

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

CAROLINE APARECIDA PEREIRA DIAS

**Avaliação de variações ambientais através da composição elementar de  
sedimentos de *mudbelts* da plataforma continental sul do Brasil**

São Paulo  
2023

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

CAROLINE APARECIDA PEREIRA DIAS

**Avaliação de variações ambientais por meio da composição elementar de sedimentos de *mudbelts* da plataforma continental sul do Brasil\***

São Paulo  
2023

**\*TÍTULO CORRIGIDO** – Por normas da USP não é possível alterar oficialmente o título da dissertação.

CAROLINE APARECIDA PEREIRA DIAS

**Avaliação de variações ambientais através da composição elementar de sedimentos de *mudbelts* da plataforma continental sul do Brasil**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Química.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Bianca Sung Mi Kim

São Paulo

2023

Dias, C. A. P. **Avaliação de variações ambientais através da composição elementar de sedimentos de *mudbelts* da plataforma continental sul do Brasil.** 2023. Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Química.

Aprovado em: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_\_

Versão Corrigida

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Presidente

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Conceito \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Conceito \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por mais uma vez ter tornado tudo possível, por sempre me capacitar e mostrar que sonhos podem se tornar realidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira, por todo o suporte, paciência e aprendizado nesses quase 7 anos no LaQIMar.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Bianca Sung Mi Kim, pelas dúvidas respondidas, pela revisão dos textos, conselhos e paciência.

Ao Instituto Oceanográfico e Universidade de São Paulo, por toda a infraestrutura para a realização deste trabalho e todas as oportunidades concedidas.

Aos professores, técnicos e funcionários do IO, por todo o conhecimento adquirido e auxílio em diferentes formas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro no início do projeto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de mestrado e apoio financeiro concedido através do processo nº 2021/00940-0.

A todos os membros e colaboradores do LaQIMar, especialmente Tailisi, Lívia, Beatriz, Bruna, Sheila, Paulo, Jéssica e Giovanna, pelo apoio, conversas e por tornarem os meus dias mais alegres e divertidos.

A todos os amigos que de longe ou perto me motivaram, ouviram e auxiliaram, direta ou indiretamente.

À minha família que apoiou, torceu e incentivou, especialmente meus pais José e Juscilene, e meu irmão Cauã.

*“Ainda que a fé esteja acima da razão, nunca pode haver verdadeiro desacordo entre ambas: o mesmo Deus, que revela os mistérios e comunica a fé, também acendeu no espírito humano a luz da razão. E Deus não pode negar-Se a Si próprio, nem a verdade pode jamais contradizer a verdade”*

(Conc. Vaticano I: DS 3017)

## RESUMO

Dias, C. A. P. **Avaliação de variações ambientais através da composição elementar de sedimentos de *mudbelts* da plataforma continental sul do Brasil.** 2023. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Depocentros de lama podem ser encontrados em plataformas continentais, sendo capazes de adsorver e incorporar à superfície de seus grãos substâncias orgânicas e inorgânicas, mostrando-se como importante arquivo de mudanças ambientais e influência antrópica em uma região. *Mudbelts* são um tipo de depocentro de lama, confinado e alongado, localizado em plataformas continentais clásticas. O objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação das variações ambientais, naturais e antrópicas, ocorridas na plataforma continental Sul do Brasil e continente adjacente, a partir da caracterização elementar de três testemunhos longos provenientes de *mudbelts*. Durante o Holoceno, variações nas razões de elementos e nos escores da componente terrígena na análise de componentes principais sugeriram aumentos no intemperismo químico e no aporte continental em períodos de maior influência do Rio de La Plata na região, a partir de 5000 e 3000 anos AP. Em, aproximadamente, 5000 anos houve uma diminuição do nível do mar, o estabelecimento da variabilidade moderna do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e intensificação do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS), ocasionando um aumento da precipitação no continente e na bacia do Rio de La Plata e promovendo o transporte da pluma deste rio para norte. A partir de 3000 anos AP houve nova intensificação do ENOS e frentes frias no sul do Brasil, estimulando os ventos de Sul-Sudeste e promovendo a influência dominante do Rio de La Plata na plataforma sul do Brasil. Durante todo o Antropoceno (últimos 200 anos) também houve aumento no aporte terrígeno e intemperismo químico, o que pôde ser associado ao aquecimento da América do Sul devido ao aumento antrópico de gases de efeito estufa. No mesmo período, As, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn, não apresentaram níveis de contaminação e potencial risco para a biota. No entanto, tendências de enriquecimento desses elementos puderam ser associados a diferentes eventos conhecidos por um aumento na atividade antrópica no Brasil e América do Sul, como o início da

Revolução Industrial no Brasil e uso de compostos orgânicos do chumbo na gasolina a partir da década de 1930. Dessa forma, os sedimentos dos *mudbelts* da plataforma Sul do Brasil podem ser considerados potenciais sumidouros de metais e capazes de registrar mudanças naturais e antrópicas que ocorreram na região e no continente adjacente durante o Holoceno e Antropoceno.

Palavras-chave: Depocentros de lama. Metais. Mudanças naturais e antrópicas. Holoceno. Antropoceno.



## ABSTRACT

Dias, C. A. P. **Assessment of environmental variations through the elemental composition of mudbelts sediments from the southern continental shelf of Brazil.** 2023. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Mud depocenters can be found on continent shelves and are able to adsorb and incorporate organic and inorganic substances to the surface of their grains, being an important archive of environmental changes and anthropic influence in a region. Mudbelts are elongated and confined mud depocenters located on clastic continental shelves. The objective of this work is to evaluate the environmental, natural and anthropogenic variations that occurred in the southern continental shelf of Brazil and adjacent continent, based on the elementary characterization of three long cores from mudbelts. During the Holocene, variations in element ratios and in the scores of the terrigenous component in the principal component analysis suggested increases in chemical weathering and continental input in periods of greater influence of the Rio de La Plata in the region, from 5000 and 3000 years BP. Approximately 5000 years BP there was a decrease in sea level, the establishment of the modern variability of ENSO and the intensification of SAMS, causing an increasing in precipitation on the continent and in the basin of the Rio de La Plata and promoting the transport of the plume from this river to north. From 3000 years BP there was a new intensification of ENSO and cold fronts in southern Brazil, stimulating south-southeast winds and promoting the dominant influence of the Rio de La Plata on the southern shelf of Brazil. Throughout the Anthropocene (last 200 years) there was also an increase in terrigenous input and chemical weathering, which could be associated with the warming of South America due to the anthropic increase in greenhouse gases. In the same period, As, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn did not present levels of contamination and potential risk to the biota. However, trends of enrichment of these elements could be associated with different events known for an increase in anthropic activity in Brazil and South America, such as the beginning of the Industrial Revolution in Brazil and the use of organic lead compounds in gasoline from the 1930s. Thus, the sediments of the mudbelts of the southern shelf of Brazil can be considered potential sinks of

metals and capable of recording natural and anthropogenic changes that occurred in the region and in the adjacent continent during the Holocene and Anthropocene.

Keywords: Mud depocenters. Metals. Natural and anthropogenic changes. Holocene. Anthropocene.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área de estudo com pontos de coleta (triângulos). BCC indica a Corrente Costeira do Brasil (seta verde) e BC representa a Corrente do Brasil (seta laranja)	26
Figura 2 - Etapas da digestão parcial do método USEPA 3050b	30
Figura 3 - Perfis verticais dos teores de finos (silte e argila) dos testemunhos #557 e #576	37
Figura 4 - Perfil vertical dos teores de finos (silte e argila) do testemunho #564	37
Figura 5 - Perfis verticais de Carbono Orgânico Total (COT), $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total (NT), e $\delta^{15}\text{N}$ no testemunho #557	39
Figura 6 - Perfis verticais de Carbono Orgânico Total (COT), $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total (NT), e $\delta^{15}\text{N}$ no testemunho #564	40
Figura 7 - Perfis verticais de Carbono Orgânico Total (COT), $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total (NT), e $\delta^{15}\text{N}$ no testemunho #576	41
Figura 8 - Perfis verticais dos elementos (mg kg <sup>-1</sup> ) analisados por ICP-OES no testemunho #557	44
Figura 9 - Perfis verticais dos elementos (mg kg <sup>-1</sup> ) analisados por ICP-OES no testemunho #564	45
Figura 10 - Perfis verticais dos elementos (mg kg <sup>-1</sup> ) analisados por ICP-OES no testemunho #576	46
Figura 11 - Relação profundidade (cm) e ano de deposição obtidos na geocronologia com <sup>210</sup> Pb para o testemunho #564 e topo do #557 e #576. Ano 1963 marcado em vermelho	50
Figura 12 - Perfis verticais das atividades de <sup>137</sup> Cs (Bq kg <sup>-1</sup> ) dos testemunhos #557, #564 e #576, com o pico de máxima intensidade marcado em vermelho	51
Figura 13 - Relação profundidade (cm) e idade (anos AP) obtidos na geocronologia com <sup>210</sup> Pb e <sup>14</sup> C para os testemunhos #557 e #576	52
Figura 14 - Correlação linear entre COT e NT (%) nos testemunhos #557 e #564	53
Figura 15 - Relação C/N e $\delta^{13}\text{C}$ para estimativa da origem da matéria orgânica dos testemunhos #557 (pontos em azul) e #564 (pontos em laranja) de acordo com modelo obtido por Lamb, Wilson e Leng (2006). POC: Carbono Orgânico Particulado; DOC: Carbono Orgânico Dissolvido	54
Figura 16 - Perfis verticais de $\delta^{13}\text{C}$ e razão COT/NT pela idade do testemunho #557	55
Figura 17 - Perfis verticais de $\delta^{13}\text{C}$ e razão COT/NT pela idade do testemunho #564	55
Figura 18 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1, 2 e 3, geradas no testemunho #557 ( <i>Loading Plot</i> )	60
Figura 19 - Perfil vertical do teor de areia no testemunho #557	61
Figura 20 - Perfil vertical dos escores da CP 1 do testemunho #557	61
Figura 21 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K pela idade do testemunho #557	62

Figura 22 - Variações no nível relativo do mar na região do Rio de la Plata de acordo com os modelos Gamma (azul) e Loess (vermelho) obtidos por Prieto et al. (2017)	63
Figura 23 - Comparação dos registros Sr/Ca (linha verde) e $\delta^{18}\text{O}$ (linha vermelha) da caverna Botuverá (Santa Catarina, Brasil), com o registro $\delta^{18}\text{O}$ das cavernas Lapa-Grande (linha preta, Minas Gerais, Brasil), caverna Huagapo (linha azul escuro, Andes centrais, Peru) e a insolação de fevereiro a 30°S (linha azul claro) compilada por Bernal et al. (2016)	65
Figura 24 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1 e 2, geradas no testemunho #576 ( <i>Loading Plot</i> )	67
Figura 25 - Perfil vertical dos escores da CP 1 do testemunho #576	68
Figura 26 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K pela idade do testemunho #576	69
Figura 27 - Perfil vertical do teor de finos no testemunho #576	69
Figura 28 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1 e 2, geradas no testemunho #557 para os últimos 200 anos ( <i>Loading Plot</i> )	74
Figura 29 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1 e 2, geradas no testemunho #564 ( <i>Loading Plot</i> )	74
Figura 30 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1 e 2, geradas no testemunho #576 para os últimos 200 anos ( <i>Loading Plot</i> )	75
Figura 31 - Perfis verticais dos escores das CP 1 dos testemunhos #557, #564 e #576	76
Figura 32 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K no testemunho #564	77
Figura 33 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K do testemunho #557 sendo destacados os últimos 200 anos	78
Figura 34 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K do testemunho #576 sendo destacados os últimos 200 anos	79
Figura 35 - Perfis verticais dos teores de finos nos últimos 200 anos dos três testemunhos	80
Figura 36 - Variações nas razões de elementos na plataforma interna Uruguiaia durante os últimos 1200 anos	81
Figura 37 - Perfis verticais dos Fatores de Enriquecimento de metais e As obtidos no testemunho #557	87
Figura 38 - Perfis verticais dos Fatores de Enriquecimento de metais e As obtidos no testemunho #564	88
Figura 39 - Perfis verticais dos Fatores de Enriquecimento de metais e As obtidos no testemunho #576	89
Figura 40 - Perfis verticais dos SPI obtidos nos testemunhos #557, #564 e #576	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características principais dos <i>Mudbelts</i> .....	19
Tabela 2 – Algumas utilizações antrópicas de As, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn. ....	22
Tabela 3 - Estações de coleta, profundidade da coluna de água e comprimento dos testemunhos.....	28
Tabela 4 - Classificação dos valores de Fatores de Enriquecimento .....	34
Tabela 5 - Classificação dos valores de <i>Sediment Pollution Index</i> .....	34
Tabela 6 - Valores mínimo e máximo, média, desvio padrão (SD) e coeficiente de variação (CV) das frações granulométricas (%) obtidas em cada testemunho .....	36
Tabela 7 - Valores mínimo e máximo, média, desvio padrão (SD) e coeficiente de variação (CV) para a porcentagem de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT), $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ obtidos em cada testemunho.....	38
Tabela 8 - Parâmetros descritivos ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos elementos analisados por ICP-OES em cada testemunho.....	43
Tabela 9 – Resultados das análises do material de referência certificado (MRC) SQC001 (média ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), intervalo de confiança ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), coeficiente de variação (CV) (%), recuperação (%), valor certificado ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e limite de aceitação ( $\text{mg kg}^{-1}$ )) (n=5).....	47
Tabela 10 - Resultados das análises do material de referência certificado (MRC) SS-2-2 (média ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), intervalo de confiança ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), coeficiente de variação (CV) (%), recuperação (%), valor certificado ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e intervalo de tolerância ( $\text{mg kg}^{-1}$ )) (n=5).....	48
Tabela 11 - Limites de detecção (LDM) e quantificação (LQM) do método ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) para cada elemento.....	48
Tabela 12 - Matriz de correlação de Pearson entre metais, teor de finos, COT e NT no testemunho #557.....	56
Tabela 13 - Matriz de correlação de Pearson entre metais, teor de finos, COT e NT no testemunho #564.....	57
Tabela 14 - Matriz de correlação de Pearson entre metais, teor de finos e COT no testemunho #576.....	57
Tabela 15 - Intervalos das concentrações de metais e As encontradas em cada testemunho nos últimos 200 anos e valores regulatórios.....	82
Tabela 16 - Matriz de correlação de Pearson entre os teores de Al, As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, considerando os últimos 200 anos do testemunho #557 .....	83
Tabela 17 - Matriz de correlação de Pearson entre os teores de Al, As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, considerando os últimos 200 anos do testemunho #564 .....	84
Tabela 18 - Matriz de correlação de Pearson entre os teores de Al, As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, considerando os últimos 200 anos do testemunho #576 .....	84

## LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise de componentes principais
CB	Corrente do Brasil
CCB	Corrente Costeira do Brasil
COD	Carbono orgânico dissolvido
COP	Carbono orgânico particulado
COT	Carbono orgânico total
CP	Componente principal
CRS	<i>Constant rate of supply</i>
CV	Coefficiente de variação
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
FE	Fator de enriquecimento
ICP-OES	Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado
LDM	Limite de detecção do método
LQM	Limite de quantificação do método
MO	Matéria orgânica
MRC	Material de referência certificado
NT	Nitrogênio total
PCS	Plataforma continental sul do Brasil
SD	Desvio padrão
SMAS	Sistema de Monções da América do Sul
SPI	<i>Sediment pollution index</i>
UMG	Último máximo glacial
ZCIT	Zona de convergência intertropical

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1. Plataformas continentais .....	17
1.2. Depocentros de lama .....	18
1.3. Metais em estudos paleoceanográficos e paleoclimáticos .....	19
1.4. Metais e As em estudos de contaminação e qualidade ambiental .....	21
1.5. Holoceno .....	22
1.6. Antropoceno .....	23
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>25</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
4.1. Amostragem .....	28
4.2. Análise granulométrica .....	28
4.3. Determinação de Carbono Orgânico Total, $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total e $\delta^{15}\text{N}$ ...	29
4.4. Determinação de metais e semimetais por ICP-OES .....	29
4.4.1. Controle de qualidade .....	30
4.5. Geocronologia .....	31
4.5.1. $^{210}\text{Pb}$ .....	31
4.5.2. Carbono-14 .....	32
4.6. Índices de qualidade ambiental .....	33
4.7. Análises dos dados .....	34
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
5.1. Análise granulométrica .....	35
5.2. Carbono Orgânico Total, $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total e $\delta^{15}\text{N}$ .....	38
5.3. Níveis de metais .....	41
5.3.1. Controle de qualidade .....	47
5.4. Geocronologia .....	49
5.4.1. Modelo obtido com $^{210}\text{Pb}$ .....	49
5.4.2. Modelo obtido com $^{14}\text{C}$ e $^{210}\text{Pb}$ .....	51
<b>6. DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
6.1. Atributos geoquímicos e origem do material orgânico sedimentar .....	52
6.2. Variações ambientais no Holoceno .....	58

6.2.1. Avaliação das mudanças no clima continental e aporte terrígeno para a plataforma Sul do Brasil nos últimos, aproximadamente, 11 mil anos .....	58
6.2.1.1. Testemunho #557 .....	58
6.2.1.2. Testemunho #576 .....	66
6.2.1.3. Considerações finais sobre o estudo de metais ao longo do Holoceno	71
6.3. Variações ambientais no Antropoceno .....	73
6.3.1. Avaliação das mudanças no clima continental e aporte terrígeno para a plataforma Sul do Brasil nos últimos 200 anos .....	73
6.3.2. Avaliação da influência antrópica e possível contaminação por metais na plataforma Sul do Brasil nos últimos 200 anos .....	82
6.3.3. Considerações finais sobre o estudo de metais ao longo do Antropoceno	90
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO A - Resultados da análise granulométrica em cada testemunho .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO B – Resultados de COT, <math>\delta^{13}\text{C}</math>, NT e <math>\delta^{15}\text{N}</math> em cada testemunho .....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO C – Resultados de Al, As, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sc, Sr, Ti, V e Zn em cada testemunho .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO D - Relação profundidade (cm) e idade (anos antes do presente) dos testemunhos #557 e #576 obtidos com <math>^{210}\text{Pb}</math> e <math>^{14}\text{C}</math> .....</b>	<b>118</b>



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Plataformas continentais

As margens continentais são regiões de transição dos continentes para as bacias oceânicas. Margens passivas, como as do Atlântico, são divididas em domínios, que incluem plataforma, talude, terraço ou platô e elevação ou sopé continental (MOHRIAK; TORRES, 2017).

Plataformas continentais são extensões submersas dos continentes, inundadas durante eventos de aumento do nível do mar (NITTROUER; DONELSON WRIGHT, 1994; TESSLER; MAHIQUES, 2001). Apresentam relevos planos e regulares de natureza essencialmente sedimentar, com uma pequena declividade rumo ao alto mar. São contínuas e largas em margens passivas, se estendendo da linha de praia até a quebra da plataforma, onde há uma mudança brusca da declividade (TESSLER; MAHIQUES, 2001).

As plataformas desempenham um papel importante no ciclo biogeoquímico de elementos como nitrogênio, fósforo e carbono, sendo potencial sumidouro para grandes quantidades de carbono orgânico (DE HAAS; WEERING; STIGTER, 2002). Sustentam uma grande produção e atividade biológica na coluna de água, e os seus sedimentos são importantes condicionadores das comunidades bentônicas (ACHA et al., 2004; GRANT et al., 1991). Atuam como compartimento integrador de componentes potencialmente poluentes, provenientes de atividades antrópicas *in situ* ou nos continentes (BOTELLO; GONZALEZ; DIAZ, 1991; DE MAHIQUES et al., 2016; PALANQUES; DIAZ, 1994). Também se destacam pelas atividades econômicas que podem ser realizadas na região, incluindo pesca, turismo e exploração de grandes reservas de gás e petróleo (PEREIRA DA SILVA, 2013). Assim, estudos conduzidos nas plataformas continentais são relevantes sobre o ponto de vista ambiental, ecológico e econômico.

Ação de ondas, correntes oceânicas, ventos, variações do nível do mar, ação antrópica, atividade biológica, aporte de rios e entrada de material continental, entre outros fatores, influenciam as plataformas continentais, podendo atuar sobre a sua morfologia de fundo, estratigrafia e processos sedimentares (DE MAHIQUES et al., 2016). Desta forma, a sedimentologia das plataformas continentais se apresenta como um importante registro de variações ocorridas na Terra, sendo capaz de armazenar informações referentes a eventos climáticos, atividade antrópica,

processos terrestres e marinhos (e.g. DE MAHIQUES et al., 2009; NITTROUER; DONELSON WRIGHT, 1994).

### **1.2. Depocentros de lama**

Diferentes tipos de depocentros de lama podem ser encontrados nas plataformas continentais, apresentando grande variabilidade geométrica e arquitetônica, devido a variantes como entrada de sedimentos, morfologia do fundo do mar e energia hidrodinâmica (HANEBUTH; LANTZSCH; NIZOU, 2015). São considerados arquivos importantes de variações climáticas e oceanográficas, capazes de registrar mudanças naturais e antrópicas (e.g. DE MAHIQUES et al., 2016, 2020; DIAS et al., 2023; HANEBUTH; LANTZSCH; NIZOU, 2015; KIM et al., 2020; NIZOU et al., 2010; SANTOS et al., 2020).

Depocentros de lama da plataforma Sul e Sudeste do Brasil foram identificados como *mudbelts* por de Mahiques et al. (2016; 2020). *Mudbelts* são confinados e alongados, encontrados em plataformas continentais clásticas (DE MAHIQUES et al., 2016). A acumulação de sedimentos acontece por dispersão marinha a partir da fonte, que pode ser rastreada pela composição do material dos depósitos e pela sua localização geográfica (HANEBUTH; LANTZSCH; NIZOU, 2015). A Tabela 1, adaptada de Hanebuth; Lantzsche; Nizou (2015), compila as principais características deste tipo de depocentro.

Tabela 1 - Características principais dos *Mudbelts*

Modelagem de superfície	Arquitetura acústica	Posicionamento geral	Mecanismo de formação	Exemplos de localização
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alongado</li> <li>• Achatado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separado do ponto de origem</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correntes ao longo da plataforma ou frentes oceanográficas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataformas continentais de Washington, da Namíbia, coreana, senegalesa, e Golfo de Cádiz</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralelo ou ligeiramente oblíquo à batimetria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Padrão agradacional</li> <li>• Diluição em direção ao mar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataforma interna, média e externa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle batimétrico, abaixo da base da onda</li> <li>• Pluma / camada de suspensão advectiva</li> </ul>	

Fonte: Adaptada de Hanebuth; Lantzsch; Nizou (2015).

### 1.3. Metais em estudos paleoceanográficos e paleoclimáticos

Os sedimentos encontrados nos fundos marinhos são provenientes de diferentes fontes, podendo advir de processos que ocorrem nas próprias bacias oceânicas (sedimentos autóctones) ou fora delas (alóctones), sendo transportados por rios, ventos e geleiras (CALLIARI, 2017; LIBES, 2009). Dessa forma, os continentes, fundos oceânicos e coluna de água fornecem elementos químicos e influenciam as proporções em que estes são encontrados nos sedimentos (CALVERT; PEDERSEN, 2007).

O estudo da composição elementar dos sedimentos é capaz de fornecer informações sobre suas fontes, modo e direção do transporte, circulação oceânica, oxigenação do fundo e sedimentos, produtividade e climas passados (CALVERT; PEDERSEN, 2007). Razões entre elementos têm sido utilizadas como *proxies* para diferentes inferências paleoceanográficas e paleoclimáticas, podendo indicar variações no aporte continental, intemperismo químico, produtividade e condições redox (e.g. ANDRADE, 2011; ARZ; PÄTZOLD; WEFER, 1998; ARZ; PATZOLD; WEFER, 1999; DE MAHIQUES et al., 2009; GOVIN et al., 2012).

