e desvio padrão das espécies de foraminíferos bentônicos encontradas ao longo do testemunho SP8.

Espécies de Foraminíferos presentes no SP8	Max	Min	Med	Desv. P
	%	%	%	%
<i>Criboelphidium poeyanum</i> (d'Orbigny, 1839)	91.7	0.0	39.2	28.9
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman, 1926)	75.9	0.0	15.9	22.8
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny, 1839)	28.9	0.0	5.3	7.7
<i>Ammonia rolshauseni</i> (Cushman & Bermúdez, 1946)	27.5	0.0	3.4	5.8
<i>Pararotalia cananeaensis</i> Debenay, Duleba, Bonetti De Melo e Souza & Eichler, 2001	21.5	0.0	4.0	6.0
<i>Criboelphidium excavatum</i> (Terquem, 1875)	19.6	0.0	5.6	4.8
<i>Bolivina fragilis</i> Phleger & Parker, 1951	16.9	0.0	0.6	2.9
<i>Elphidium oceanense</i> (d'Orbigny in Fornasini, 1904)	15.9	0.0	2.4	4.1
<i>Elphidium incertum</i> (Williamson 1858)	15.8	0.0	2.9	4.2
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman, 1922)	11.1	0.0	1.9	3.0
<i>Porosonion granosum</i> Cushman, 1936	9.7	0.0	1.3	2.4
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny, 1839)	6.7	0.0	2.8	1.9
<i>Bolivina striatula</i> Cushman, 1922	6.5	0.0	1.4	1.9
<i>Elphidium</i> spp. (poorly preserved)	6.3	0.0	0.6	1.3
<i>Elphidium discoidale</i> (d'Orbigny, 1839)	4.7	0.0	0.8	1.2
<i>Bulimina aculeata</i> d'Orbigny, 1826	3.3	0.0	0.9	1.1
<i>Pseudononion japonicum</i> Asano, 1936	3.0	0.0	0.9	0.9
<i>Criboelphidium williamsoni</i> (Haynes, 1973)	2.9	0.0	0.4	0.6
<i>Hopkinsina pacifica</i> Cushman, 1933	2.8	0.0	0.1	0.5
<i>Buccella peruviana</i> (d'Orbigny, 1839)	2.5	0.0	0.4	0.6
<i>Criboelphidium gunteri</i> (Cole, 1931)	2.5	0.0	0.4	0.6
<i>Elphidium maorium</i> Hayward, 1997	2.4	0.0	0.3	0.6
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob, 1798)	2.2	0.0	0.2	0.5
<i>Nonionella chiliensis</i> Cushman & Kellett, 1929	1.9	0.0	0.2	0.5
<i>Sagrina pulchella</i> d'Orbigny, 1839	1.8	0.0	0.1	0.3
<i>Rosalina lomaensis</i> (Bandy, 1953)	1.6	0.0	0.1	0.3
<i>Bolivina ordinaria</i> Phleger & Parker, 1952	1.6	0.0	0.1	0.3
<i>Astrononion gallowayi</i> Loeblich & Tappan, 1953	1.3	0.0	0.1	0.3
<i>Hanzawaia concentrica</i> (Cushman, 1918)	1.3	0.0	0.1	0.3
<i>Ammonia</i> cf. <i>aoteana</i> (Finlay, 1940)	1.2	0.0	0.1	0.3
<i>Elphidium selseyense</i> (Heron-Allen & Earland, 1911)	1.0	0.0	0.0	0.2
<i>Miliolideo</i> spp. (mal preservados)	1.0	0.0	0.0	0.2
<i>Nonionella auris</i> (d'Orbigny, 1839)	1.0	0.0	0.1	0.2
<i>Rosalina williamsoni</i> (Chapman & Parr, 1932)	0.9	0.0	0.1	0.2
<i>Bulimina patagonica</i> d'Orbigny, 1839	0.9	0.0	0.1	0.2
<i>Elphidium advenum</i> var. <i>depressulum</i> Cushman, 1933	0.9	0.0	0.1	0.2
<i>Hopkinsina atlantica</i> Cushman, 1944	0.9	0.0	0.0	0.2
<i>Quinqueloculina laevigata</i> d'Orbigny, 1839	0.9	0.0	0.1	0.2
<i>Bolivina</i> cf. <i>danvillensis</i> Howe & Wallace, 1932	0.9	0.0	0.0	0.1