Metais como alumínio (Al), potássio (K), ferro (Fe), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), titânio (Ti), vanádio (V) e zinco (Zn), são relacionados ao material continental e considerados elementos terrígenos, visto que, são importantes constituintes da crosta terrestre, rochas e solos (e.g. DAMASCENO, 2017; FERNÁNDEZ, 2017; MCDONOUGH; SUN, 1995). Por meio do intemperismo e erosão destes, junto à ação de agentes transportadores como rios e ventos, grandes quantidades de sedimento terrígeno rico nestes elementos são introduzidos nas plataformas continentais e redistribuídos no oceano pela atividade de ondas, marés e correntes (DAMASCENO, 2017; TINOCO, 2017).

Outros metais, no entanto, são capazes de apontar processos autóctones. O Ca (cálcio) é principalmente precipitado *in situ* na forma de carbonato de cálcio, por meio de atividade biológica e precipitação direta na água do mar (e.g. ARZ; PÄTZOLD; WEFER, 1998; DE MAHIQUES et al., 2009; KIM; YANG; CHURCH, 1999). O Sr (estrôncio) pode co-precipitar e até substituir o Ca, devido às suas características geoquímicas e bioquímicas semelhantes às deste elemento e, por ter afinidade para reações com carbonatos (e.g. CALLIARI, 2017; KABATA-PENDIAS, 2011).

Dessa forma, a razão Fe/Ca pode ser utilizada para avaliar variações no aporte de sedimento terrígeno em comparação com a influência marinha em uma região, devido às diferentes fontes desses metais para as bacias oceânicas (e.g. ARZ; PÄTZOLD; WEFER, 1998; DIAS et al., 2023; JENNERJAHN et al., 2004; PEREZ; GARCÍA-RODRÍGUEZ; HANEBUTH, 2016; ZHANG et al., 2015). Uma vez que os minerais apresentam diferentes metais em sua composição, razões entre elementos terrígenos também podem ser utilizadas.

O Fe é relacionado principalmente a aluminossilicatos e argilominerais, e se concentra em materiais altamente intemperizados provenientes de regiões com altas taxas de precipitação e intemperismo químico (GOVIN et al., 2012; PEREZ; GARCÍA-RODRÍGUEZ; HANEBUTH, 2016). O K, no entanto, é associado ao feldspato potássico e à illita, sendo mais abundante em regiões áridas (GOVIN et al., 2012). Assim, a razão Fe/K pode ser utilizada para avaliar o aporte terrígeno e os regimes climáticos, indicando o grau de intemperismo químico, sugerindo condições mais secas (menores valores) ou úmidas (maiores valores) (GOVIN et al., 2012; PEREZ et al., 2018; PEREZ; GARCÍA-RODRÍGUEZ; HANEBUTH, 2016).

Diversos estudos utilizaram as variações no aporte terrígeno, determinadas a partir das razões Fe/Ca e Fe/K, como indicadores climáticos continentais, podendo ser associados a oscilações climáticas geradas por eventos conhecidos, como eventos de Heinrich, Anomalia Climática Medieval e Pequena Idade do Gelo (e.g. ARZ; PÄTZOLD; WEFER, 1998; JENNERJAHN et al., 2004; NACE et al., 2014; PEREZ et al., 2018; PEREZ; GARCÍA-RODRÍGUEZ; HANEBUTH, 2016; ZHANG et al., 2015).

#### **1.4. Metais e As em estudos de contaminação e qualidade ambiental**

Alguns elementos, além da origem natural, podem ser introduzidos nos oceanos a partir de atividade antrópica, provenientes da descarga de efluentes industriais, uso de fertilizantes e pesticidas, transporte marítimo, queima de combustíveis fósseis e mineração (e.g. DOU et al., 2013; FERNÁNDEZ, 2017; GU et al., 2012; MIRLEAN et al., 2003; OLSEN; CUTSHALL; LARSEN, 1982; PALANQUES; DIAZ, 1994; SELVAM; JESURAJA; GNANACHANDRASAMY, 2019; TINOCO, 2017; UGLIETTI et al., 2015). A Tabela 2 apresenta algumas utilizações antrópicas comuns para As, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn.

Alguns desses metais, como Zn e Ni, são considerados micronutrientes (LIBES, 2009). No entanto, todos esses potenciais contaminantes podem causar efeitos adversos em organismos e comunidades que vivem associados aos sedimentos e coluna de água, sendo assimilados e acumulados em tecidos vivos e cadeias alimentares (e.g. TREVIZANI et al., 2018, 2019). O grau de toxicidade e a biodisponibilidade desses metais em ambientes aquáticos pode variar de acordo com a sua concentração e especiação química em determinadas condições ambientais de temperatura, pH, alcalinidade e potencial redox (e.g. CANTERFORD; CANTERFORD, 1980; LIBES, 2009; PEMPKOWIAK; SIKORA; BIERNACKA, 1999; ZHANG et al., 2014).

Tabela 2 – Algumas utilizações antrópicas de As, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn.

<b>Contaminante</b>	<b>Principais usos</b>
As	Tônicos, medicamentos e corantes, aditivos para ração animal, conservante de madeira, vidros especiais, pesticidas e componentes eletrônicos
Cr	Fabricação de ligas de ferro, tintas, corantes, explosivos, pigmentos, produção de cerâmica e papel, contra a corrosão de circuitos de resfriamento
Cu	Fios e cabos elétricos, ligas especiais, tubos, laminados e extrudados
Pb	Agentes antidetonantes, baterias, pigmentos, cerâmica, plásticos, fertilizantes, combustíveis fósseis
Ni	Indústria siderúrgica, defensivos agrícolas, combustíveis fósseis
Zn	Revestimentos anticorrosivos, indústrias metalúrgica, elétrica e galvanizadora, medicamentos, práticas agrícolas

Fonte: Andrade et al. (1997); Cagnin, (2018); Marshall; Fairbridge, (1999).

Os metais e As, podem estar associados aos sedimentos por troca iônica ou precipitação na superfície da partícula, co-precipitação com óxidos de ferro e manganês, complexação com substâncias orgânicas, incorporação em organismos e material fecal, e floculação de material coloidal orgânico e inorgânico (OLSEN; CUTSHALL; LARSEN, 1982). Possuem uma forte afinidade com partículas finas, se adsorvendo eletrostaticamente e se incorporando à superfície dos grãos (e.g. MARTINS et al., 2011; OLSEN; CUTSHALL; LARSEN, 1982). Dessa forma, sedimentos constituídos principalmente de silte e argila (lama) têm um importante papel na retenção desses contaminantes, e o estudo de metais em depósitos lamosos pode ser utilizado para caracterizar a influência antrópica em uma região.

### **1.5. Holoceno**

Na escala de tempo geológico, o Holoceno é a época mais recente, dentro do período Quaternário. Iniciou-se há cerca de 11,7 mil anos, após o *Younger Dryas*,

último evento de frio extremo do Hemisfério Norte durante a última deglaciação (e.g. NAUGHTON et al., 2023).

Apesar de já ter sido considerado estável climaticamente, diversos fatores climáticos influenciaram essa época, incluindo a modulação dos parâmetros orbitais da Terra, mudança na irradiação solar, atividade vulcânica e concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (BOLLE et al., 2015). Reconstituições ambientais do Holoceno se baseiam no estudo de pólen, espeleotemas, testemunhos de gelo, sedimentos lacustres e marinhos utilizando diferentes *proxies* e indicadores paleoclimáticos, como isótopos estáveis, biomarcadores e metais (e.g. BERNASCONI, 2022; BOLLE et al., 2015; DE MAHIQUES et al., 2009; GYLLENCREUTZ et al., 2010; HAUG et al., 2001).

De modo geral, há evidências de um ótimo climático do início ao meio do Holoceno, seguido por uma tendência de resfriamento no Holoceno tardio (e.g. BOLLE et al., 2015; MASLIN; STICKLEY; ETTWEIN, 2001). No entanto, oscilações e ciclos climáticos de escala milenar também são conhecidos ao longo de todo o período (e.g. GIBBARD; HEAD, 2020; MASLIN; STICKLEY; ETTWEIN, 2001). Entre os eventos climáticos importantes do Holoceno estão incluídos o “Período Quente Medieval”, que terminou há cerca de 1000 anos, e a subsequente “Pequena Idade do Gelo” (MASLIN; STICKLEY; ETTWEIN, 2001; PEREZ; GARCÍA-RODRÍGUEZ; HANEBUTH, 2016).

## **1.6. Antropoceno**

Estudos sobre os impactos da intervenção antrópica no ambiente desde o início da Revolução Industrial, nos últimos 150 ou 200 anos, levaram ao debate sobre a inserção de uma nova época geológica, que considera o homem como um agente capaz de alterar o planeta geológica e ecologicamente (e.g. CRUTZEN; STOERMER, 2021, 2000; WATERS et al., 2016; ZALASIEWICZ et al., 2016).

O termo “Antropoceno” foi inicialmente proposto por CRUTZEN; STOERMER (2000) e, embora ainda não tenha sido formalizado, diversos autores o utilizam para se referir a esse período característico de intervenção humana significativa (e.g. CURTIS et al., 2023; KIM, 2021; WATERS et al., 2016; ZALASIEWICZ et al., 2010, 2016).

O Grupo de Trabalho do Antropoceno (*Anthropocene Working Group, AWG*) foi criado pela Subcomissão de Estratigrafia do Quaternário (*Subcommission of Quaternary Stratigraphy, SQS*) da Comissão Internacional de Estratigrafia (*International Commission of Stratigraphy, ICS*), e discute, entre outros, a possibilidade de formalização do Antropoceno como uma época geológica que marcaria o final do Holoceno, e a justificativa científica para isso, ou seja, o possível “sinal geológico” claro e distinto que teria sido deixado pelo homem no Sistema Terrestre (AWG, 2019).

De acordo com o AWG (2019), entre os fenômenos que podem ser associados ao Antropoceno estão incluídos o aumento da erosão e transporte de sedimentos, devido à urbanização e agricultura; perturbações nos ciclos do C, N, P, e diversos metais; e inserção no ambiente de novos compostos químicos. O aquecimento global, acidificação dos oceanos e expansão de zonas mortas seriam algumas mudanças ambientais decorrentes dessas perturbações.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é realizar uma reconstituição das variações ambientais na plataforma continental Sul do Brasil e continente adjacente, a partir da caracterização elementar e geocronologia de três testemunhos longos, provenientes de depocentros de lama do tipo *mudbelts*.

Os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- 1) Avaliar as variações na distribuição de elementos de diferentes fontes e no aporte terrígeno/marinho, a partir da quantificação elementar, razões de elementos e análises estatísticas;
- 2) Avaliar a possível presença e enriquecimento de elementos de fontes antropogênicas;
- 3) Verificar se foram registradas variações ambientais ao longo do Holoceno e Antropoceno e se estas ocorreram de forma semelhante nos locais onde os testemunhos foram coletados;
- 4) Corresponder as variações observadas a eventos oceanográficos, climáticos e antropogênicos já relatados, a partir da geocronologia com  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{14}\text{C}$ .

A partir disso, espera-se responder as seguintes perguntas:



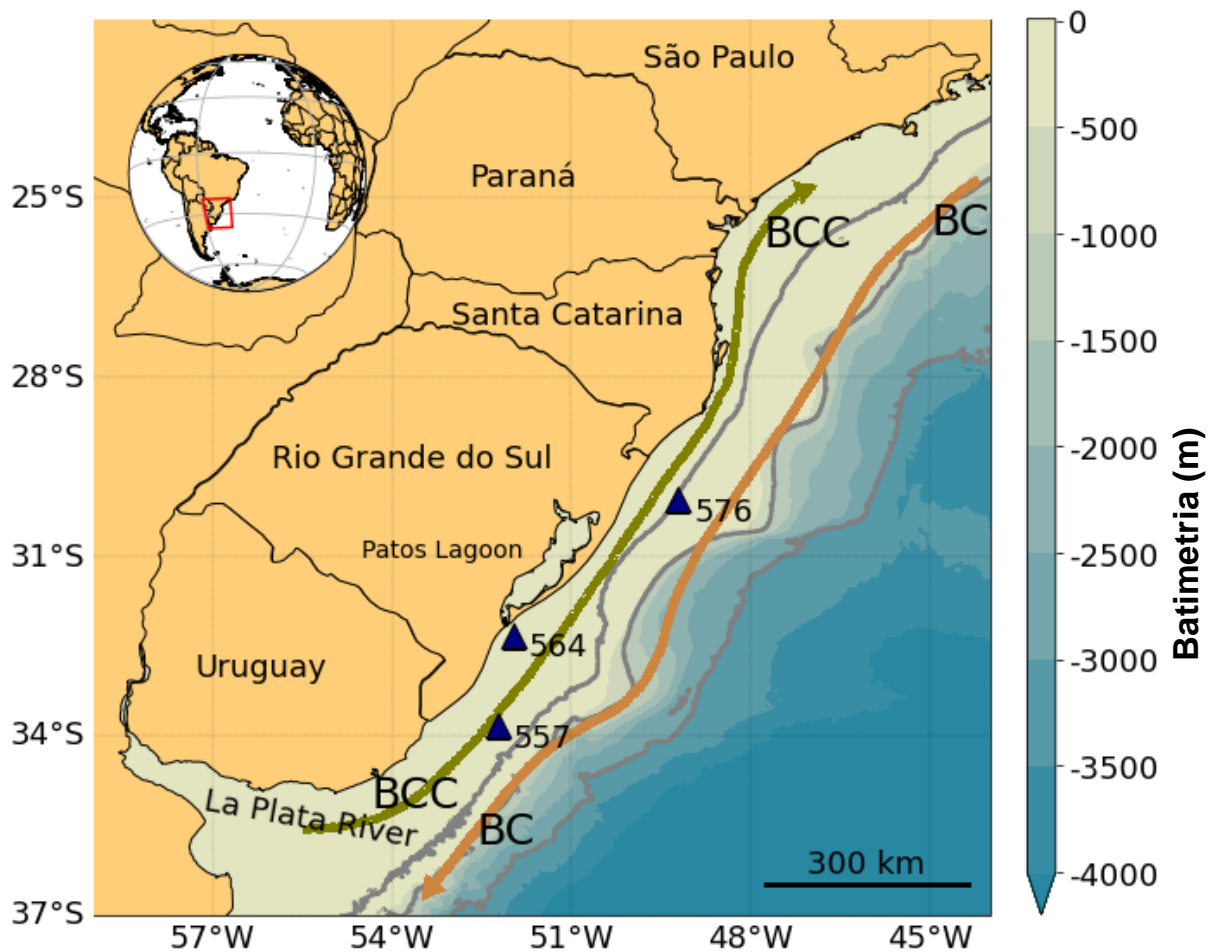
- 1) Houve variações no aporte de sedimentos de diferentes fontes na plataforma continental Sul do Brasil, ao longo do Holoceno e do Antropoceno?
- 2) Variações no aporte terrígeno correspondem a períodos conhecidos de maior/menor influência do Rio de La Plata?
- 3) Houve um aumento no conteúdo de elementos de origem antropogênica a partir do início da industrialização na América Latina?
- 4) Há indícios de que os diferentes processos responsáveis pela sedimentação na plataforma continental Sul do Brasil agem de forma semelhante na porção mais ao norte e mais ao sul?
- 5) A caracterização elementar dos *mudbelts* da plataforma Sul do Brasil por ICP-OES se apresenta como uma boa ferramenta para o estudo de variações ambientais ocorridas na plataforma e no continente adjacente durante o Holoceno e Antropoceno?

### **3. ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo corresponde à plataforma continental sul do Brasil (PCS), localizada entre o Cabo de Santa Marta (28,5°S) e o arroio Chuí (34°S) (CASTRO; MIRANDA, 1998). Esta plataforma é delimitada pela isóbata de 180 m, sendo estreita ao norte (110 Km) e alargando-se para o sul (170 Km) e sua topografia de fundo e linha de costa são relativamente uniformes (CASTRO et al., 2006).

A circulação na região e distribuição de sedimentos é influenciada por diferentes processos, como o fluxo em direção ao sul da Corrente do Brasil (CB) nas plataformas média e externa e fluxo em direção ao norte da Corrente Costeira do Brasil (CCB) na plataforma interna (DE MAHIQUES et al., 2008; DE SOUZA; ROBINSON, 2004; NAGAI; SOUSA; MAHIQUES, 2014). A Figura 1 apresenta a área de estudo e indica ambas as correntes.

Figura 1 - Área de estudo com pontos de coleta (triângulos). BCC indica a Corrente Costeira do Brasil (seta verde) e BC representa a Corrente do Brasil (seta laranja)



A elevação da Serra do Mar foi um evento de grande importância para a evolução da margem continental do Sudeste e Sul do Brasil, visto que, com a sua ascensão a maioria dos sistemas de drenagem correm para o interior, alimentando a bacia dos rios Paraná e de La Plata e apenas pequenos rios correm diretamente para o mar (DE MAHIQUES et al., 2004).

A bacia do Rio de La Plata, composta pelos rios Paraná, Paraguai e Uruguai, é a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul, estendendo-se por regiões do Brasil, Argentina, Paraguai, Bolívia e Uruguai (e.g. BERRI et al., 2002; LEE; BERBERY, 2012; MARTINEZ; DOMINGUEZ, 2014). Desta forma, o aporte do Rio de La Plata pode ser influenciado por variações no fluxo proveniente dos rios que compõem a bacia e no regime de precipitação sobre eles.

Os sedimentos encontrados nas plataformas Sul e Sudeste do Brasil são provenientes de diferentes fontes, locais e distantes, sendo a descarga do Rio de La

Plata uma das mais significativas (DE MAHIQUES et al., 2020). As águas da PCS apresentam variações sazonais relacionadas a mudanças no regime de ventos e descarga de águas continentais (DE SOUZA; ROBINSON, 2004).

A CCB transporta sedimentos e águas frias e menos salinas do Rio de la Plata e lagoas no sul do Brasil, como a Lagoa dos Patos, até cerca de 28° S (DE MAHIQUES et al., 2008, 2020; NAGAI; SOUSA; MAHIQUES, 2014; PIOLA et al., 2000). O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) atua na região e influencia o transporte de água e sedimentos para a PCS. Durante eventos de El Niño há um aumento da precipitação e da descarga do Rio de La Plata, mas a pluma fica confinada ao sul, devido a atuação de ventos de norte-nordeste. Em eventos de La Niña, no entanto, há uma menor vazão do Rio de La Plata, mas os sedimentos podem ser ressuspensos e a pluma transportada mais para o norte pela CCB, devido à intensificação de ventos de sul-sudeste (DE MAHIQUES et al., 2008a; GYLLENCREUTZ et al., 2010; NAGAI; SOUSA; MAHIQUES, 2014). Essas variações também podem ocorrer sazonalmente, com um deslocamento da pluma mais ao norte ocorrendo durante o inverno, devido a uma maior influência dos ventos ao longo da costa (DE MAHIQUES et al., 2008a; PIOLA; ROMERO, 2004).

Além do ENOS, outros fenômenos e sistemas climáticos atuam sobre a porção sudeste da América do Sul. Devido à temperatura tropical e gradientes de pressão entre continente e oceano, o Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) influencia mudanças sazonais de precipitação na região (RAZIK et al., 2013). A migração para sul das Zonas de Convergência Intertropicais do Atlântico e Pacífico e a alta variabilidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul durante o verão austral também afetam, direta ou indiretamente, o pico sazonal de precipitação na bacia do Rio de La Plata e no oeste subtropical do Atlântico Sul no mesmo período (RAZIK et al., 2013). Dessa forma, esses diferentes eventos influenciam a descarga do Rio de La Plata e, por consequência, o aporte de sedimentos na PCS.

De Mahiques et al. (2020) evidenciaram que diferentes depósitos de lama são encontrados nas plataformas Sul e Sudeste do Brasil, apresentando variações granulométricas de acordo com a sua posição, sendo que de modo geral na plataforma interna foram encontrados sedimentos com valores mais altos de areias muito finas e siltes grossos e na plataforma média siltes médios a muito finos e

argila. Segundo de Mahiques et al. (2016) os *mudbelts* da plataforma Sul e Sudeste são paralelos à costa, alongados, descontínuos lateralmente e normalmente cobrem a paleo-topografia que foi gerada no Pleistoceno Superior durante níveis de mar baixo.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Amostragem

O trabalho está inserido no projeto intitulado “*Mudbelts do Sul e Sudeste do Brasil: Implicações sobre as influências antrópicas no ambiente marinho*” (FAPESP 2015/17763-2). Foram utilizados três testemunhos (#557, #564 e #576) coletados com amostrador do tipo *gravity corer* na segunda campanha de coleta do projeto, realizada de 21 de janeiro a 11 de fevereiro de 2019, a bordo do N/Oc. Alpha Crucis.

A Tabela 3 apresenta a localização, profundidade de coleta e comprimento recuperado em centímetros dos três testemunhos. A Figura 1 mostra a distribuição espacial dessas estações. Os testemunhos foram subamostrados em intervalos de 2 centímetros, totalizando 249 amostras que foram acondicionadas em frascos de vidro, congeladas e liofilizadas. A partir da pesagem antes e depois da liofilização, foram obtidos os teores de água de cada amostra.

Tabela 3 - Estações de coleta, profundidade da coluna de água e comprimento dos testemunhos.

# Estação	Latitude	Longitude	Profundidade	Comprimento
MDBT II			(m)	(cm)
557	33°47,194'S	52°12,86'W	61	284
564	32°11,505'S	51°56,88'W	18	58
576	29°49,846'S	49°9,213'W	97	199

### 4.2. Análise granulométrica

Anterior às análises granulométricas foi realizado o processo de remoção da matéria orgânica e carbonato de uma alíquota de 1g de todas as amostras, utilizando incrementos de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> diluído e HCl 10%, sob aquecimento. As amostras foram filtradas, lavadas com água deionizada e secas em estufa a 60°C. No dia anterior à análise foram adicionadas pequenas quantidades de solução de pirofosfato de sódio 2%, com a finalidade de auxiliar a desagregação dos grãos. A

leitura das amostras foi feita pelo analisador de partículas Malvern Hydro 2000 e os resultados foram classificados nas frações areia ( $> 63 \mu\text{m}$ ), silte ( $4 - 63 \mu\text{m}$ ) e argila ( $< 4 \mu\text{m}$ ) (SUGUIO, 2007), sendo utilizado também o teor de finos ou lama, correspondente à somatória de silte e argila.

#### **4.3. Determinação de Carbono Orgânico Total, $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total e $\delta^{15}\text{N}$**

Para as análises do teor de Carbono Orgânico Total (COT) e  $\delta^{13}\text{C}$ , cerca de 1g das amostras foram pré-tratadas com HCl 10% até o consumo total de carbonato, lavadas com água deionizada e secas em estufa. Esse procedimento é necessário para evitar a interferência da fração inorgânica do C, presente nos sedimentos na forma de  $\text{CaCO}_3$ . Posteriormente, cerca de 8 mg das amostras foram acondicionadas em cápsulas de estanho ( $5 \times 9 \text{ mm}$ ). O mesmo processo de encapsulamento também foi feito em alíquotas do sedimento não tratado com HCl para a determinação de Nitrogênio Total (NT) e  $\delta^{15}\text{N}$ . As quantificações foram feitas no analisador elementar *Costech Instruments Elemental Combustion System* acoplado ao detector de espectrometria de massas com razão isotópica Thermo Scientific Delta V Advantage Isotope Ratio MS (EA-IRMS). Os resultados de nitrogênio do testemunho #576 foram desconsiderados, devido a um erro nas análises.

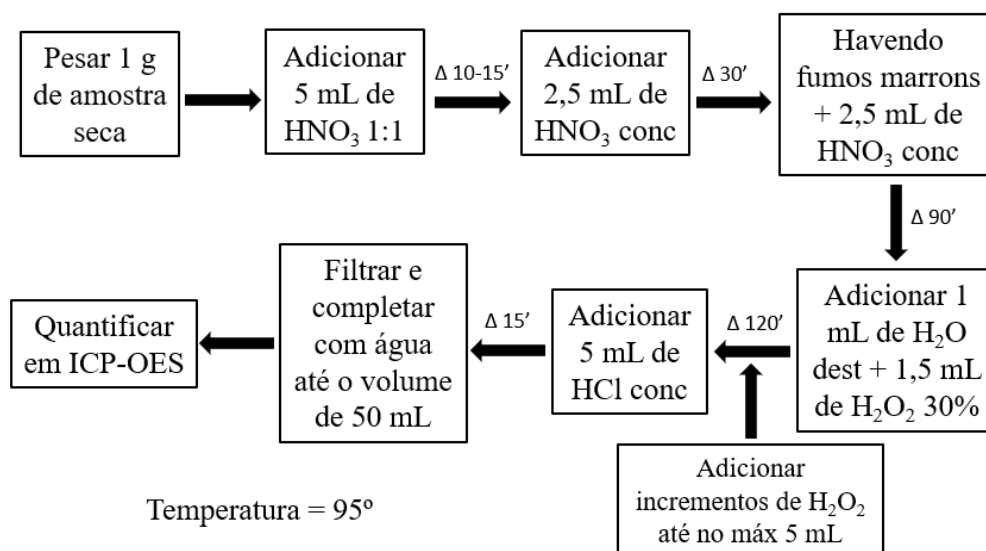
#### **4.4. Determinação de metais e semimetais por ICP-OES**

A digestão parcial dos sedimentos foi realizada a fim de disponibilizar em solução, por meio da acidificação controlada, os elementos ligados ao material orgânico sedimentar, hidróxidos de Fe/Mn, carbonatos e adsorvidos aos grãos, ou seja, ligados ao sedimento nas frações lábeis, desconsiderando os associados à estrutura cristalina dos minerais (AGUIAR; MARINS; ALMEIDA, 2007). O método SW 846 US EPA 3050b (USEPA, 1996), resumido no fluxograma da Figura 2, foi seguido para este propósito. Após a digestão parcial a quantificação dos elementos foi realizada com o espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado da marca Varian, modelo 710-ES.

A espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) é uma técnica analítica que se baseia na detecção da radiação eletromagnética emitida por átomos quando são submetidos à ionização através do

plasma indutivo de argônio em altas temperaturas, de 7000 a 10000K (CENTRO ANALÍTICO DE INSTRUMENTAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, [s.d.]). Devido às altas temperaturas, há excitação dos átomos que emitem fótons de luz característicos de cada elemento e que são proporcionais às suas concentrações na solução (CCDM - DEMA/UFSCAR, [s.d.]). A correlação entre a energia emitida na forma de fótons e a concentração do elemento é calculada pelo próprio equipamento a partir da curva de calibração estabelecida no início da leitura, utilizando sete soluções de concentrações conhecidas ( $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ ;  $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ ;  $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ;  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ;  $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ;  $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $10,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ), obtidas a partir de padrões mono ou multielementares.

Figura 2 - Etapas da digestão parcial do método USEPA 3050b



#### 4.4.1. Controle de qualidade

Os materiais de referência certificados (MRC) SQC001 (*Metals in Soil, Fluka analytical*) e SS-2-2 (*EnviroMAT Contaminated Soil*) e brancos de reagentes foram submetidos aos mesmos processos que as amostras, e os resultados comparados aos seus respectivos valores certificados, a fim de se confirmar a precisão e confiabilidade da técnica. O limite de detecção é a menor concentração de um analito que pode ser medida com 99% de confiança de que esta é maior do que zero (WADE; CANTILLO, 1994), sendo que o limite de detecção do método (LDM) também leva em consideração a massa e volume utilizados na metodologia. Sete réplicas com a menor concentração conhecida que o equipamento conseguiu

detectar, de aproximadamente 10 mg kg<sup>-1</sup>, foram preparadas a partir de soluções padrão dos elementos. O desvio padrão da leitura das réplicas foi calculado, multiplicado pelo valor de *t-Student* para um nível de confiança de 99% (3,14), e em seguida multiplicado pelo volume e dividido pela massa utilizados na metodologia, respectivamente 50 mL e 1 g. O limite de quantificação do método (LQM), que representa a menor concentração do analito na amostra que pode ser determinada com exatidão e precisão admissíveis (INMETRO, 2007), foi obtido considerando-se o LDM e um grau de imprecisão de 30%.

## 4.5. Geocronologia

### 4.5.1. <sup>210</sup>Pb

O <sup>210</sup>Pb é um radionuclídeo natural, com meia-vida de 22,3 anos, produto da série de decaimento do <sup>238</sup>U (e.g. EBAID; KHATER, 2006; FERREIRA, 2018). Sua presença em sedimentos está ligada a dois processos, o decaimento de <sup>226</sup>Ra, sem escape de <sup>222</sup>Rn, na própria matriz sedimentar, que produz o <sup>210</sup>Pb autóctone ou suportado, e a deposição atmosférica, que disponibiliza o <sup>210</sup>Pb alóctone, também chamado não suportado ou em excesso (e.g. FERREIRA et al., 2020; FERREIRA, 2018). Por conta da sua origem, o <sup>210</sup>Pb não suportado apresenta uma grande relação com a entrada de sedimentos e processos sedimentares em uma região, podendo ser utilizado no estudo de taxas de sedimentação e geocronologia de sedimentos de até 150 anos de idade (e.g. ABBASI, 2019; EBAID; KHATER, 2006; FERREIRA et al., 2020; FERREIRA, 2018).

Diferentes metodologias possibilitam a determinação de <sup>210</sup>Pb em amostras ambientais, com análises diretas deste radionuclídeo ou indiretas pela quantificação de um dos produtos do seu decaimento; sendo não destrutivas ou envolvendo separações radioquímicas; e com medições através de espectrometria gama, contagem beta ou espectrometria alfa (EBAID; KHATER, 2006; GODOY et al., 1998). Neste estudo, as primeiras camadas dos testemunhos #557 e #576 e o testemunho #564 inteiro foram analisados por espectrometria gama para determinação da geocronologia a partir das atividades de <sup>210</sup>Pb e <sup>226</sup>Ra, segundo a metodologia de Ferreira et al. (2013) e Figueira et al. (2007).

O <sup>137</sup>Cs é um radionuclídeo artificial, com meia-vida de 30,17 anos, encontrado em sedimentos do Atlântico Sul devido ao *fallout* de testes nucleares

(e.g. FERREIRA, 2018; FIGUEIRA et al., 2006, 2007). A máxima intensidade desse radionuclídeo em testemunhos sedimentares corresponde ao ano 1963, quando houve o *fallout* global máximo. Desta forma, a atividade de  $^{137}\text{Cs}$  também foi determinada nos testemunhos para validação da geocronologia obtida com  $^{210}\text{Pb}$ .

Aproximadamente 7g de sedimento foram transferidos para recipientes de polietileno cilíndricos e analisados em espectrômetro com detector de Ge hiper puro (modelo GMX25190P da EG&G ORTEC) após 20 dias de espera para atingir o equilíbrio secular. As medições de cada amostra duraram 70.000 segundos e foram utilizados os picos de 46,52 keV para o  $^{210}\text{Pb}$ , 609,31 keV para o  $^{226}\text{Ra}$  e 661,67 keV para o  $^{137}\text{Cs}$ . A energia de 609,31 keV é correspondente ao  $^{214}\text{Bi}$ , porém, tendo sido estabelecido o equilíbrio secular após o período entre o encapsulamento das amostras e a medição no espectrômetro, o nuclídeo pai  $^{226}\text{Ra}$  pode ser mensurado indiretamente na mesma linha de energia que o filho  $^{214}\text{Bi}$ . Após as medições, e utilizando os teores de água obtidos para cada testemunho, o modelo CRS (*Constant Rate of Supply*) (APPLEBY; OLDFIELD, 1978; FERREIRA, 2018) foi aplicado para estabelecimento da geocronologia dos perfis. Neste modelo é considerado um fluxo constante de  $^{210}\text{Pb}$  em excesso na interface sedimento-água e uma taxa de sedimentação local que não é, necessariamente, constante.

#### **4.5.2. Carbono-14**

Carbono-14 é um radionuclídeo cosmogênico, com meia-vida de 5730 anos, produzido pelo bombardeamento de átomos de nitrogênio com nêutrons na atmosfera superior (BRADLEY, 1999). O oceano é um reservatório para esse radionuclídeo que é amplamente empregado em métodos de datação de sedimentos marinhos, entre outras matrizes, em estudos dos últimos 45 mil anos (ALVES et al., 2015; BRADLEY, 1999; STRUNK et al., 2020).

Uma vez que as idades dos testemunhos #557 e #576 ultrapassam o limite recomendado para datações com  $^{210}\text{Pb}$  (7 meias-vidas do radionuclídeo, aproximadamente 150 anos), um modelo também foi estabelecido a partir de dados de  $^{14}\text{C}$  em material orgânico. Para isso, 7 amostras de sedimento ao longo de cada testemunho foram analisadas pela *Beta Analytics Inc.* (EUA). Os valores de idade calibrada foram obtidos por meio da calibração Marine20 (HEATON et al., 2020), e o



modelo idade-profundidade com o programa BACON, versão 2.4.3, após correção de efeito reservatório regional ( $\Delta R$ ) de  $28 \pm 52$  (ALVES et al., 2015).

#### 4.6. Índices de qualidade ambiental

Índices foram utilizados para avaliação da qualidade dos sedimentos e potencial risco ecológico para a região de estudo, a partir dos dados de As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn.

Fatores de Enriquecimento (FE) foram determinados utilizando as concentrações de cada elemento de interesse (M) e de um elemento normalizador (X), capaz de indicar a variabilidade natural associada a variações granulométricas, em comparação a um *background*, que represente as concentrações basais para a região (e.g. ABRAHIM; PARKER, 2008; CETESB, 2019; LIU et al., 2014; SHIRANI et al., 2020; ZOLLER; GLADNEY; DUCE, 1974). Neste estudo, o alumínio (Al) foi escolhido como normalizador, por ser um elemento conservativo e litogênico (e.g. ABRAHIM; PARKER, 2008; DIN, 1992). Para cada testemunho, uma média obtida com as três últimas amostras da base foi utilizada como *background*. Essas amostras correspondem a períodos anteriores ao início da Revolução Industrial no Brasil (1930) (PEREIRA; BRUNEAU; DYKE, 2019), e sua utilização, ao invés de padrões pré-definidos, eliminam possíveis interferências relacionadas a diferenças litológicas. Os FE obtidos podem ser classificados de acordo com os valores pré-definidos por Sutherland (2000) (Tabela 4).

$$FE = \frac{\frac{[M] \textit{ amostra}}{[X] \textit{ amostra}}}{\frac{[M] \textit{ background}}{[X] \textit{ background}}}$$

Tabela 4 - Classificação dos valores de Fatores de Enriquecimento

<b>FE</b>	<b>Descrição</b>
< 2	Depleção ou baixo enriquecimento
2 - 5	Enriquecimento moderado
5 - 20	Enriquecimento significativo
20 - 40	Enriquecimento muito alto
> 40	Enriquecimento extremamente alto

Fonte: Sutherland (2000).

O *Sediment Pollution Index* (SPI) é um índice que utiliza uma combinação de metais no qual não é avaliado cada elemento individualmente. Consiste em uma soma linear dos FE de cada metal multiplicado pelo seu “peso” (W), que é relacionado a sua toxicidade (SINGH; MÜLLER; SINGH, 2002). Os pesos para As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn são, respectivamente, 1, 1, 2, 2, 5, 1. A Tabela 5 apresenta as classes definidas para esse índice.

$$SPI = \frac{\sum(FE \cdot W)}{\sum W}$$

Tabela 5 - Classificação dos valores de *Sediment Pollution Index*

<b>SPI</b>	<b>Classe</b>	<b>Qualidade do sedimento</b>
0 – 2	SPI 0	Níveis naturais
2 – 5	SPI 1	Fracamente contaminados
5 – 10	SPI 2	Moderadamente contaminados
10 – 20	SPI 3	Altamente contaminados
> 20	SPI 4	Extremamente contaminados

Fonte: Singh; Müller; Singh (2002).

#### 4.7. Análises dos dados

A análise dos dados foi feita por meio de técnicas estatísticas descritivas, uni e multivariadas, com a utilização do Excel e do Software *Past 4.09* (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

A ausência de *outliers* significativos no conjunto de dados foi verificada com o teste de Grubbs. A normalidade dos dados foi testada com o teste Shapiro-Wilk e, por não apresentarem uma distribuição normal, esse pressuposto foi descartado nas análises e testes que o requeriam, como na análise de componentes principais. A matriz de correlação de Pearson foi utilizada para medir o grau de correlação/associação entre variáveis (HAUKE; KOSSOWSKI, 2011).

A Análise de Componentes Principais (ACP) permite a transformação de variáveis originais em um número menor de novas variáveis, chamadas de componentes principais (CP). Cada CP é uma combinação linear de todas as variáveis originais. Este método permite a redução dos dados e eliminação de sobreposições, com menor perda possível das informações (ALBERTO; VARELLA, 2008).

Análises estatísticas, como a ACP, podem ser utilizadas para avaliar a proveniência de elementos e, por sua vez, sedimentos em ambientes aquáticos. Além disso, também permitem verificar a contribuição dessas diferentes fontes, uma vez que, sua utilização em dados geoquímicos permite a combinação de espécies químicas com características comuns, por exemplo, que possuem uma mesma origem (e.g. LOSKA; WIECHUŁA, 2003; MARQUES et al., 2008; NEGREL, 1997; RUBIO; NOMBELA; VILAS, 2000).

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. Análise granulométrica**

Os parâmetros descritivos (valor mínimo e máximo, média, desvio padrão (SD) e coeficiente de variação (CV)) dos resultados da análise granulométrica de cada testemunho são apresentados por fração na Tabela 6 e as Figura 3 e 4 indicam os perfis verticais dos teores de finos. Valores individuais de cada testemunho estão no ANEXO A. O #576 foi o testemunho mais homogêneo e com maiores teores de finos, que variaram entre 71 e 97%. Uma leve tendência de aumento foi observada a partir da base desse testemunho até o topo. O #564 apresentou uma tendência contínua de aumento no teor de finos, desde a sua base com 17% até o topo com 93%. O #557 apresentou o perfil mais variável. Uma tendência de diminuição foi encontrada da base com 80% até 94 cm com 23% de finos, seguida por uma tendência de aumento e posterior estabilidade até o topo com 34%.

Tabela 6 - Valores mínimo e máximo, média, desvio padrão (SD) e coeficiente de variação (CV) das frações granulométricas (%) obtidas em cada testemunho

		<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>Finos</b>
<b>557</b>	Min	13,48	21,24	1,81	23,04
	Máx	76,96	77,75	8,77	86,52
	Média	37,89	56,66	5,45	62,11
	SD	18,06	16,67	1,50	18,06
	CV	47,7	29,4	27,5	29,1
<b>564</b>	Min	6,82	13,81	2,75	16,55
	Máx	83,45	79,26	22,29	93,18
	Média	30,73	56,67	12,60	69,27
	SD	19,81	16,19	4,41	19,81
	CV	64,5	28,6	35,0	28,6
<b>576</b>	Min	2,78	59,27	8,33	71,13
	Máx	30,35	84,08	18,44	97,22
	Média	13,69	72,82	13,49	86,71
	SD	5,81	4,34	2,33	5,54
	CV	42,4	6,0	17,3	6,4

Figura 3 - Perfis verticais dos teores de finos (silte e argila) dos testemunhos #557 e #576

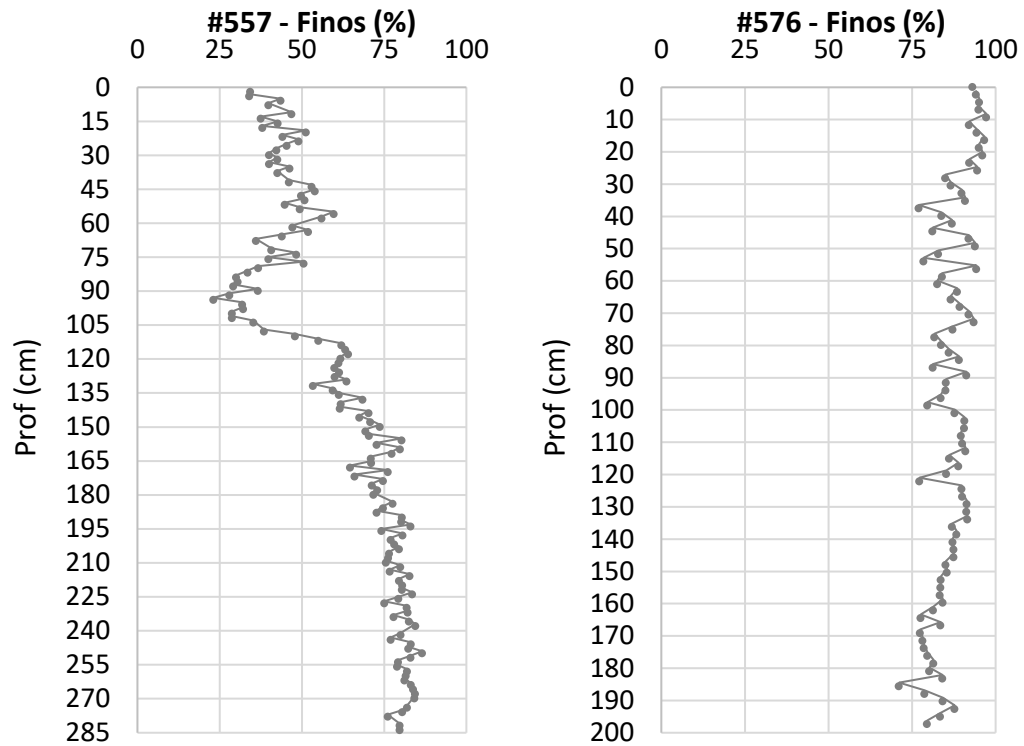
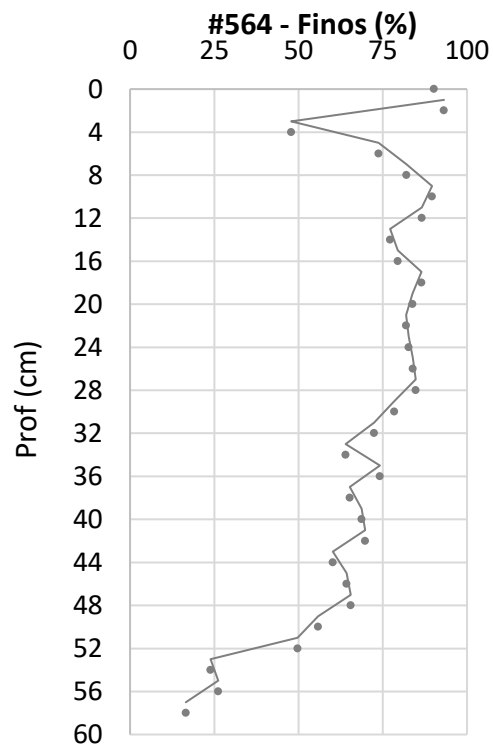


Figura 4 - Perfil vertical dos teores de finos (silte e argila) do testemunho #564



## 5.2. Carbono Orgânico Total, $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total e $\delta^{15}\text{N}$

Os parâmetros descritivos das análises de COT,  $\delta^{13}\text{C}$ , NT e  $\delta^{15}\text{N}$  de cada testemunho são apresentados na Tabela 7 e os perfis verticais nas Figura 5 a 7. Valores individuais de cada testemunho estão no ANEXO B. As maiores médias de COT e  $\delta^{13}\text{C}$  foram encontrados no testemunho #576, e de  $\delta^{15}\text{N}$  no #557. O testemunho #557 apresentou sutis tendências de diminuição nos perfis de COT e NT, da base até cerca de 90 cm, onde um aumento se iniciou em direção ao topo. Os perfis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  se mostraram relativamente constantes por toda a coluna sedimentar. Os perfis do #564 evidenciaram tendências de aumento da base em direção ao topo, sendo estas mais evidentes para COT e NT. Tendências de aumento também foram observadas no perfil de  $\delta^{13}\text{C}$  do #576, da base para o topo.

Tabela 7 - Valores mínimo e máximo, média, desvio padrão (SD) e coeficiente de variação (CV) para a porcentagem de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT),  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  obtidos em cada testemunho

		<b>COT (%)</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>NT (%)</b>	<b><math>\delta^{15}\text{N}</math></b>
<b>557</b>	Min	0,09	-25,42	0,02	6,75
	Máx	1,17	-19,25	0,11	14,08
	Média	0,33	-21,31	0,05	11,25
	SD	0,18	0,85	0,02	1,34
	CV	53,9	4,0	35,1	11,9
<b>564</b>	Min	0,09	-23,11	0,01	7,37
	Máx	1,44	-19,92	0,17	9,58
	Média	0,81	-20,61	0,11	8,07
	SD	0,33	0,64	0,04	0,44
	CV	41,1	3,1	36,7	5,4
<b>576</b>	Min	0,79	-21,16	-	-
	Máx	1,27	-19,66	-	-
	Média	1,08	-20,26	-	-
	SD	0,10	0,27	-	-
	CV	9,1	1,3	-	-

Figura 5 - Perfis verticais de Carbono Orgânico Total (COT),  $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total (NT), e  $\delta^{15}\text{N}$  no testemunho #557

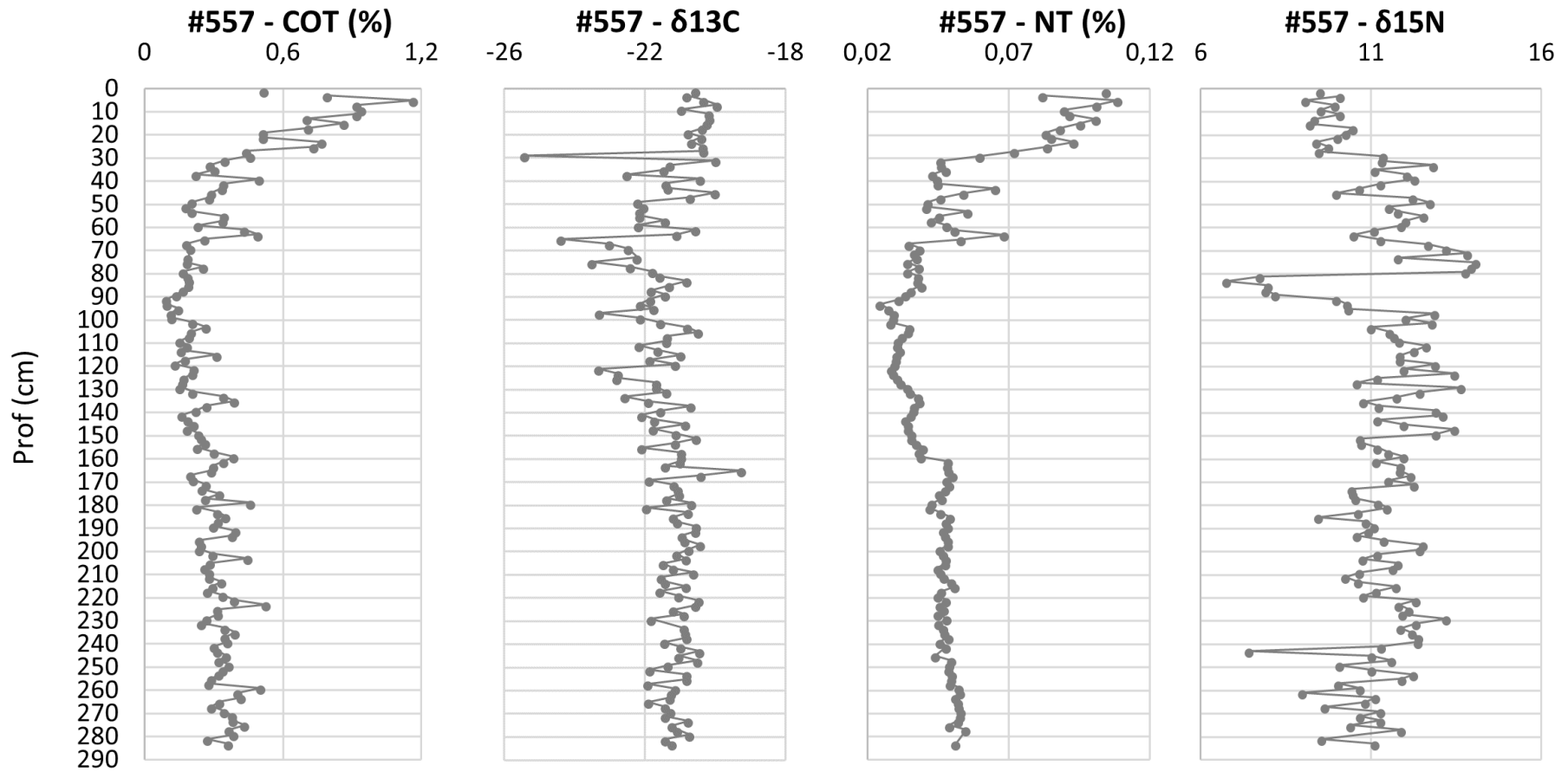


Figura 6 - Perfis verticais de Carbono Orgânico Total (COT),  $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total (NT), e  $\delta^{15}\text{N}$  no testemunho #564