Globocassidulina crassa (d'Orbigny, 1839)	0.8	0.0	0.1	0.2
Bolivina seminuda Cushman, 1911	0.7	0.0	0.1	0.2
Nonoin ? sp.	0.7	0.0	0.0	0.1
Quinqueloculina bosciana d'Orbigny, 1839	0.7	0.0	0.0	0.1
Rosalina bradyi (Cushman, 1915)	0.7	0.0	0.0	0.1
Bolivina translucens Phleger & Parker, 1951	0.6	0.0	0.0	0.1
Fursenkoina texturata (Brady, 1884)	0.5	0.0	0.0	0.1
Rotorbis auberii (d'Orbigny, 1839)	0.4	0.0	0.0	0.1
Cornuspira involvens (Reuss, 1850)	0.4	0.0	0.0	0.1
Fursenkoina pauciloculata (Brady, 1884)	0.4	0.0	0.0	0.1
Lepidodeuterrammina ochracea (Williamson, 1858)	0.4	0.0	0.0	0.1
Stainforthia concava (Höglund, 1947)	0.4	0.0	0.0	0.1
Loxostomina rostrum (Cushman, 1933)	0.4	0.0	0.1	0.1
Ammoglobigerina globigeriniformis (Parker & Jones, 1865)	0.4	0.0	0.0	0.1
Discorbis bertheloti (d'Orbigny, 1839)	0.4	0.0	0.0	0.1
Elphidium albiumbilicatum (Weiss, 1954)	0.4	0.0	0.0	0.1
Gavelinopsis praegei Heron-Allen and Earland, 1913	0.4	0.0	0.0	0.1
Elphidium ? sp.	0.4	0.0	0.0	0.1
Anomalina ? sp.	0.4	0.0	0.0	0.1
Trifarina angulosa (Williamson, 1858)	0.4	0.0	0.0	0.1
Quinqueloculina spp. (poorly preserved)	0.4	0.0	0.0	0.1
Stainforthia loeblichii (Feyling-Hanssen, 1954)	0.4	0.0	0.0	0.1
Bolivina globulosa Cushman, 1933	0.4	0.0	0.0	0.1
Trifarina occidentalis (Cushman, 1923)	0.4	0.0	0.0	0.1
Bolivina lowmani Phleger & Parker, 1951	0.4	0.0	0.0	0.1
Bolivina compacta Sidebottom, 1905	0.3	0.0	0.0	0.1
Textularia earlandi Parker, 1952	0.3	0.0	0.0	0.1
Trochammina intacta Podobina, 1998	0.3	0.0	0.0	0.1
Aglutinados partidos, não identificados	0.3	0.0	0.0	0.1
Neopateoris differens McCulloch, 1981	0.3	0.0	0.0	0.1
Nonionoides grateloupian (d'Orbigny, 1839)	0.3	0.0	0.0	0.1
Quinqueloculina seminula (Linnaeus, 1758)	0.3	0.0	0.0	0.1
Quinqueloculina subpoeyana Cushman, 1922	0.3	0.0	0.0	0.1
Valvulineria minuta (Schubert, 1904)	0.3	0.0	0.0	0.1
Cycloforina exsculpta (Heron-Allen & Earland, 1915)	0.3	0.0	0.0	0.1
Caronia exilis (Cushman & Brönnimann, 1948)	0.3	0.0	0.0	0.1
Uvigerina peregrina Cushman, 1923	0.3	0.0	0.0	0.1
Buccella parkerae Andersen, 1952	0.3	0.0	0.0	0.1
Elphidium lene Cushman & McCulloch, 1940	0.3	0.0	0.0	0.1
Quinqueloculina trinidadensis McCulloch, 1981	0.3	0.0	0.0	0.1



APÊNDICE XI. Figura de apoio - Gráficos de profundidade dos valores de densidade de foraminíferos, riqueza de espécies, equitabilidade, relação Amônia / Elphidium, valores de FSI e Exp (H'bc) ao longo do testemunho SP8. A linha de regressão logarítmica e o respectivo R² foram representados no gráfico Ammonia / Elphidium. A seção superior do testemunho, onde os valores da relação Amônia / Elphidium aumentam significativamente foi sombreada, assim como porção inferior, estéril para foraminíferos. (Castelo *et al.* 2021, *In press*).



APÊNDICE XII. Curva de variação do RSL da costa brasileira com base em 158 amostras de vermetídeos. Triângulos e linha tracejada representam dados da costa brasileira entre Pernambuco (3 ° S) e Paraná (25,5 ° S) (Angulo *et al.*, 2006). Círculos e linha verde: dados do sul do Estado de Santa Catarina (28 ° S) (Angulo *et al.*, 2006). Quadrados e linha laranja: São Francisco do Sul (26,3 ° S). (Toniolo *et al.* 2020).