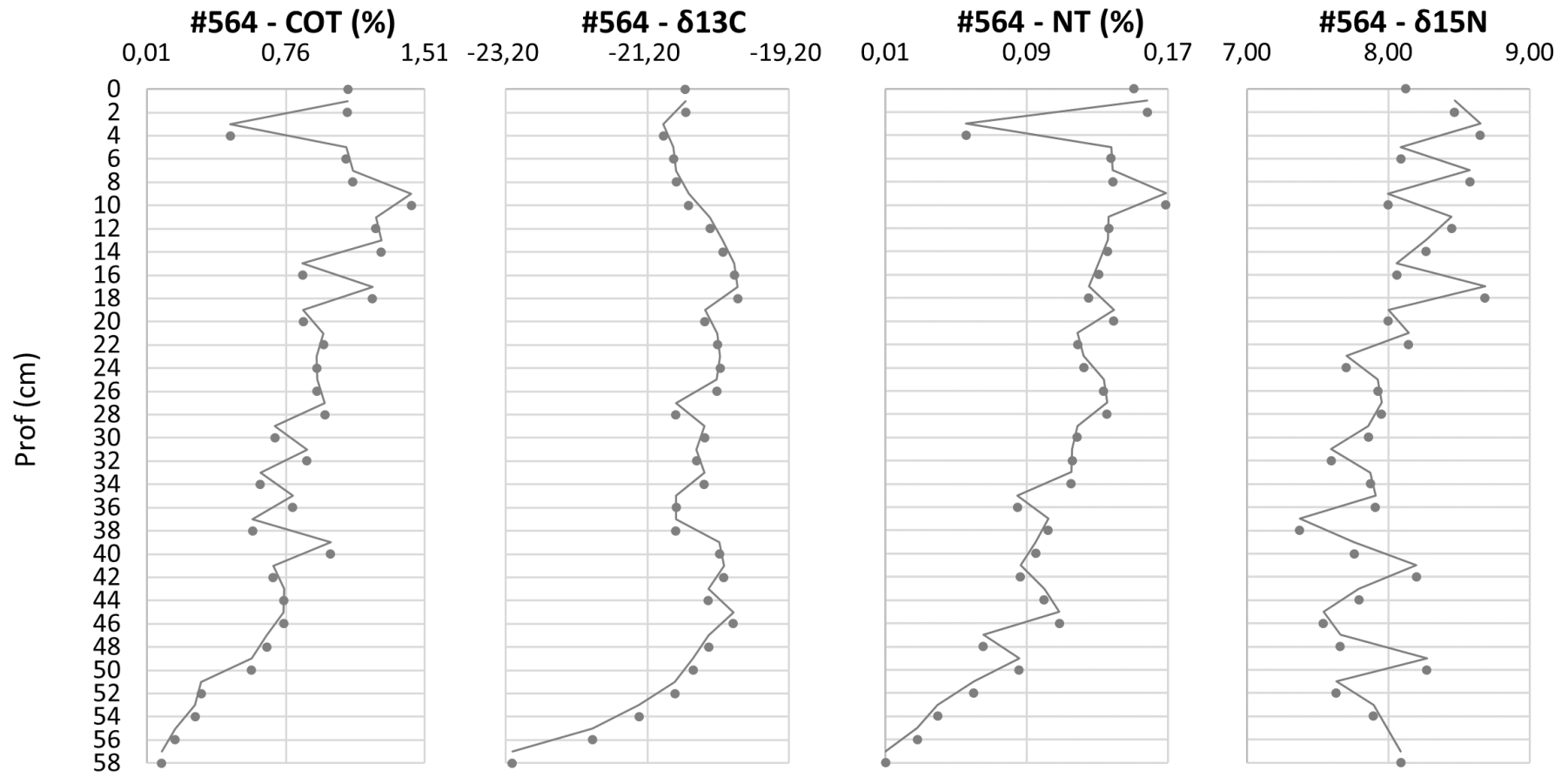
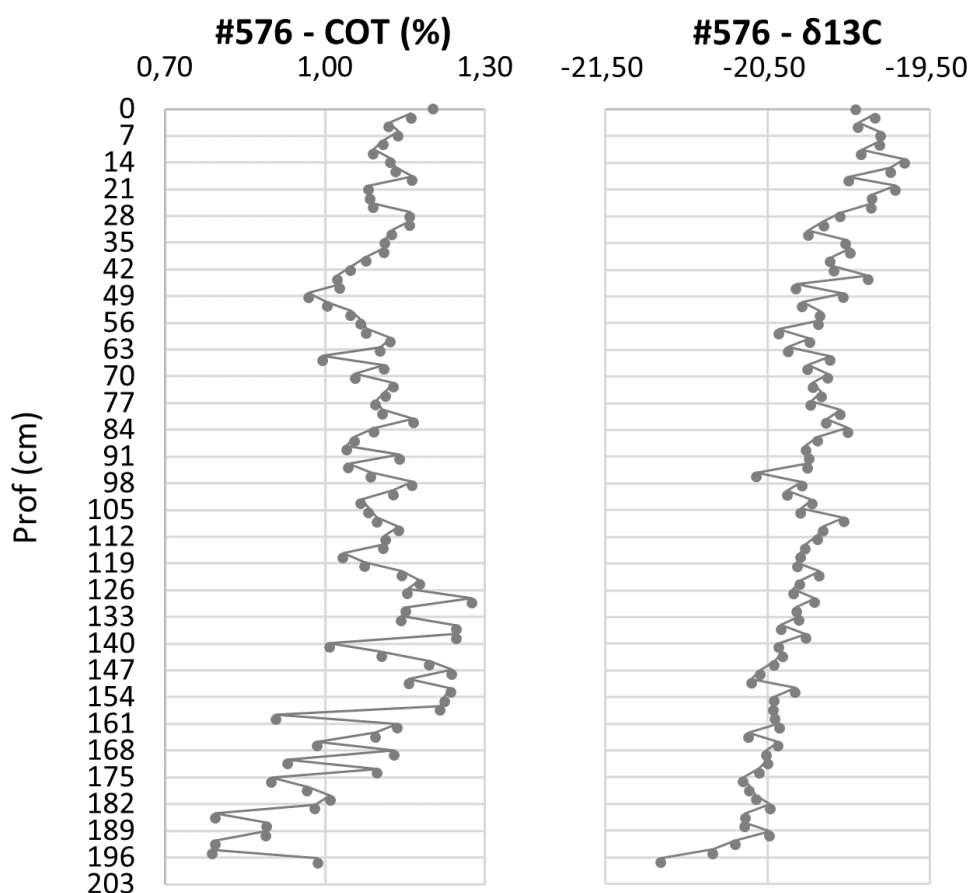




Figura 7 - Perfis verticais de Carbono Orgânico Total (COT),  $\delta^{13}\text{C}$ , Nitrogênio Total (NT), e  $\delta^{15}\text{N}$  no testemunho #576



### 5.3. Níveis de metais

A análise por ICP-OES permitiu a quantificação de Al, As, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sc, Sr, Ti, V e Zn. O ANEXO C reúne todos os resultados obtidos nesta análise. A Tabela 8 apresenta os parâmetros descritivos dos teores obtidos de Al, As, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Ni, Pb, Sr, V e Zn, em cada testemunho e as Figura 8 a 10 apresentam os perfis verticais das concentrações desses elementos.

De modo geral, alguns elementos terrígenos do #557, como Cr, Ni e Pb, apresentaram tendência de estabilidade enquanto outros, como Al, Fe e K, tendem a diminuir da base do testemunho até cerca de 100 cm de profundidade, onde um aumento se iniciou em direção ao topo. Ca e Sr apresentaram uma tendência contínua de diminuição a partir da base. O #564, apesar de ser o testemunho mais curto, apresentou os maiores coeficientes de variação, indicando a maior dispersão dos dados e uma coluna sedimentar mais heterogênea. Os perfis verticais também

demonstraram uma grande variação da base para o topo desse testemunho, com uma tendência significativa de aumento dos elementos de origem predominantemente terrígena. O #576 apresentou as maiores concentrações na maioria dos metais e seus baixos CV indicam que a coluna sedimentar é mais homogênea. Com exceção de K e V, que permaneceram constantes por todo o perfil sedimentar, elementos terrígenos apresentaram concentrações estáveis da base até cerca de 126 cm, seguidas por uma leve tendência de aumento até o topo. O oposto foi observado nos perfis de Ca e Sr, com uma tendência de aumento até 126 cm, seguida por uma diminuição até o topo.

Tabela 8 - Parâmetros descritivos (mg kg<sup>-1</sup>) dos elementos analisados por ICP-OES em cada testemunho

		Al	As	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Ni	Pb	Sr	V	Zn
<b>557</b>	Min	18161	2	8472	11	7	14622	4143	6	4	51	32	29
	Máx	42431	8	24971	27	16	35430	11684	17	11	147	59	64
	Média	31399	5	17456	19	11	26073	7876	11	8	94	47	50
	SD	6339	1	3523	3	2	4587	2297	2	1	20	7	9
	CV	20	24	20	16	16	18	29	18	16	21	14	17
<b>564</b>	Min	8884	3	6472	8	4	9247	2528	5	4	45	15	20
	Máx	49393	8	38904	34	23	40649	9469	20	15	276	61	77
	Média	36142	6	12150	25	16	30616	7064	15	11	80	46	60
	SD	11128	1	8494	7	5	8480	1825	4	3	57	12	15
	CV	31	21	70	28	33	28	26	29	28	72	27	26
<b>576</b>	Min	37025	3	14760	29	12	33351	10551	17	9	88	55	63
	Máx	63907	7	26258	38	19	46509	14053	23	13	136	66	89
	Média	50232	5	19474	33	15	40177	12252	20	11	106	61	74
	SD	8154	1	2971	2	2	3782	689	2	1	11	2	6
	CV	16	18	15	7	14	9	6	9	9	11	4	8

Figura 8 - Perfis verticais dos elementos (mg kg<sup>-1</sup>) analisados por ICP-OES no testemunho #557

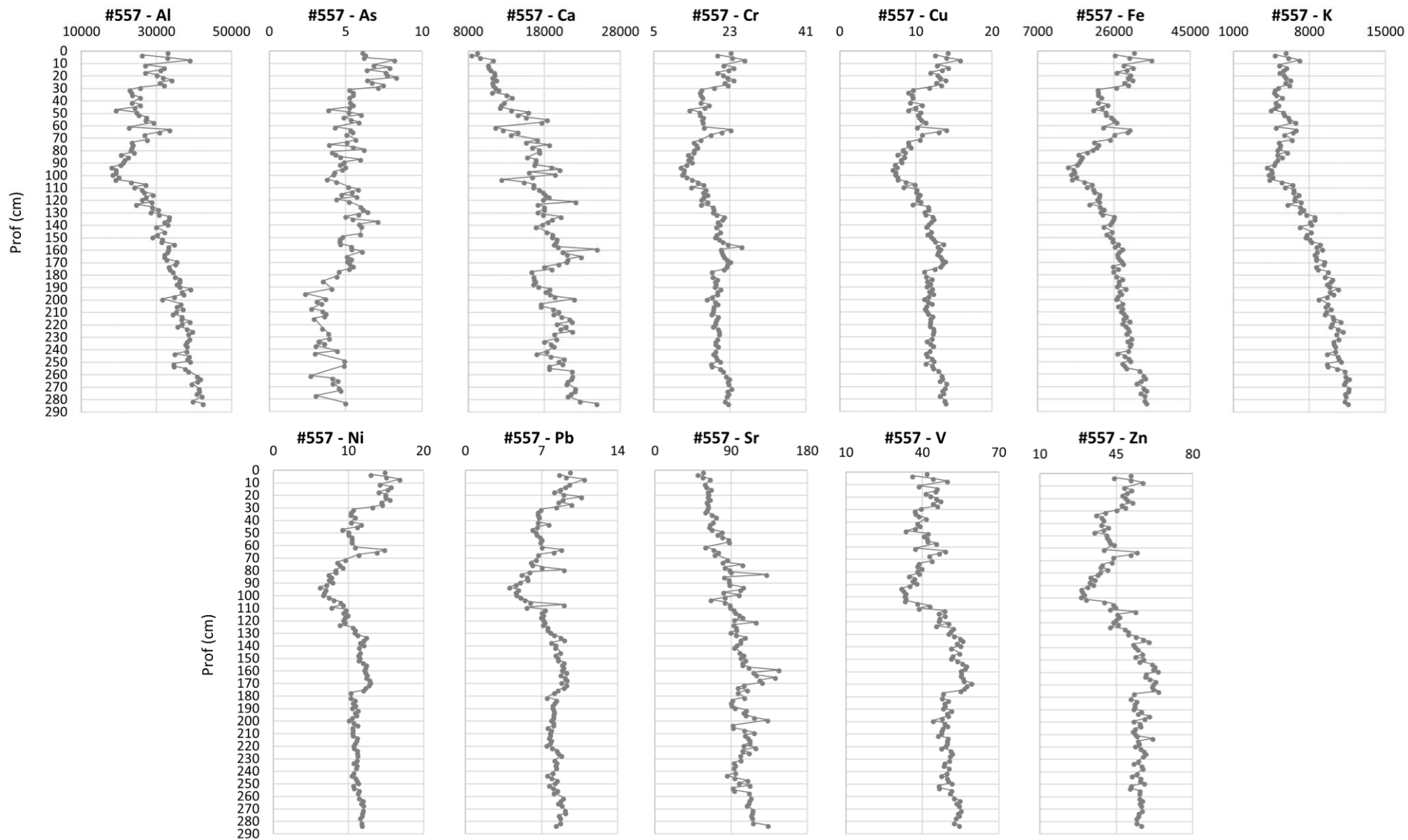


Figura 9 -Perfis verticais dos elementos (mg kg<sup>-1</sup>) analisados por ICP-OES no testemunho #564

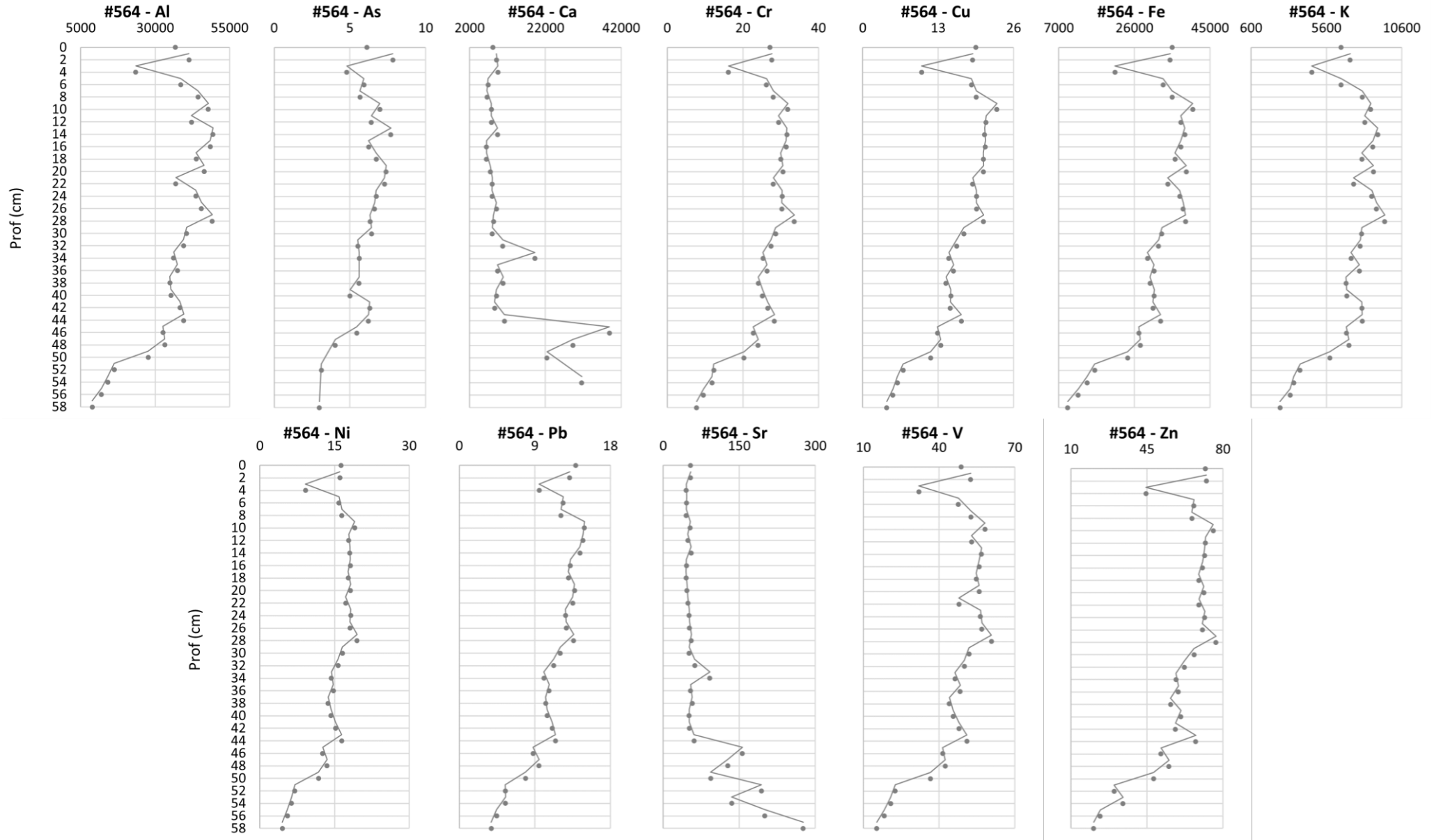
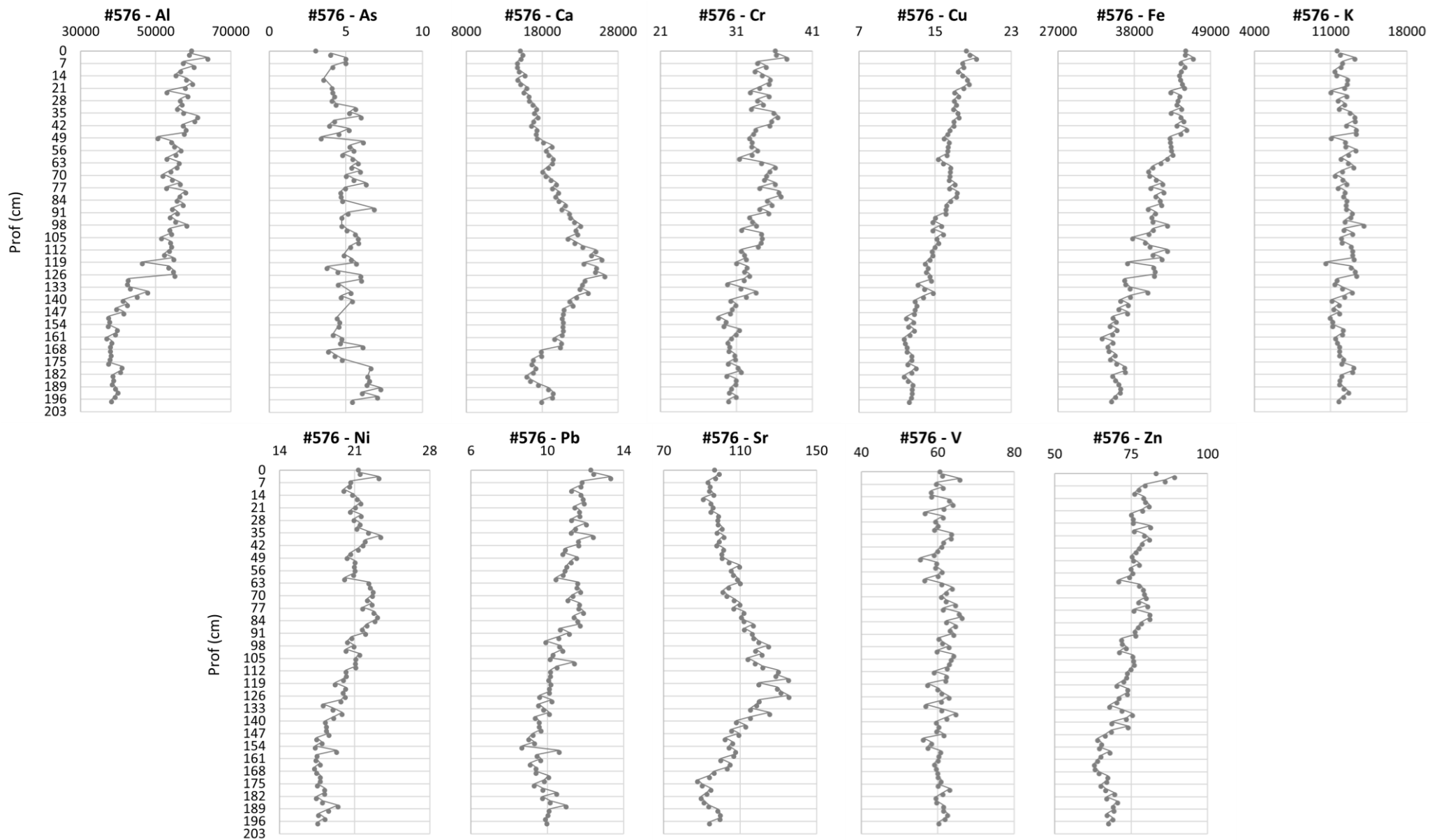


Figura 10 - Perfis verticais dos elementos (mg kg<sup>-1</sup>) analisados por ICP-OES no testemunho #576



### 5.3.1. Controle de qualidade

Os resultados das análises dos materiais de referência, média, intervalo de confiança, coeficiente de variação (CV) e recuperação obtidos, estão disponíveis nas Tabelas 9 e 10, sendo as colunas em cinza referentes aos valores certificados. Todas as médias e a maioria dos intervalos de confiança das leituras estiveram dentro dos limites de aceitação e intervalos de tolerância certificados. As recuperações obtidas variaram entre 74 e 111% para o MRC SQC001 e entre 89 e 121% para o SS-2-2, demonstrando a acurácia do método para todos os elementos em estudo. A precisão da técnica foi atestada pelos valores de coeficiente de variação, menores que 14% para os elementos nos dois materiais. Os resultados dos brancos de reagentes indicaram ausência de contaminação por metais em qualquer etapa da metodologia.

A Tabela 11 apresenta os resultados de limite de detecção e quantificação do método. As concentrações de metais obtidas nas amostras dos três testemunhos foram maiores que seus respectivos LQM.

Tabela 9 – Resultados das análises do material de referência certificado (MRC) SQC001 (média (mg kg<sup>-1</sup>), intervalo de confiança (mg kg<sup>-1</sup>), coeficiente de variação (CV) (%), recuperação (%), valor certificado (mg kg<sup>-1</sup>) e limite de aceitação (mg kg<sup>-1</sup>)) (n=5)

	<b>Média</b>	<b>Intervalo de confiança</b>	<b>CV (%)</b>	<b>Recuperação (%)</b>	<b>Valor certificado</b>	<b>Limite de aceitação</b>
Al	3445	2672-4218	14	97	3540	2320-4760
As	47	41-52	9	89	52	22,4-88,2
Ba	155	136-174	10	107	145	100-190
Ca	-	-	-	-	-	-
Cr	73	65-80	8	82	89	59,2-118
Cu	49	45-53	7	77	64	46,7-81,3
Fe	3327	2822-3831	12	105	3180	627-5730
K	1299	1093-1505	13	88	1480	785-2170
Mg	9884	9008-10761	7	111	8920	6680-11200
Mn	217	193-242	9	107	204	146-262
Ni	74	57-90	14	85	87	62,6-112
P	-	-	-	-	-	-
Pb	57	49-66	12	74	78	53,6-102
Sr	3513	3044-3983	11	78	4520	3220-5820
Ti	131	124-139	5	95	138	75,9-200
V	69	63-74	6	84	82	51-113
Zn	110	98-122	9	81	136	91,4-181

Tabela 10 - Resultados das análises do material de referência certificado (MRC) SS-2-2 (média (mg kg<sup>-1</sup>), intervalo de confiança (mg kg<sup>-1</sup>), coeficiente de variação (CV) (%), recuperação (%), valor certificado (mg kg<sup>-1</sup>) e intervalo de tolerância (mg kg<sup>-1</sup>)) (n=5)

	<b>Média</b>	<b>Intervalo de confiança</b>	<b>CV (%)</b>	<b>Recuperação (%)</b>	<b>Valor certificado</b>	<b>Intervalo de tolerância</b>
Al	10368	9402-11333	8	109	9548	7060-12036
As	-	-	-	-	3	1,77-4,98
Ba	118	113-124	4	118	100	80-119
Ca	35448	33978-36918	3	114	31082	26317-35847
Cr	107	96-118	8	115	93	54,2-131
Cu	123	117-130	4	103	120	99-141
Fe	23046	22327-23764	3	100	23083	17888-28278
K	1525	1259-1792	14	91	1671	907-2435
Mg	-	-	-	-	5132	3798-6467
Mn	295	280-310	4	117	252	191-313
Ni	24	23-24	2	94	25	19,6-30,6
P	708	646-769	7	94	752	614-891
Pb	218	210-225	3	89	244	192-297
Sr	97	81-113	13	121	80	60-99
Ti	861	733-988	12	-	-	-
V	32	30-34	5	106	30	23,7-36,3
Zn	266	234-297	10	94	281	220-342

Tabela 11 - Limites de detecção (LDM) e quantificação (LQM) do método (mg kg<sup>-1</sup>) para cada elemento

	<b>LDM</b>	<b>LQM</b>
Al	0,37	1,10
As	0,66	1,97
Ca	5,21	15,65
Cr	0,07	0,20
Cu	0,17	0,51
Fe	0,10	0,30
K	0,40	1,20
Ni	0,17	0,50
Pb	0,32	0,96
Sr	0,13	0,39
Ti	0,07	0,22



V	0,07	0,22
Zn	0,74	2,23

---

## 5.4. Geocronologia

### 5.4.1. Modelo obtido com $^{210}\text{Pb}$

De acordo com os modelos obtidos na geocronologia com  $^{210}\text{Pb}$ , a Figura 11 apresenta a relação profundidade (cm) e ano de deposição do testemunho #564 e topo do #557 e #576. A notação da era comum (anos d.C.) foi utilizada a fim de facilitar a discussão acerca das variações ambientais ocorridas no Antropoceno. As taxas de sedimentação média obtidas por esse modelo foram de  $0,86 \text{ cm ano}^{-1}$  para o testemunho #557,  $0,47 \text{ cm ano}^{-1}$  para o #564 e  $0,31 \text{ cm ano}^{-1}$  para o #576. A Figura 12 apresenta as atividades de  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) pela profundidade (cm) dos testemunhos. As camadas onde foram observados os máximos valores, marcadas em vermelho, corresponderam ao ano de 1963 obtido com  $^{210}\text{Pb}$  (Figura 11), indicando que a validação do modelo CRS com o *fallout* do  $^{137}\text{Cs}$  para o Hemisfério Sul foi efetiva.

Figura 11 - Relação profundidade (cm) e ano de deposição obtidos na geocronologia com  $^{210}\text{Pb}$  para o testemunho #564 e topo do #557 e #576. Ano 1963 marcado em vermelho

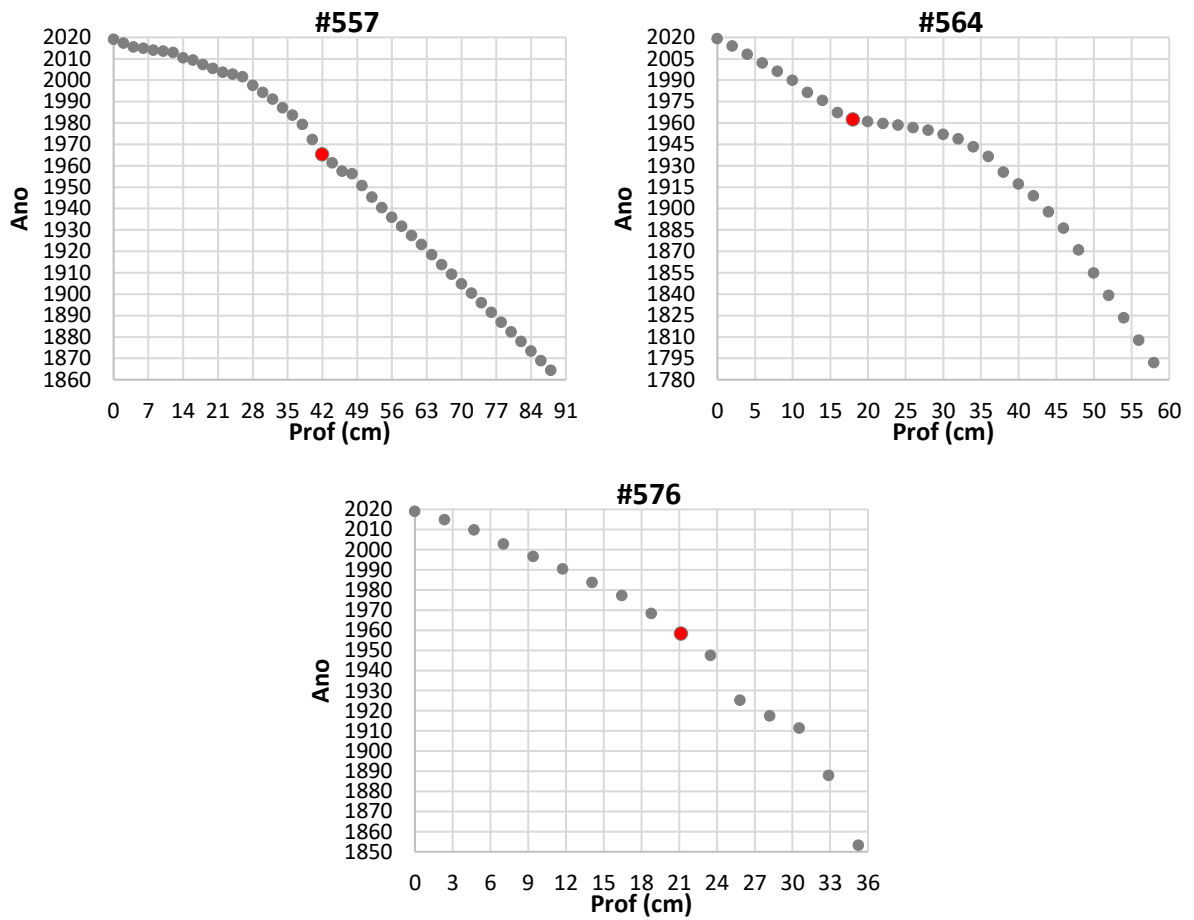
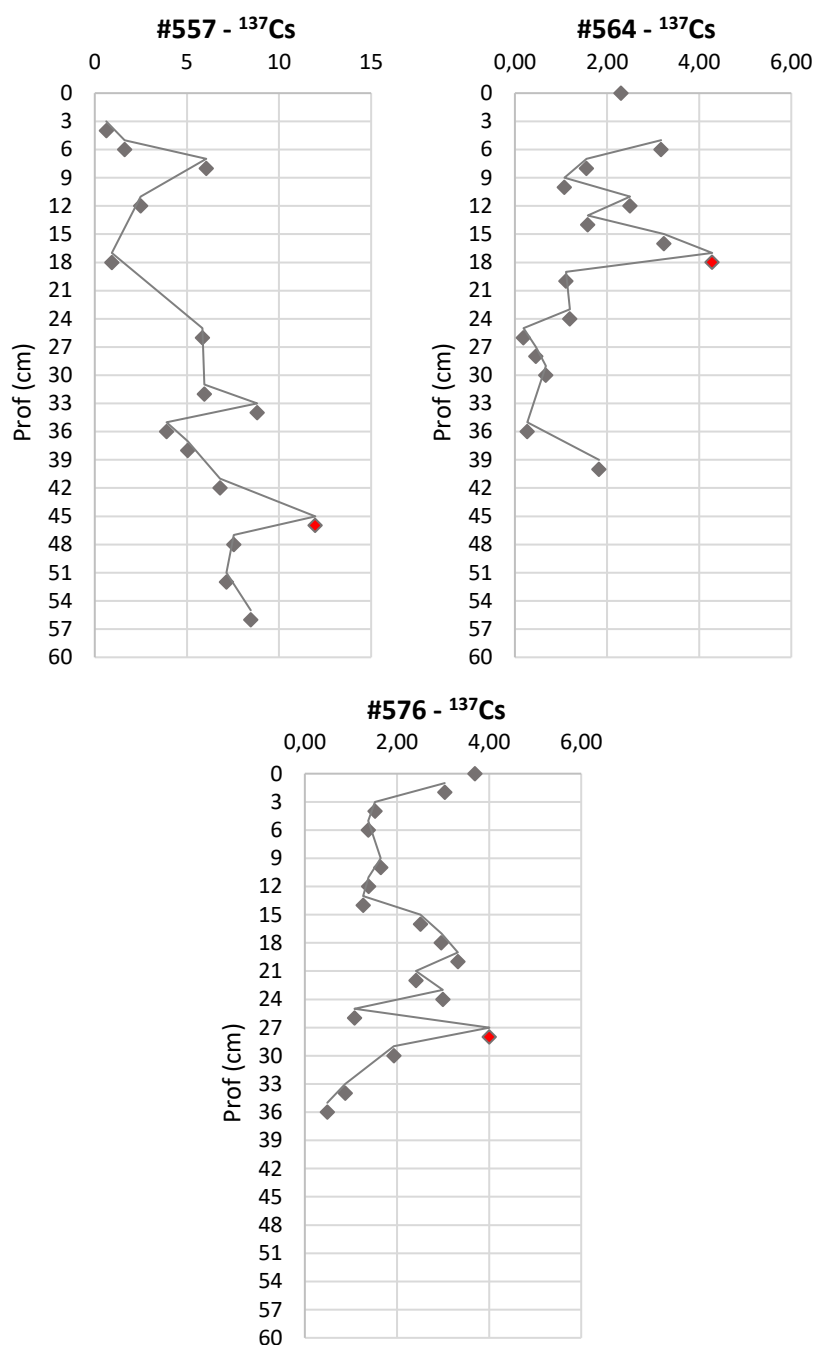


Figura 12 - Perfis verticais das atividades de  $^{137}\text{Cs}$  (Bq kg $^{-1}$ ) dos testemunhos #557, #564 e #576, com o pico de máxima intensidade marcado em vermelho

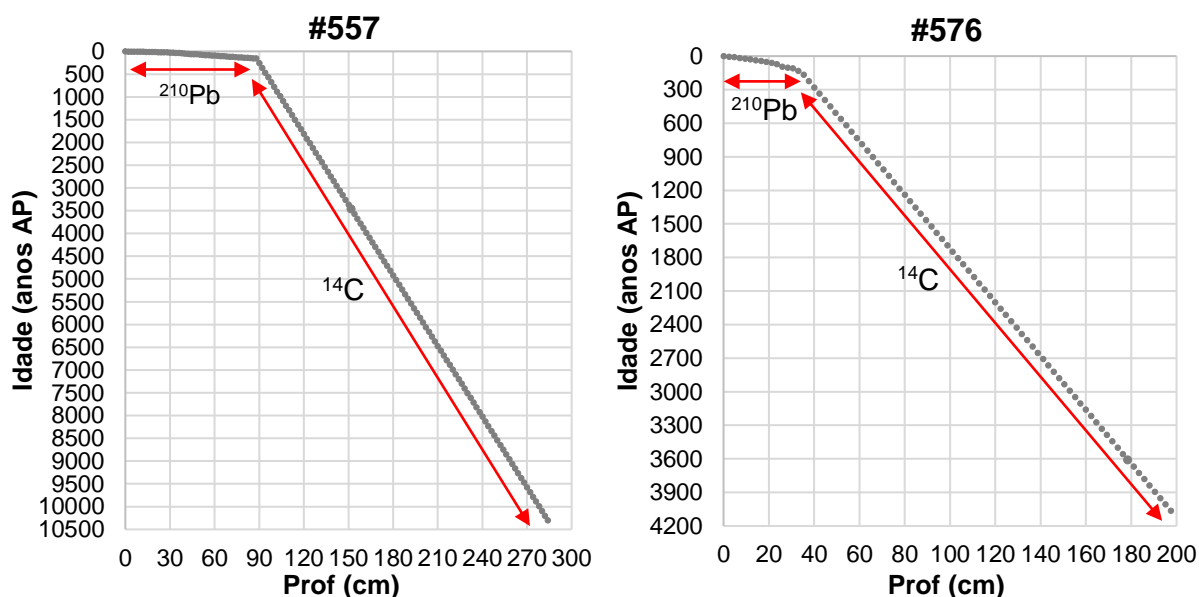


#### 5.4.2. Modelo obtido com $^{14}\text{C}$ e $^{210}\text{Pb}$

O ANEXO D apresenta a relação profundidade (cm) e idade (anos antes do presente) de cada camada dos testemunhos #557 e #576, de acordo com os modelos obtidos pela geocronologia com  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{14}\text{C}$ , e a Figura 13 apresenta graficamente os resultados dos modelos. Foi utilizado como referência para a notação o ano 2019 (zero), quando os testemunhos foram coletados. As taxas de

sedimentação média obtidas para o período datado por  $^{14}\text{C}$  foram de  $0,0193 \text{ cm ano}^{-1}$  para o testemunho #557 (259 a 10300 anos AP) e  $0,0416 \text{ cm ano}^{-1}$  para o #576 (222 a 4063 anos AP).

Figura 13 - Relação profundidade (cm) e idade (anos AP) obtidos na geocronologia com  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{14}\text{C}$  para os testemunhos #557 e #576

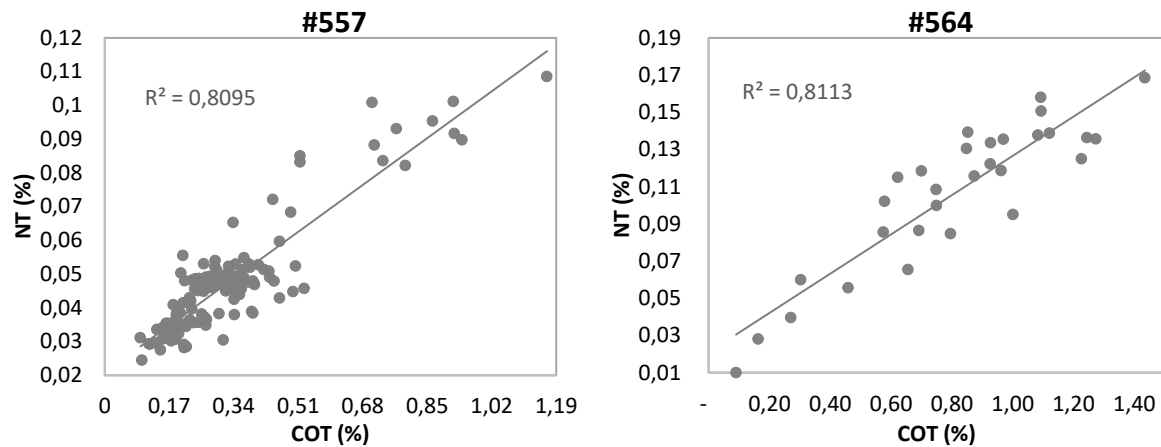


## 6. DISCUSSÃO

### 6.1. Atributos geoquímicos e origem do material orgânico sedimentar

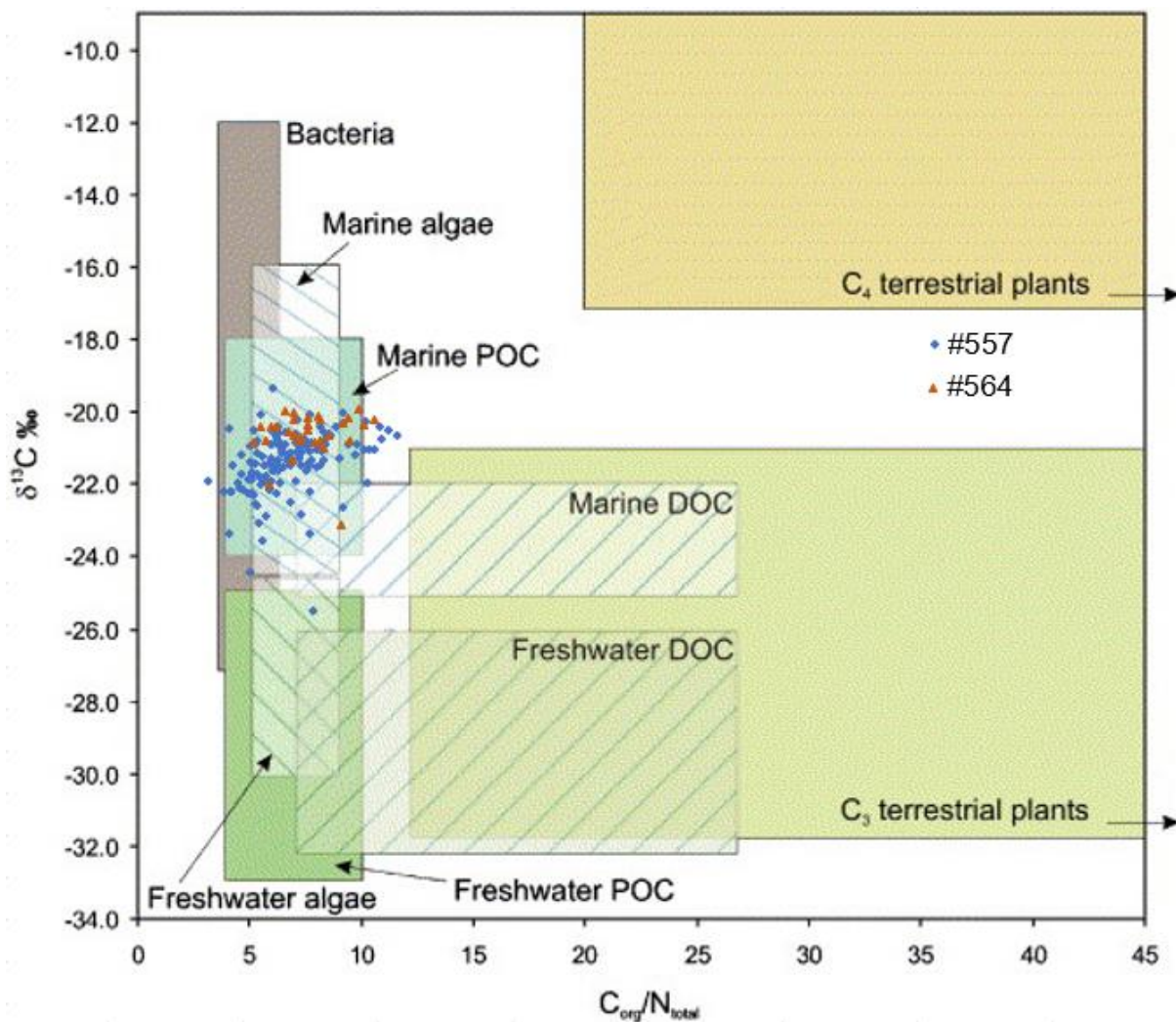
O carbono e nitrogênio orgânico são indicativos da matéria orgânica, uma vez que são importantes constituintes desses compostos em ambientes marinhos e terrestres (BIDDANDA; BENNER, 1997; CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1994). Os valores de NT podem ser representativos da sua fração orgânica se apresentarem uma correlação forte e positiva com o COT, o que indicaria uma baixa contribuição do nitrogênio inorgânico. A Figura 14 apresenta a correlação linear do conteúdo de COT x NT dos testemunhos #557 e #564. As altas e significativas correlações encontradas ( $r^2 > 0,81$ ;  $p < 0,05$ ) e baixos teores de NT quando o COT se anula representam uma natureza principalmente orgânica do nitrogênio nesses testemunhos (GOÑI; RUTTENBERG; EGLINTON, 1998).

Figura 14 - Correlação linear entre COT e NT (%) nos testemunhos #557 e #564



Resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  e razões C/N dos testemunhos #557 e #564, obtidas a partir dos dados de C orgânico e N total, foram comparados e sobrepostos ao modelo desenvolvido por Lamb, Wilson e Leng (2006), a fim de se estimar a origem da matéria orgânica (Figura 15). A matéria orgânica dos dois testemunhos tem origem predominantemente marinha, principalmente de carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico dissolvido (COD) e algas marinhas. As Figuras 16 e 17, que apresentam os perfis verticais das razões C/N e  $\delta^{13}\text{C}$  pela idade dos testemunhos, indicam que ao longo do período estudado esses parâmetros permaneceram relativamente constantes, não mostrando variações nas fontes de matéria orgânica.

Figura 15 – Relação C/N e  $\delta^{13}\text{C}$  para estimativa da origem da matéria orgânica dos testemunhos #557 (pontos em azul) e #564 (pontos em laranja) de acordo com modelo obtido por Lamb, Wilson e Leng (2006). POC: Carbono Orgânico Particulado; DOC: Carbono Orgânico Dissolvido



Fonte: Baseado no modelo de Lamb, Wilson e Leng (2006).

Figura 16 - Perfis verticais de  $\delta^{13}\text{C}$  e razão COT/NT pela idade do testemunho #557

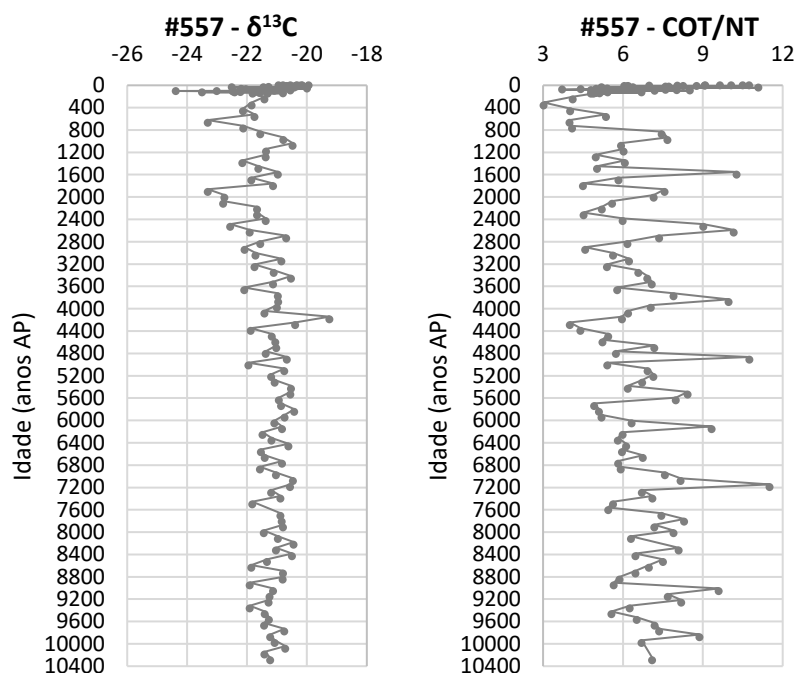
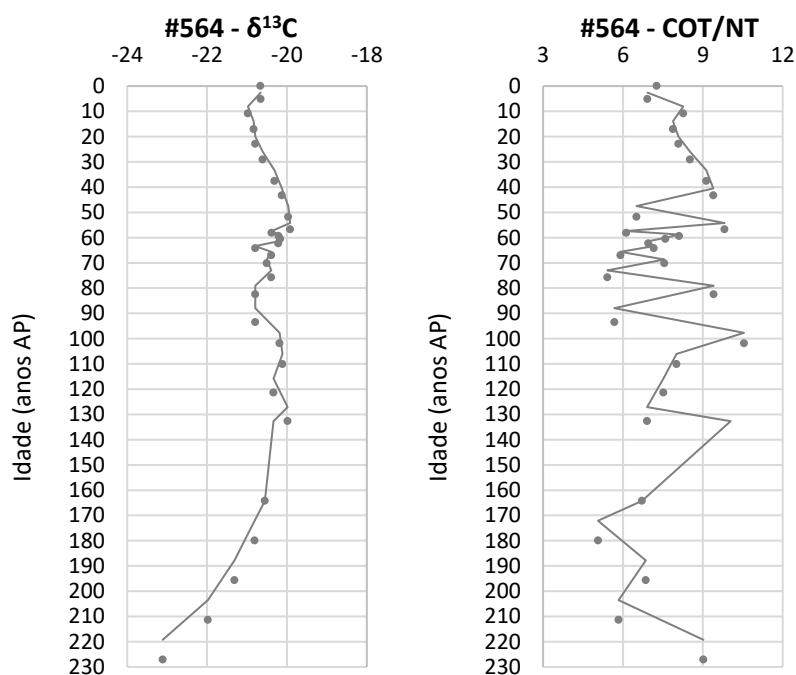


Figura 17 - Perfis verticais de  $\delta^{13}\text{C}$  e razão COT/NT pela idade do testemunho #564



A retenção de metais em sedimentos é afetada, entre outros fatores, pelo teor de finos e matéria orgânica (MO), uma vez que estes influenciam a capacidade de adsorção de elementos (BASTAMI et al., 2015; CZIKKELY et al., 2018; FUKUE et al., 2006). Desta forma, a determinação destes parâmetros também foi realizada

com o propósito de complementar e auxiliar a interpretação dos resultados de metais obtidos. As Tabelas 12 a 14 apresentam as matrizes de correlação de Pearson entre metais, teor de finos, COT e NT nos três testemunhos.

Correlações altas e significativas foram encontradas entre os elementos associados a argilominerais e materiais terrígenos, teor de finos, COT e NT nos testemunhos #557 e #564. Uma vez que a origem da matéria orgânica para a região é principalmente marinha (Figura 15), a adsorção dos metais aos compostos orgânicos pode ter ocorrido principalmente *in situ*, após o transporte de material continental particulado e dissolvido para a região. O perfil constante do teor de finos ao longo do testemunho #576 (Figura 3) pode ter ocasionado a sua baixa correlação com os metais terrígenos. Cálcio e Sr, relacionados principalmente a carbonatos marinhos, apresentaram alta correlação entre si e baixa com os demais parâmetros nos três testemunhos.

Tabela 12 - Matriz de correlação de Pearson entre metais, teor de finos, COT e NT no testemunho #557

#557	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Ni	Pb	Sr	V	Zn	Finos	COT	NT
<b>Al</b>														
<b>Ca</b>	0,48													
<b>Cr</b>	0,80	0,12*												
<b>Cu</b>	0,81	0,15*	0,97											
<b>Fe</b>	0,90	0,21	0,87	0,91										
<b>K</b>	0,94	0,71	0,60	0,62	0,74									
<b>Ni</b>	0,53	-0,28	0,89	0,88	0,75	0,23								
<b>Pb</b>	0,72	0,07*	0,92	0,90	0,81	0,53	0,85							
<b>Sr</b>	0,46	0,96	0,16*	0,18	0,20	0,66	-0,21	0,12*						
<b>V</b>	0,81	0,59	0,79	0,78	0,67	0,79	0,50	0,72	0,59					
<b>Zn</b>	0,86	0,45	0,85	0,85	0,77	0,80	0,62	0,81	0,48	0,92				
<b>Finos</b>	0,84	0,68	0,53	0,56	0,65	0,93	0,20	0,49	0,64	0,78	0,80			
<b>COT</b>	0,29	-0,47	0,56	0,56	0,53	0,01*	0,74	0,54	-0,41	0,05*	0,24	-0,04*		
<b>NT</b>	0,29	-0,53	0,58	0,59	0,57	0,00*	0,80	0,55	-0,45	0,04*	0,23	-0,07*	0,90	

\*p>0,05



Tabela 13 - Matriz de correlação de Pearson entre metais, teor de finos, COT e NT no testemunho #564

#564	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Ni	Pb	Sr	V	Zn	Finos	COT	NT
<b>Al</b>														
<b>Ca</b>	-0,63													
<b>Cr</b>	0,99	-0,63												
<b>Cu</b>	0,97	-0,70	0,97											
<b>Fe</b>	0,98	-0,68	0,99	0,99										
<b>K</b>	0,98	-0,52	0,98	0,92	0,95									
<b>Ni</b>	0,98	-0,66	1,00	0,98	0,99	0,97								
<b>Pb</b>	0,94	-0,75	0,95	0,98	0,97	0,89	0,96							
<b>Sr</b>	-0,83	0,99	-0,84	-0,83	-0,85	-0,79	-0,83	-0,86						
<b>V</b>	0,99	-0,66	1,00	0,97	0,99	0,98	0,99	0,95	-0,84					
<b>Zn</b>	0,96	-0,70	0,98	0,98	0,99	0,93	0,99	0,98	-0,87	0,98				
<b>Finos</b>	0,92	-0,64	0,93	0,95	0,95	0,88	0,94	0,94	-0,80	0,93	0,95			
<b>COT</b>	0,86	-0,55	0,86	0,92	0,90	0,79	0,88	0,91	-0,75	0,86	0,89	0,89		
<b>NT</b>	0,89	-0,53	0,89	0,94	0,92	0,82	0,90	0,92	-0,75	0,89	0,92	0,93	0,90	

\*p>0,05

Tabela 14 - Matriz de correlação de Pearson entre metais, teor de finos e COT no testemunho #576

#576	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Ni	Pb	Sr	V	Zn	Finos	COT
<b>Al</b>													
<b>Ca</b>	-0,17*												
<b>Cr</b>	0,88	-0,29											
<b>Cu</b>	0,93	-0,4	0,91										
<b>Fe</b>	0,95	-0,33	0,79	0,94									
<b>K</b>	0,47	0,16*	0,41	0,27	0,39								
<b>Ni</b>	0,9	-0,15*	0,94	0,89	0,81	0,4							
<b>Pb</b>	0,81	-0,53	0,87	0,9	0,81	0,22	0,84						
<b>Sr</b>	0,18*	0,93	0,01*	-0,07*	0,01*	0,32	0,14*	-0,25					
<b>V</b>	0,36	0,09*	0,6	0,32	0,18*	0,59	0,51	0,33	0,19*				
<b>Zn</b>	0,88	-0,31	0,93	0,93	0,85	0,31	0,9	0,89	-0,01*	0,44			
<b>Finos</b>	0,51	-0,13*	0,44	0,59	0,52	0,00*	0,41	0,42	0,06*	0,09*	0,53		
<b>COT</b>	0,28	0,24	0,23	0,28	0,24	-0,05*	0,25	0,09*	0,35	0,05*	0,23	0,32	

\*p>0,05

## **6.2. Variações ambientais no Holoceno**

Neste capítulo, para a avaliação das variações ambientais ao longo do Holoceno, serão utilizados os dados de metais e As, finos, COT e NT obtidos da base dos testemunhos #557 e #576 até 200 anos AP.

### **6.2.1. Avaliação das mudanças no clima continental e aporte terrígeno para a plataforma Sul do Brasil nos últimos, aproximadamente, 11 mil anos**

Análises de componentes principais foram realizadas para cada testemunho, utilizando os dados de metais e As, teor de finos, COT e NT. Com esta análise foi possível identificar quanto cada elemento e parâmetro se correlaciona com as componentes e a contribuição de cada CP na explicação da variância total dos dados originais em cada testemunho. Também são apresentados os perfis verticais dos escores das primeiras componentes, indicando como essas variaram ao longo de cada testemunho, e os perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K.

#### **6.2.1.1. Testemunho #557**

Com o testemunho #557, localizado mais ao sul da área de estudo, foi possível verificar variações ao longo de quase todo o Holoceno, uma vez que este corresponde aos últimos 10300 anos AP.

Na ACP a segunda componente (CP 2, Figura 18), responsável por explicar 12,1% da variância dos dados, esteve correlacionada apenas com o As, e negativamente com teor de finos. O As é um metalóide presente no ambiente em rochas, solos, poeira, água, ar e tecidos biológicos, mas normalmente em baixas concentrações (THORNTON; FARAGO, 1997). É o principal constituinte de mais de 200 espécies minerais, incluindo arsenatos, arsenitos, sulfetos, sulfossais, óxidos e silicatos (THORNTON; FARAGO, 1997). Normalmente é relacionado ao silício, uma vez que devido à semelhança de seus raios iônicos, o  $As^{3+}$  e  $As^{5+}$  podem substituir o  $Si^{4+}$  em minerais como quartzo (ONISHI; SANDELL, 1955). Considerando a predominância de silicatos como quartzo na areia (DA SILVA, 1979; GARZANTI et al., 2021), a separação apenas do As na segunda componente pode evidenciar a sua associação a esses minerais e a relevância dessa fração granulométrica. Esse

foi o testemunho que apresentou os maiores teores de areia, variando entre 13 e 77% no período estudado (Figura 19).

A CP 3 correlacionou-se apenas com Ca e Sr, mostrando que uma importante porcentagem da variância dos dados desses testemunhos (8,2%) é explicada por uma componente relacionada a elementos de origem marinha.

A primeira componente (CP 1), responsável por explicar a maior porcentagem da variância dos dados (69,8%) esteve fortemente correlacionada com elementos terrígenos, como Al, Cr, Cu, Fe, K, Ni, Pb, V e Zn, e teor de finos. Essa componente indica a influência dominante de sedimentos e minerais de origem continental na região, como óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio e argilominerais (CALVERT; PEDERSEN, 2007). O perfil vertical dos escores dessa componente (Figura 1920) se manteve constante de 10300 até aproximadamente 5000 anos AP, quando uma diminuição foi observada.

Figura 18 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1, 2 e 3, geradas no testemunho #557 (*Loading Plot*)

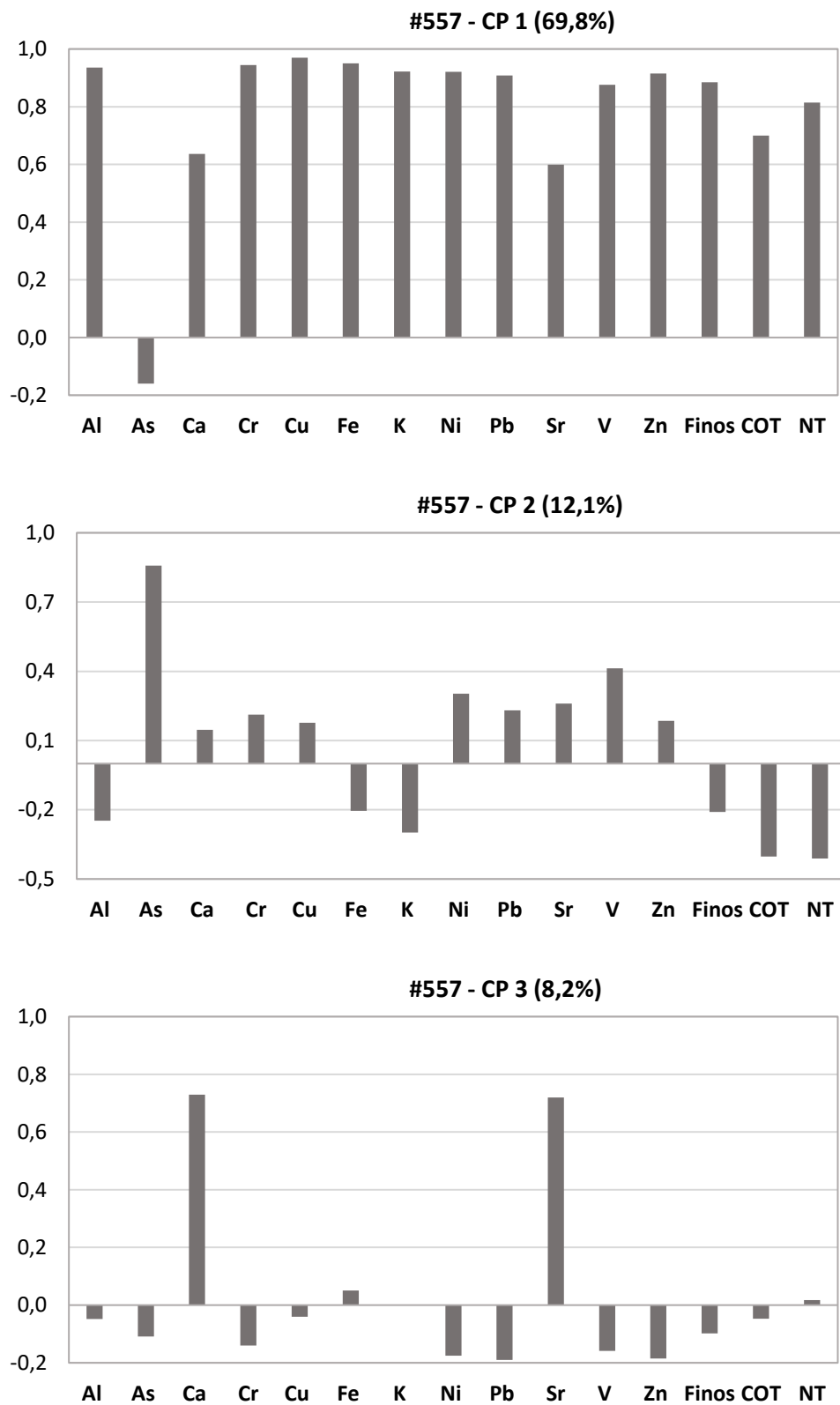


Figura 19 - Perfil vertical do teor de areia no testemunho #557

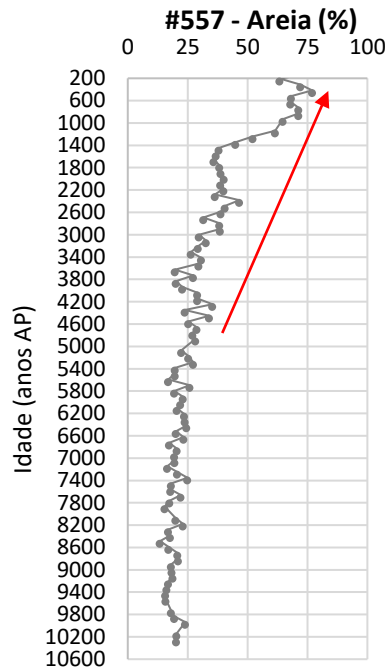
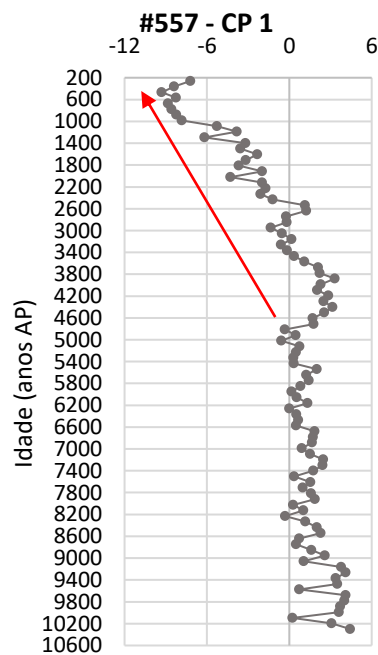


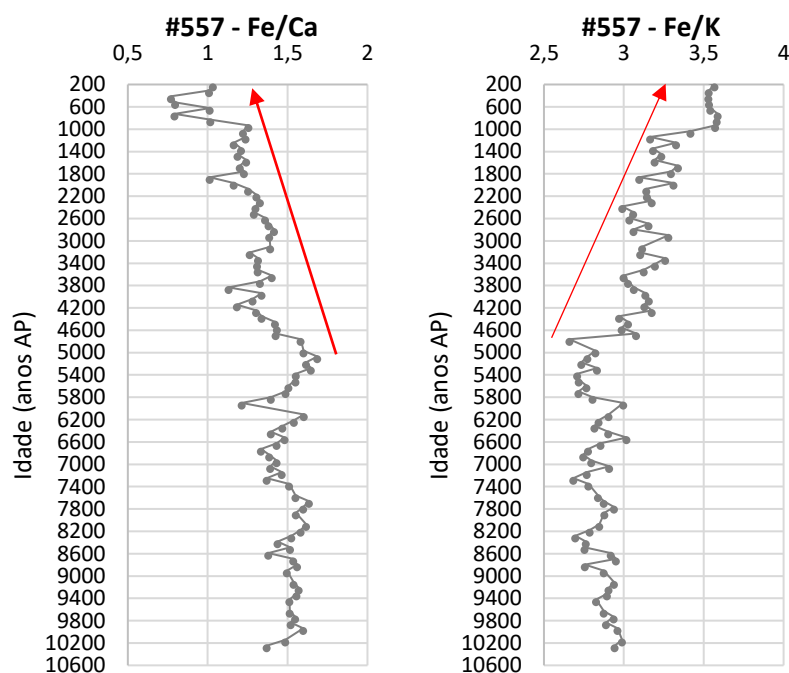
Figura 20 - Perfil vertical dos escores da CP 1 do testemunho #557



A Figura 21 apresenta os perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K. Após um período de aporte terrígeno relativamente constante desde 10300 anos AP, representado pela estabilidade de ambas razões, uma variação foi observada após 5000 anos AP. Uma diminuição contínua na razão Fe/Ca teve início, em

concordância com os escores da CP 1. O perfil vertical dos teores de areia teve um aumento neste período, sugerindo que as variações na razão Fe/Ca e na CP 1 não estão, necessariamente, ligadas a um menor aporte terrígeno na região, mas podem ser resultantes de uma menor assimilação e adsorção de metais aos sedimentos, devido ao aumento do tamanho da partícula. Perez et al. (2018) analisaram diferentes razões de elementos em sedimentos da plataforma uruguaia, e verificaram que a razão Fe/K, em comparação com a Fe/Ca, possibilitou melhores inferências acerca de oscilações climáticas e variações no aporte terrígeno proveniente da descarga do Rio de La Plata.

Figura 21 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K pela idade do testemunho #557



As razões Fe/K, diferente da Fe/Ca e dos escores da CP 1, aumentaram a partir de 5000 anos AP, indicando uma intensificação do intemperismo químico e maior entrada de material continental. Bicego et al. (2022) também encontraram na região do Cabo de Santa Marta, plataforma Sul do Brasil, um aumento na entrada de sedimentos terrígenos após 5200 anos AP, com um máximo sendo atingido após 2800 anos AP.

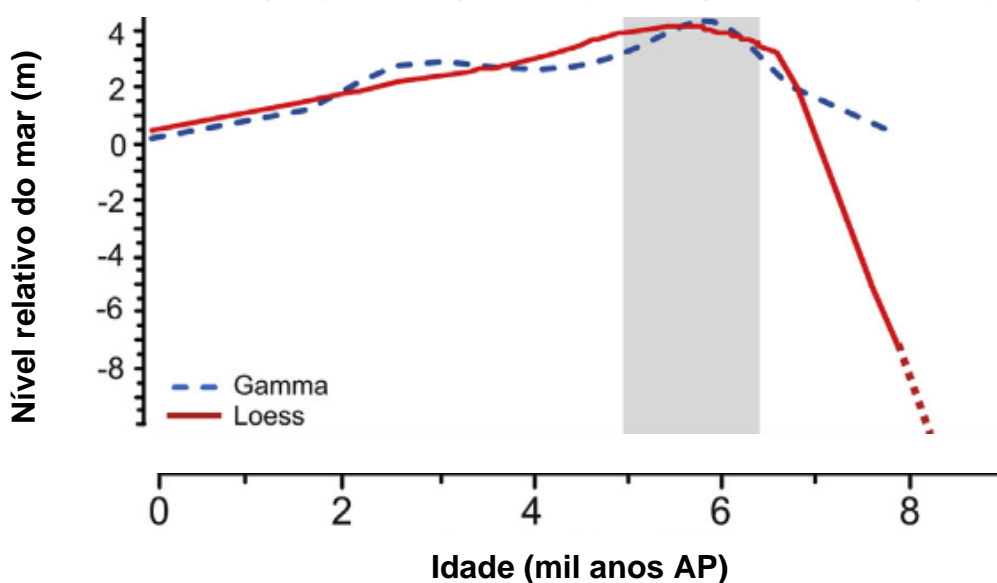
Após o Último Máximo Glacial (UMG), em aproximadamente 20000 anos AP, um aumento do nível do mar foi iniciado em escala global (CLARK et al., 2009; PELTIER, 2002). Desde esse período, durante o Pleistoceno tardio e Holoceno,

flutuações no nível do mar afetaram a região do Rio de La Plata e áreas adjacentes (GYLLENCREUTZ et al., 2010; MOURELLE et al., 2015; PRIETO et al., 2017; VIOLANTE; PARKER, 2004).

Durante eventos de nível de mar alto, sedimentos podem ser aprisionados na região da bacia do Rio de La Plata, e com a diminuição, ou em eventos regressivos, estes são erodidos e redepositados (GYLLENCREUTZ et al., 2010). Além disso, com a diminuição do nível do mar a entrada de sedimentos terrígenos em regiões de plataforma continental média e externa pode aumentar, uma vez que há uma redução da largura da plataforma interna, aumentando a contribuição de rios locais devido à proximidade da foz (HAUG et al., 2001; PETERSON et al., 2000).

Prieto et al. (2017) revisaram reconstruções de variações no nível relativo do mar durante o Holoceno no Rio de La Plata, e apresentaram curvas baseadas em novos modelos (Figura 22). De acordo com esse estudo, após o evento transgressivo iniciado com o UMG, o nível relativo do mar nessa região atingiu pela primeira vez a posição atual em aproximadamente 7000 anos AP. A transgressão continuou até o máximo do Holoceno, com o nível do mar cerca de 4 metros acima do atual, entre 6300-5600 ou 5800-5200, variando de acordo com o modelo utilizado. Após esse período, uma diminuição gradual se iniciou até os níveis atuais.

Figura 22 - Variações no nível relativo do mar na região do Rio de la Plata de acordo com os modelos Gamma (azul) e Loess (vermelho) obtidos por Prieto et al. (2017)



Fonte: Adaptado de Prieto et al. (2017).

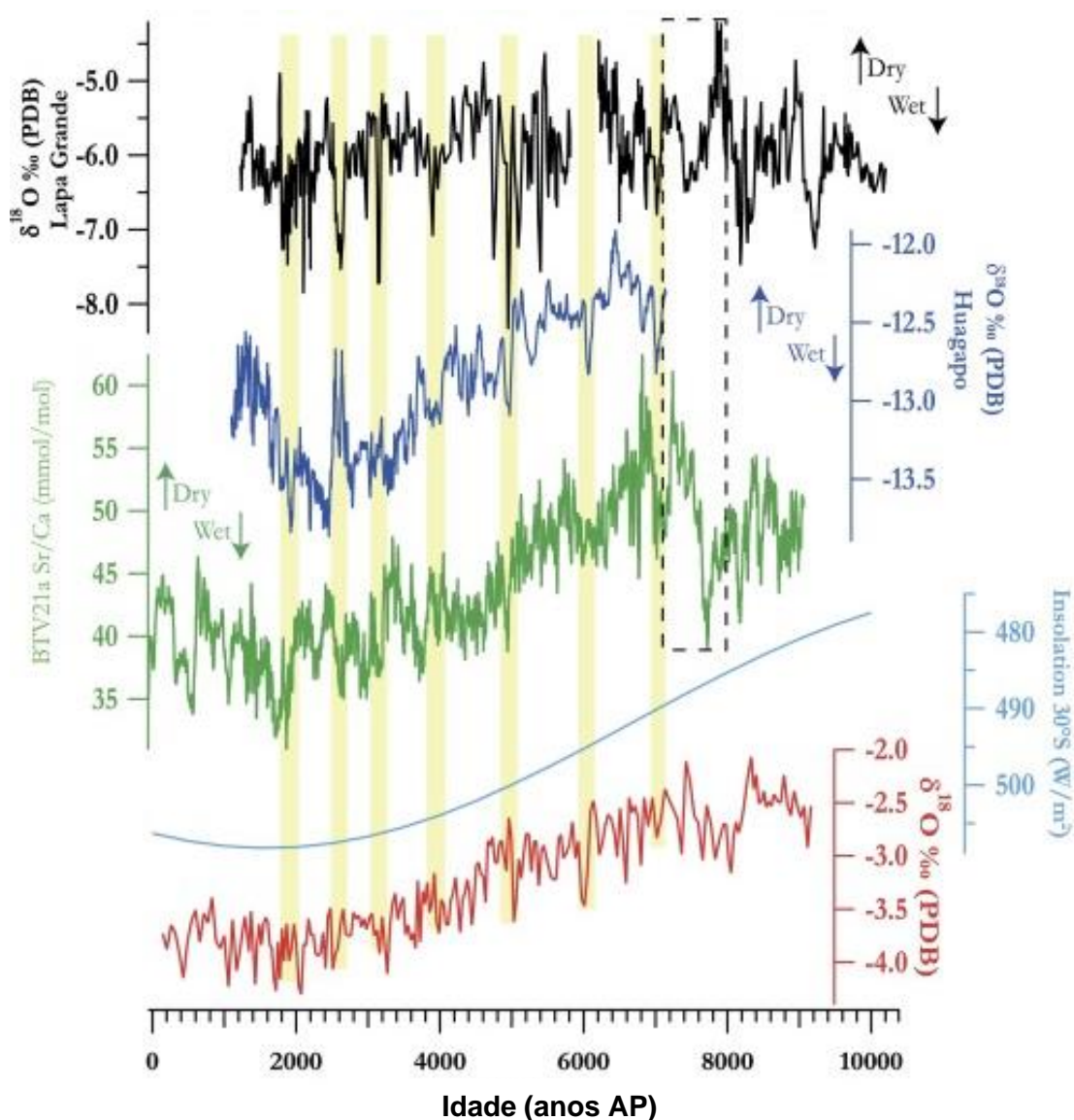
Além da variação no nível do mar, fenômenos climáticos afetaram o regime de ventos e precipitação nas regiões tropicais e subtropicais da América do Sul, podendo influenciar o aporte terrígeno na área de estudo durante o período considerado (GYLLENCREUTZ et al., 2010; RAZIK et al., 2013; TONIOLO et al., 2020).

Aproximadamente em 5000 anos AP houve uma migração em direção a sul da zona de convergência intertropical (ZCIT) e o estabelecimento da variabilidade moderna do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), assim como uma intensificação desse evento (GYLLENCREUTZ et al., 2010; HAUG et al., 2001; MOURELLE et al., 2015; RODBELL et al., 1999; SANDWEISS et al., 1996; TONIOLO et al., 2020). Por volta desse período, o aumento da insolação no verão austral (Figura 23) junto com a migração da ZCIT também induziram uma intensificação do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) (BERNAL et al., 2016; RAZIK et al., 2013; TONIOLO et al., 2020).

Como resultado desses eventos, a partir de aproximadamente 5000 anos AP, houve um aumento da precipitação na porção sudeste da América do Sul e nas bacias dos rios Paraná e de La Plata, aumentando suas descargas (GYLLENCREUTZ et al., 2010; MOURELLE et al., 2015; RAZIK et al., 2013; TONIOLO et al., 2020). Essa intensificação no regime de chuvas durante o Holoceno médio e tardio foi registrada em diferentes locais da América do Sul, por exemplo, nas cavernas Botuverá (Santa Catarina, Brasil) e Huagapo (Andes, Peru), devido à diminuição gradual de Sr/Ca e/ou  $\delta^{18}\text{O}$  em espeleotemas (Figura 23) (BERNAL et al., 2016; KANNER et al., 2013).



Figura 23 - Comparação dos registros Sr/Ca (linha verde) e  $\delta^{18}\text{O}$  (linha vermelha) da caverna Botuverá (Santa Catarina, Brasil), com o registro  $\delta^{18}\text{O}$  das cavernas Lapa-Grande (linha preta, Minas Gerais, Brasil), caverna Huagapó (linha azul escuro, Andes centrais, Peru) e a insolação de fevereiro a 30°S (linha azul claro) compilada por Bernal et al. (2016)



Fonte: Adaptado de Bernal et al. (2016) (BERGER; LOUÏRE, 1991; BERNAL et al., 2016; KANNER et al., 2013; STRIKIS et al., 2011)

O aumento da precipitação, principalmente em eventos mais frequentes de El Niño, foi responsável por um crescimento no aporte de sedimentos na bacia do Rio de La Plata e, conseqüentemente, na margem oeste do Atlântico Sul (GYLLENCREUTZ et al., 2010; RAZIK et al., 2013; TONIOLO et al., 2020). Esses sedimentos ficavam restritos à região mais ao sul durante a fase positiva do ENOS, e, durante condições dominantes de La Niña eram remobilizados e transportados

mais ao norte, devido à intensificação dos ventos de sul e da corrente costeira do Brasil (CCB) (GYLLENCREUTZ et al., 2010; TONIOLO et al., 2020).

O perfil vertical da razão Fe/K respondeu bem a esses acontecimentos, evidenciando o aumento do intemperismo químico devido à intensificação da precipitação na América do Sul no Holoceno médio, assim como o aumento da entrada de sedimentos terrígenos na região pela maior atuação da pluma do Rio de La Plata, devido à diminuição do nível do mar e fortalecimento da CCB.

#### **6.2.1.2. Testemunho #576**

O #576 foi o testemunho coletado mais ao norte, com uma recuperação menor que a do #557, medindo 199 cm de comprimento e correspondendo apenas aos últimos 4060 anos AP.

A segunda componente desse testemunho (CP 2, Figura 24), responsável por 18,4% da variância dos dados, esteve fortemente correlacionada com Ca e Sr. Isso sugere que a influência marinha nos metais dessa região é significativa, podendo até ser maior que na área de coleta do #557, uma vez que apenas 8,2% da variância dos dados deste testemunho foi explicado pela sua componente marinha (CP 3, Figura 18).

A CP 1, que explica a maior porcentagem da variância dos dados (51,1%), esteve fortemente correlacionada com os elementos terrígenos Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn. Essa componente indica, assim como a CP 1 do #557, a dominância de sedimentos e minerais continentais na região. O perfil vertical dos escores dessa componente (Figura 25) se manteve constante de 4060 até aproximadamente 2900 anos AP, quando um aumento teve início.

Figura 24 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1 e 2, geradas no testemunho #576 (*Loading Plot*)

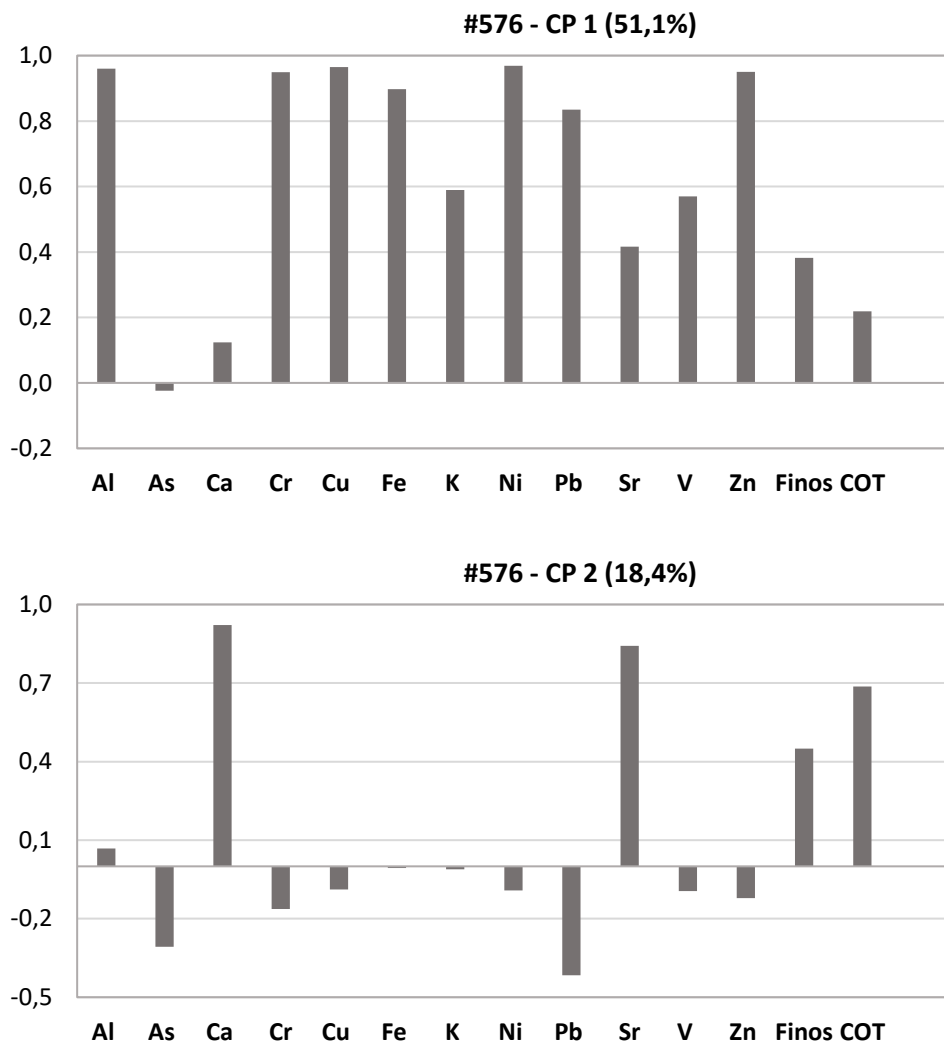
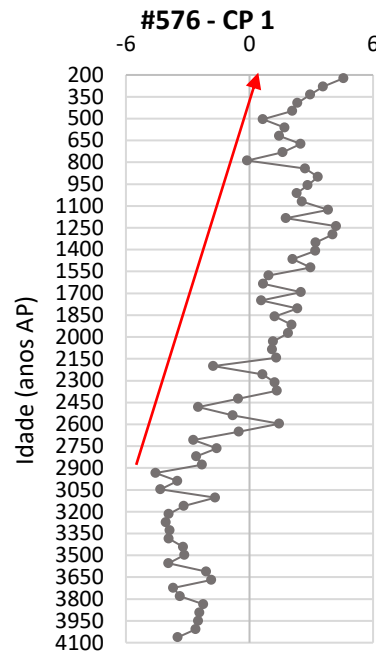


Figura 25 - Perfil vertical dos escores da CP 1 do testemunho #576



A Figura 26 apresenta os perfis das razões Fe/Ca e Fe/K do #576. Uma tendência de aumento teve início na razão Fe/Ca por volta de 2200 anos AP, após um período relativamente constante. A Fe/K também apresentou um aumento, mas a partir de 3000 anos AP. Dessa forma, diferente do #557, nesse testemunho os escores da componente terrígena (CP 1) e ambas as razões apresentaram respostas semelhantes, com tendências de aumento nos perfis verticais sugerindo um aumento no aporte de material continental. Isso se deve, possivelmente, ao teor de finos deste testemunho, que se manteve alto e relativamente constante por todo o período considerado (Figura 27).

Figura 26 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K pela idade do testemunho #576

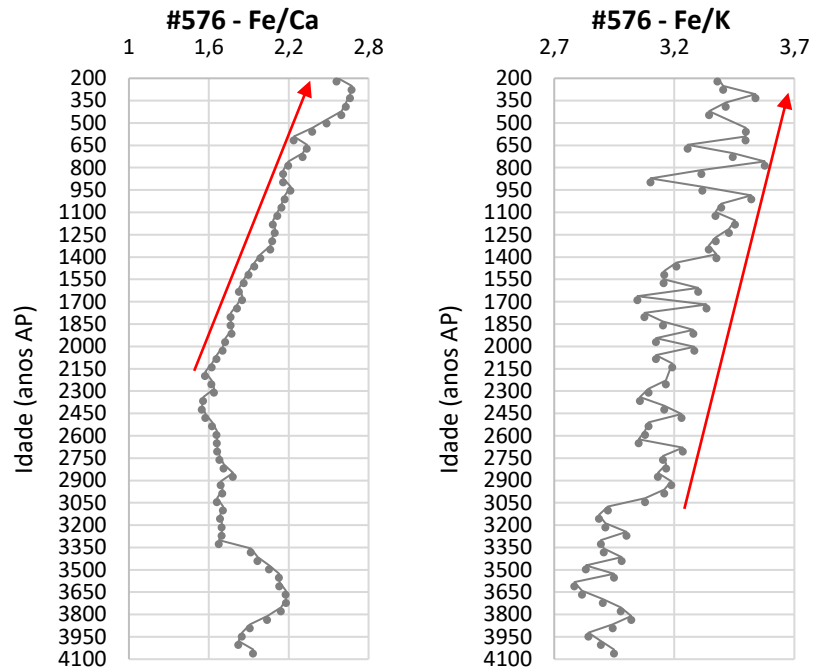
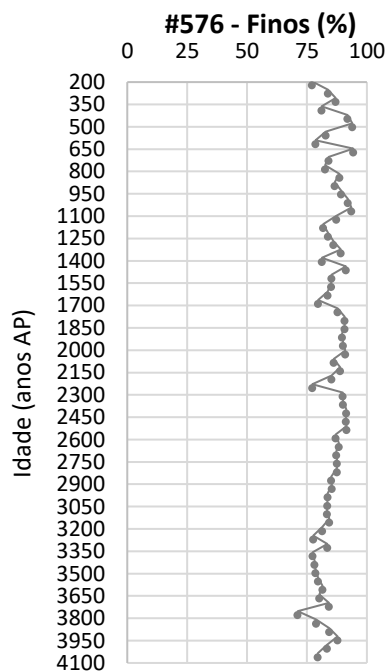


Figura 27 - Perfil vertical do teor de finos no testemunho #576



Conforme discutido, a variabilidade moderna do fenômeno ENOS foi estabelecida por volta de 5000 anos AP, e esse evento, juntamente com a intensificação do SMAS, favoreceu o aumento da precipitação na América do Sul e transporte de sedimentos terrígenos do Rio de La Plata em direção à área de

estudo, sendo registrado no #557. No entanto, uma vez que a recuperação do #576 foi menor, não foi possível observar se este testemunho, coletado mais a norte, também poderia registrar esses eventos. Ainda assim, as variações nos perfis dos escores da CP 1 e razões Fe/Ca e Fe/K sugerem alguma variação significativa a partir de 3000 anos AP.

As atividades do fenômeno ENOS foram novamente fortalecidas por volta de 3000-2000 anos AP, até atingir a amplitude das flutuações atuais (GYLLENCREUTZ et al., 2010; HAUG et al., 2001; MOURELLE et al., 2015). Com isso, uma nova intensificação nos padrões de precipitação sobre as bacias dos rios Paraná e de La Plata teve início, favorecendo uma maior descarga desses rios e transporte de sedimentos para o Atlântico oeste (GYLLENCREUTZ et al., 2010; MOURELLE et al., 2015; RAZIK et al., 2013).

Variações no ENOS também são capazes de influenciar a atividade e intensidade de frentes frias no sul do Brasil (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000; ZULAR et al., 2013). Dessa forma, por volta de 1900 anos AP, também houve um aumento desses sistemas frontais e um avanço para o norte, ocasionando uma intensificação de ventos de sul-sudeste e estimulando o transporte de sedimentos para o norte na costa Sul do Brasil (RAZIK et al., 2013; TONIOLO et al., 2020; ZULAR et al., 2013). Esse fenômeno foi observado nas dunas da barreira costeira de São Francisco do Sul, no estado de Santa Catarina (Sul do Brasil), devido a mudanças na morfologia, desenvolvimento e proveniência destas no período (ZULAR et al., 2013).

Desta forma, esses eventos foram responsáveis, a partir de 3000 anos AP, por uma nova intensificação na precipitação e intemperismo químico no sul da América do Sul, aumento da descarga do Rio de La Plata e transporte de sedimentos para norte, influenciando a região de coleta do testemunho #576 e os níveis de metais terrígenos.

Variações no aporte terrígeno de sedimentos, com um aumento significativo a partir de 3000 anos AP, também foram observados na plataforma do Cabo de Santa Marta, Sul do Brasil, por Bicego et al. (2022), usando biomarcadores lipídicos, e de Mahiques et al. (2009), com razões de elementos. Os dois estudos sugeriram o período a partir de 3000-2800 anos AP como o estabelecimento das condições

modernas de clima na América do Sul e da descarga do Rio de La Plata, assim como da influência dominante deste rio na região.

### **6.2.1.3. Considerações finais sobre o estudo de metais ao longo do Holoceno**

Nesse capítulo foi possível responder às seguintes perguntas iniciais:

1) *Houve variações no aporte de sedimentos de diferentes fontes na plataforma continental Sul do Brasil ao longo do Holoceno?*

Diferentes fontes de sedimentos atuam na plataforma Sul do Brasil. Foram destacadas na ACP fontes terrígenas e marinhas, sendo a primeira a mais significativa em ambos os testemunhos. Os perfis verticais dos escores das componentes terrígenas e das razões de elementos indicaram variações ao longo do período estudado. Um aumento do intemperismo continental e aporte terrígeno foi sugerido no #557 pela razão Fe/K a partir de 5000 anos AP e no #576 pelos escores da componente terrígena, razões Fe/Ca e Fe/K a partir de, aproximadamente, 3000 anos AP.

2) *Variações no aporte terrígeno correspondem a períodos conhecidos de maior/menor influência do Rio de La Plata?*

Por volta de 5000 anos AP houve uma diminuição do nível relativo do mar, o estabelecimento da variabilidade moderna do ENOS e a intensificação desse evento, assim como do SMAS, ocasionando um aumento da descarga do Rio de La Plata e transporte de sedimentos terrígenos para o norte da plataforma sul do Brasil. Desta forma, a variação observada no perfil vertical da razão Fe/K do #557 pode estar relacionada à maior influência do Rio de La Plata na região no mesmo período.

Aproximadamente, em 3000 anos AP, um novo fortalecimento das atividades do fenômeno ENOS, atingindo as amplitudes atuais e, uma intensificação de frentes frias no sul do Brasil, estimulando os ventos de Sul-Sudeste, promoveram o estabelecimento das condições modernas da descarga do Rio de La Plata e a influência dominante deste na plataforma Sul do Brasil. Assim, esses eventos podem ter sido responsáveis, no testemunho #576, pelas variações nos perfis verticais dos escores da componente terrígena, razões Fe/Ca e Fe/K.

4) *Há indícios de que os diferentes processos responsáveis pela sedimentação na plataforma continental Sul do Brasil agem de forma semelhante na porção mais ao norte e mais ao sul?*

Enquanto o #557, de 284 cm, cobre os últimos 10300 anos AP, o #576, de 199 cm, cobre os últimos 4063 anos AP. Assim, devido à diferença na recuperação entre os testemunhos, não é possível compará-los em um período anterior a 4063 anos AP, e não se pode inferir se o #576 também teria sido capaz de registrar as variações encontradas no aporte terrígeno do #557 por volta de 5000 anos AP.

Diferenças foram encontradas na granulometria dos dois testemunhos. O teor de finos do #557 diminuiu significativamente a partir de 5000 anos AP, enquanto o teor de areia aumentou. O #576, no entanto, apresentou teores de finos relativamente constantes no período estudado. Tais resultados sugerem processos sedimentares diferentes, com agentes transportadores mais energéticos na porção mais ao sul da plataforma sul do Brasil. Contudo, a pluma do Rio de La Plata ainda é sugerida como a principal fonte de sedimentos para os dois pontos, devido ao resultado da ACP e às variações encontradas no aporte terrígeno de ambos os testemunhos, que aparentam responder a mudanças na descarga deste rio durante o Holoceno.

O aumento no aporte terrígeno após 3000 anos AP foi observado apenas no #576. A tendência iniciada no #557 em 5000 anos AP pode ter atenuado o sinal desse novo aumento.

5) *A caracterização elementar dos mudbelts da plataforma Sul do Brasil por ICP-OES se apresenta como uma boa ferramenta para o estudo de variações ambientais ocorridas na plataforma e no continente adjacente durante o Holoceno?*

Com a ACP, gerada com os níveis de metais dos testemunhos, as razões Fe/Ca e Fe/K, foi possível identificar variações ocorridas no intemperismo continental e aporte terrígeno para a região. Essas variações puderam ser associadas a diferentes eventos oceanográficos e climáticos ocorridos durante o Holoceno, como à diminuição no nível do mar e à intensificação do SMAS e ENSO. No entanto, no testemunho #557, entre os parâmetros estudados a razão Fe/K se mostrou mais eficaz, uma vez que é menos afetada por variações granulométricas. Assim, é



ressaltada a importância do estudo e entendimento da composição elementar em conjunto aos parâmetros sedimentares.

### **6.3. Variações ambientais no Antropoceno**

Neste capítulo, para a avaliação das variações ambientais no “Antropoceno”, serão utilizados os dados de metais e As, finos, COT e NT obtidos nas camadas superficiais dos testemunhos #557 e #576, e o testemunho #564, datados com  $^{210}\text{Pb}$  e que correspondem, aproximadamente, aos últimos 200 anos (Figura 11).

#### **6.3.1. Avaliação das mudanças no clima continental e aporte terrígeno para a plataforma Sul do Brasil nos últimos 200 anos**

De modo geral, os três testemunhos apresentaram resultados semelhantes durante o Antropoceno. Assim, optou-se por não fazer uma discussão separada para cada um.

Na ACP (Figuras 28 a 30) as primeiras componentes do #557 (explicando 68,5% da variância dos dados), #564 (82,8%) e #576 (48,2%), estiveram fortemente correlacionadas com elementos terrígenos, como Al, Cr, Cu, Fe, K, Ni, Pb, V e Zn, e parâmetros sedimentares como teor de finos (com exceção do #557), COT e NT (com exceção do #576), indicativos da matéria orgânica. A Figura 31 apresenta os escores dessas componentes terrígenas, sendo possível observar tendências de aumento em direção ao presente.

As segundas componentes dos testemunhos, explicando, respectivamente 13,8%, 5,9% e 21% da variância dos dados, estiveram correlacionadas com Ca e Sr, elementos indicativos de processos marinhos.

Figura 28 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1 e 2, geradas no testemunho #557 para os últimos 200 anos (*Loading Plot*)

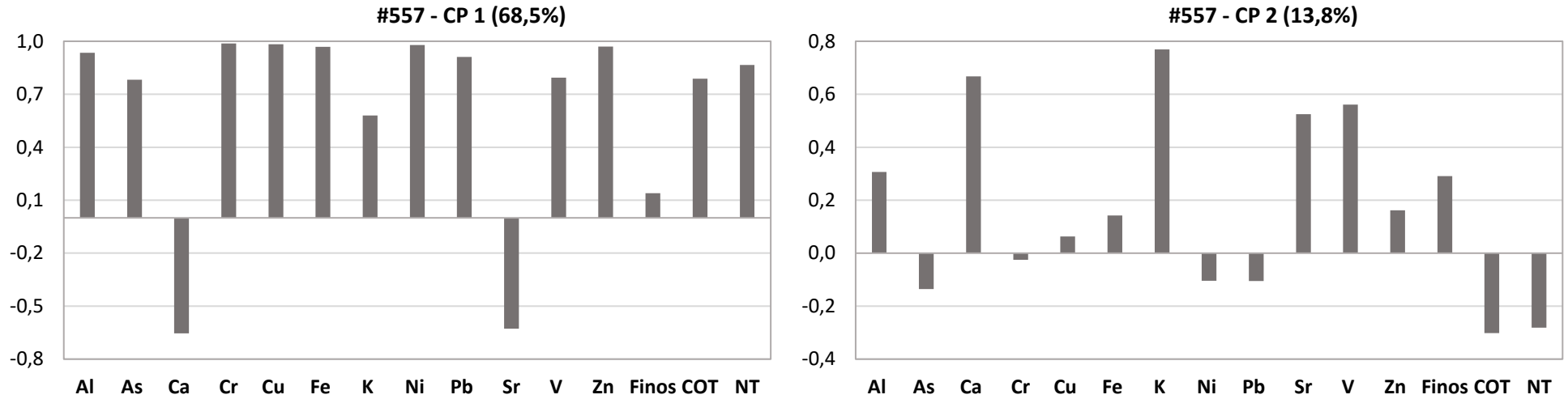


Figura 29 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1 e 2, geradas no testemunho #564 (*Loading Plot*)

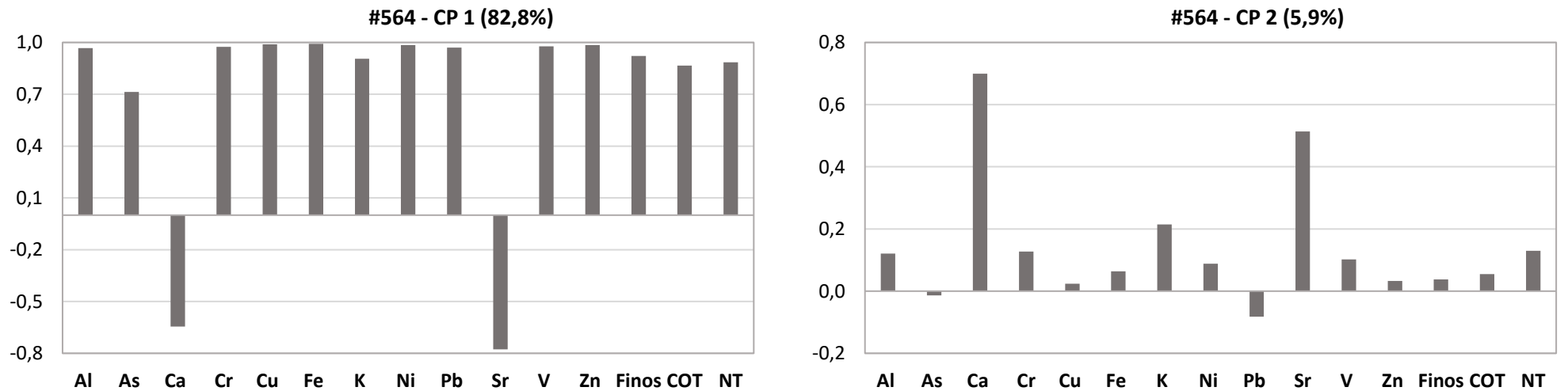


Figura 30 - Correlação dos elementos, teor de finos, COT e NT, com as CP 1 e 2, geradas no testemunho #576 para os últimos 200 anos (*Loading Plot*)

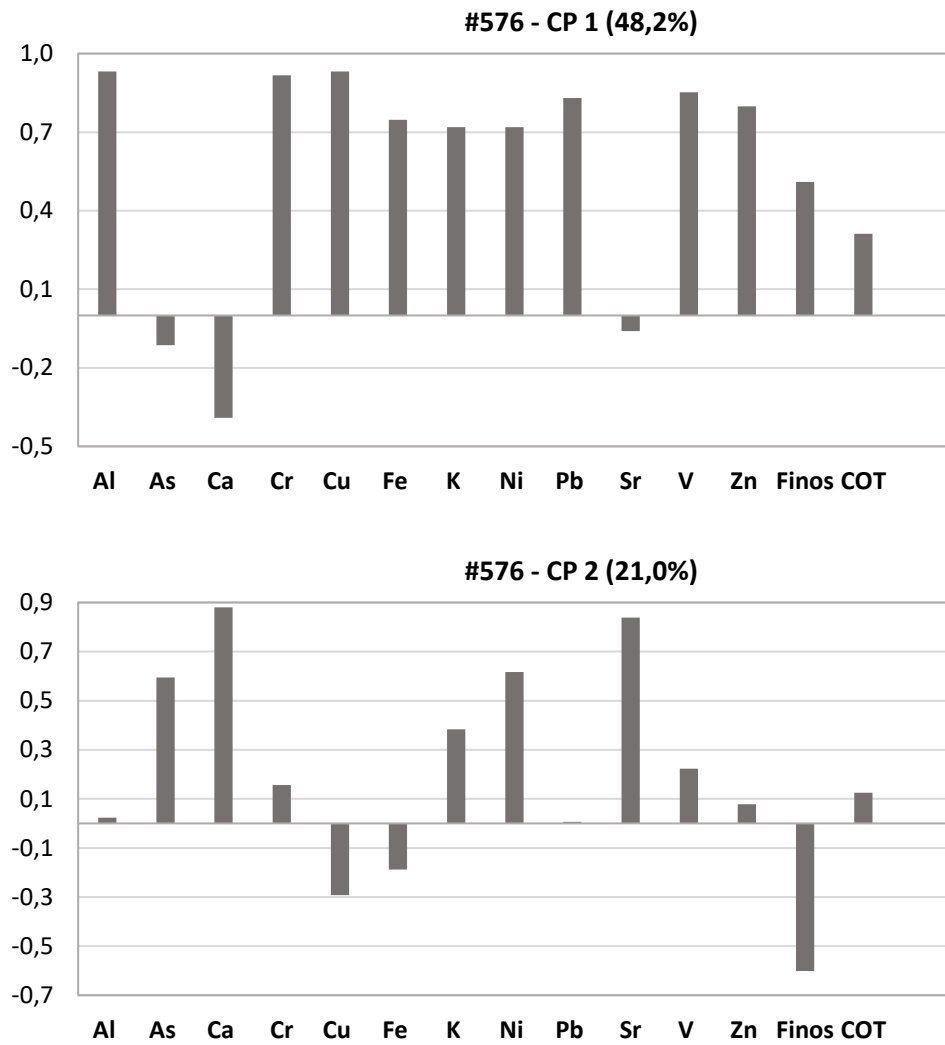
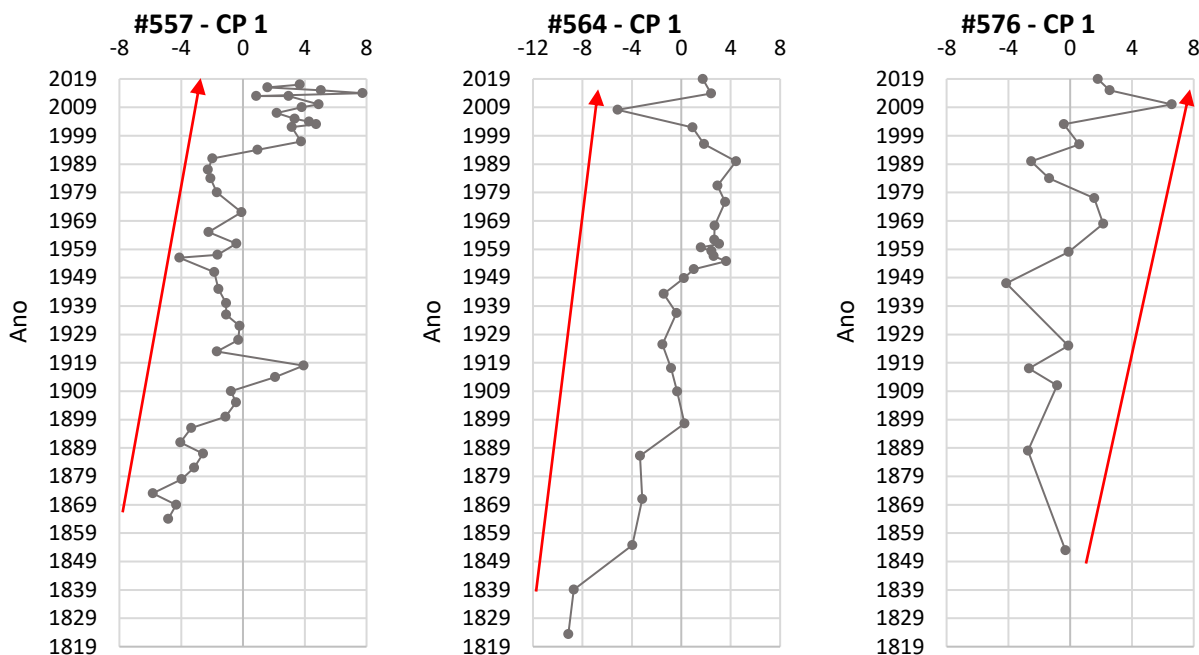


Figura 31 - Perfis verticais dos escores das CP 1 dos testemunhos #557, #564 e #576



Os perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K do #564 estão na Figura 32. Nas Figuras 33 e 34 são apresentadas as razões ao longo do #557 e #576 sendo destacados os últimos 200 anos. Os perfis verticais de ambas as razões nos três testemunhos estão de acordo com os escores da ACP, com tendências de aumento durante o Antropoceno, a partir de, aproximadamente, 1850.

Os teores de finos do #557 e #576 se mantiveram relativamente constantes nesse período, enquanto no #564 houve um aumento em direção ao topo (Figura 35). Por conta disso, pode ter sido possível que a componente terrígena e as razões de elementos apresentassem respostas semelhantes, como ocorreu ao longo do #576, sugerindo uma intensificação do intemperismo químico continental e aporte terrígeno para a região nos últimos 200 anos. Esse aumento nas razões, durante o Antropoceno, foi o mais intenso de todo o período estudado no #557 (últimos 10300 anos) e #576 (últimos 4063 anos) (Figuras 33 e 34).

Figura 32 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K no testemunho #564

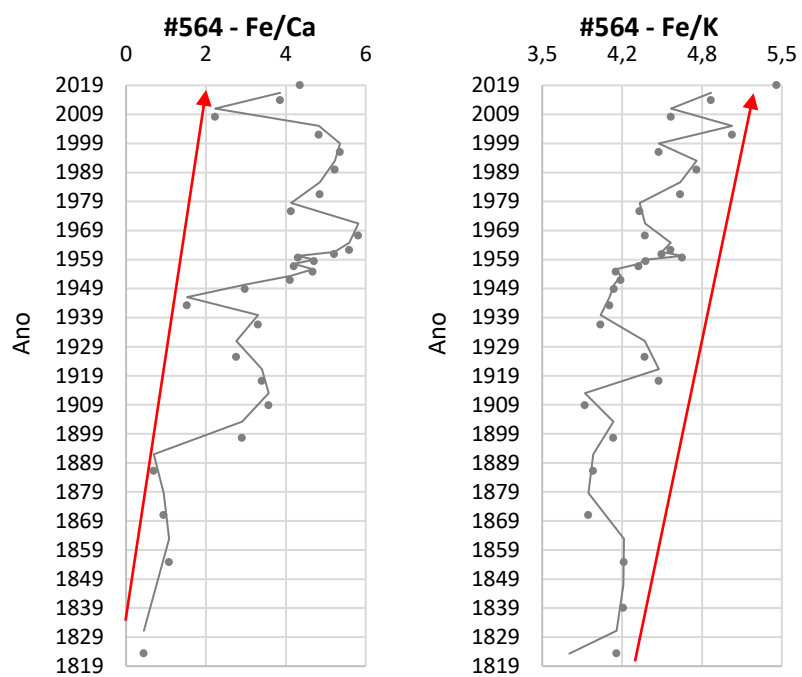


Figura 33 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K do testemunho #557 sendo destacados os últimos 200 anos

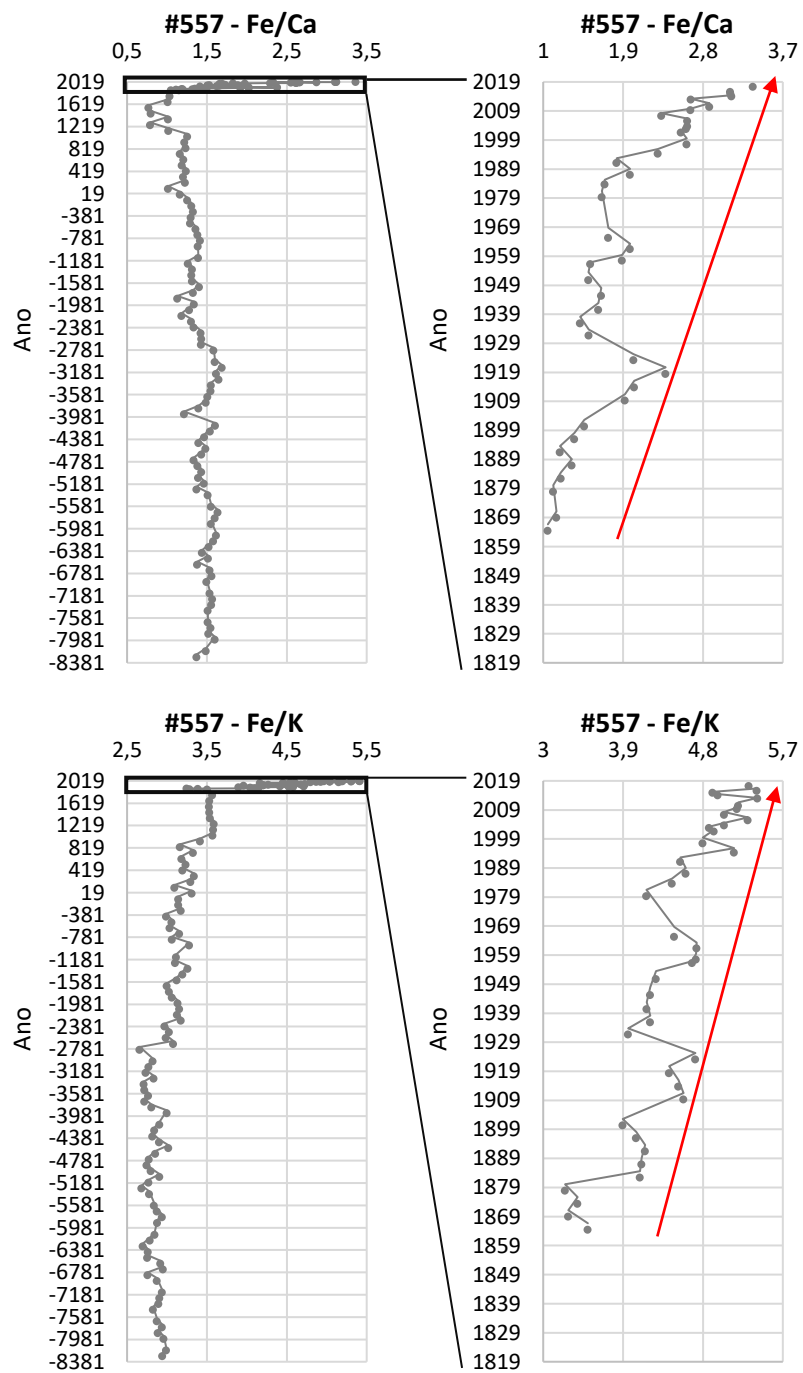


Figura 34 - Perfis verticais das razões Fe/Ca e Fe/K do testemunho #576 sendo destacados os últimos 200 anos

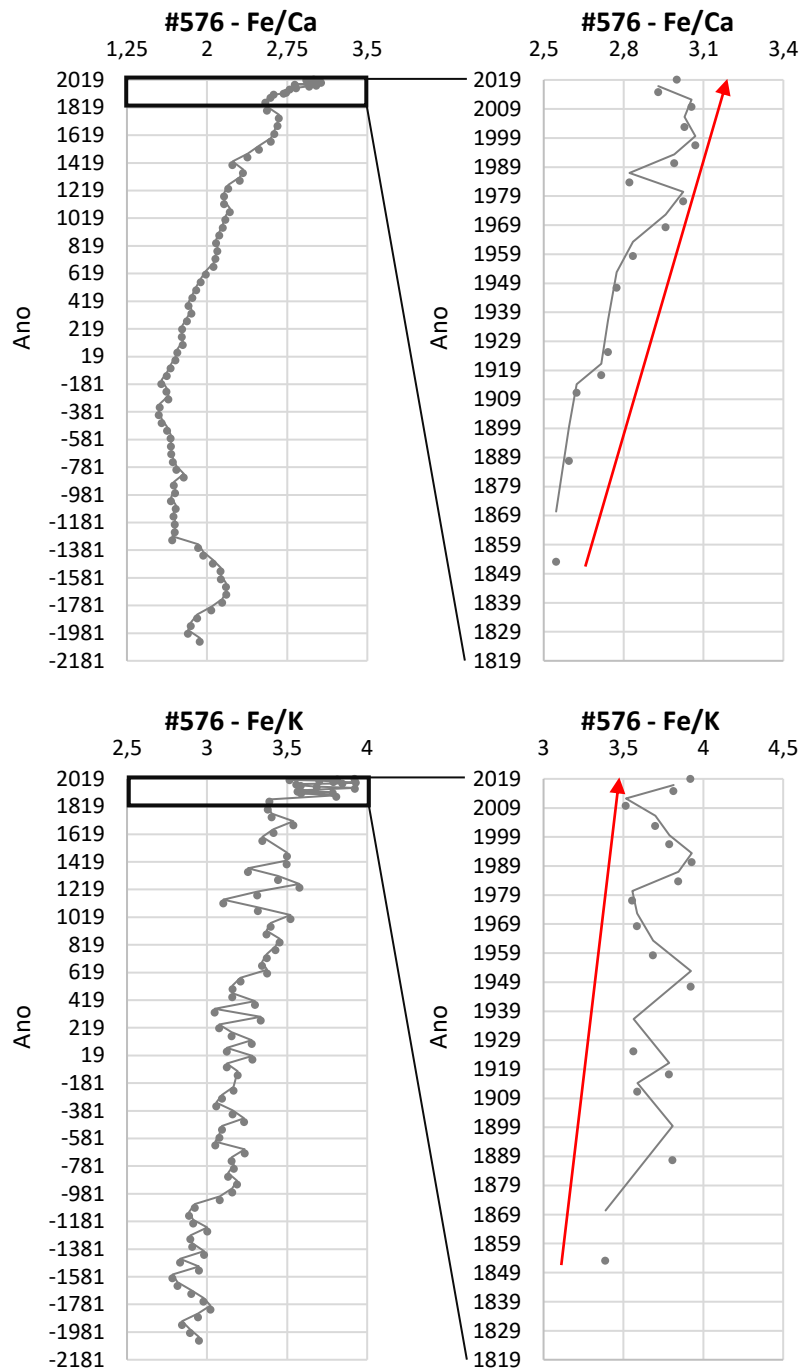
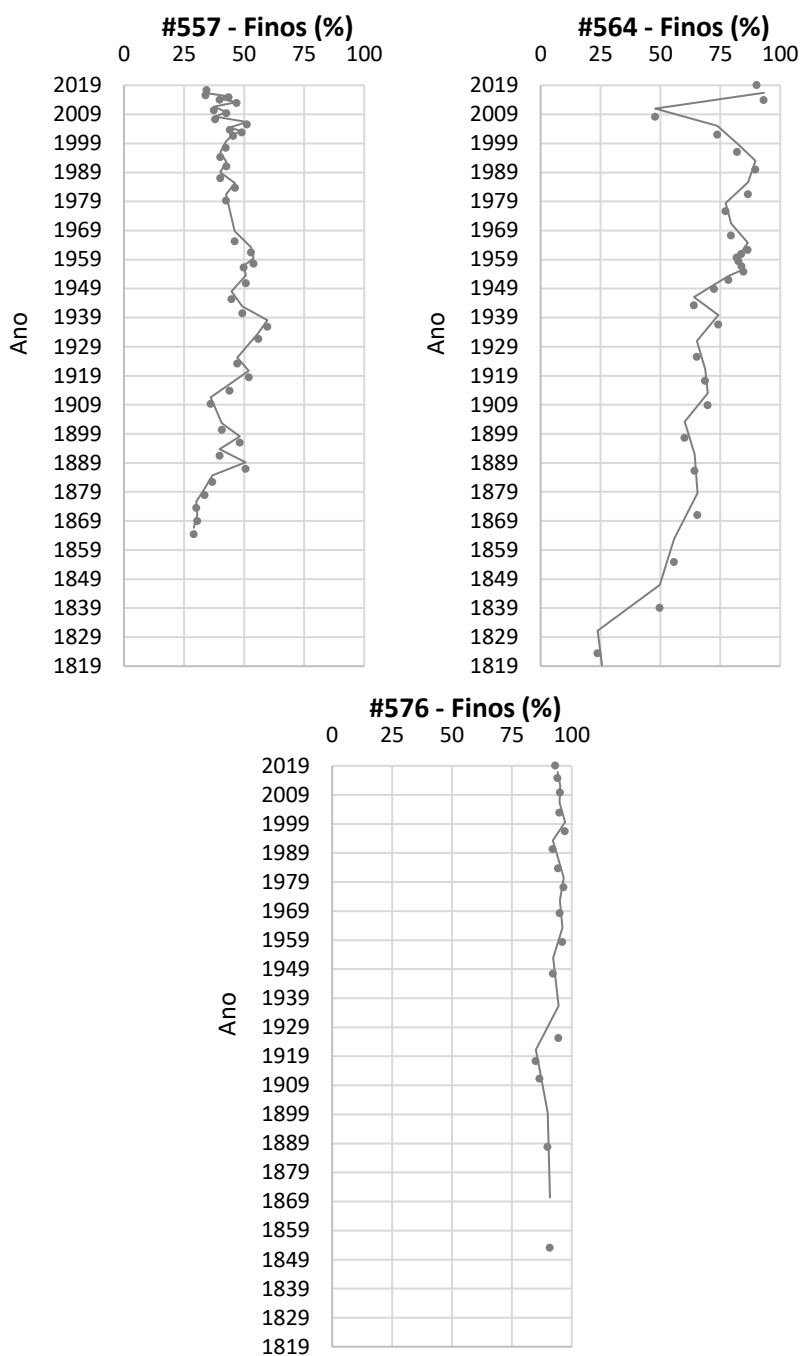


Figura 35 - Perfis verticais dos teores de finos nos últimos 200 anos dos três testemunhos



Perez et al. (2016) avaliaram as variações na descarga do Rio de La Plata, na plataforma interna uruguaia, nos últimos 1200 anos. Nesse estudo, as razões de elementos também indicaram um aumento do aporte terrígeno a partir de 1850, no “atual período quente” (Figura 36).

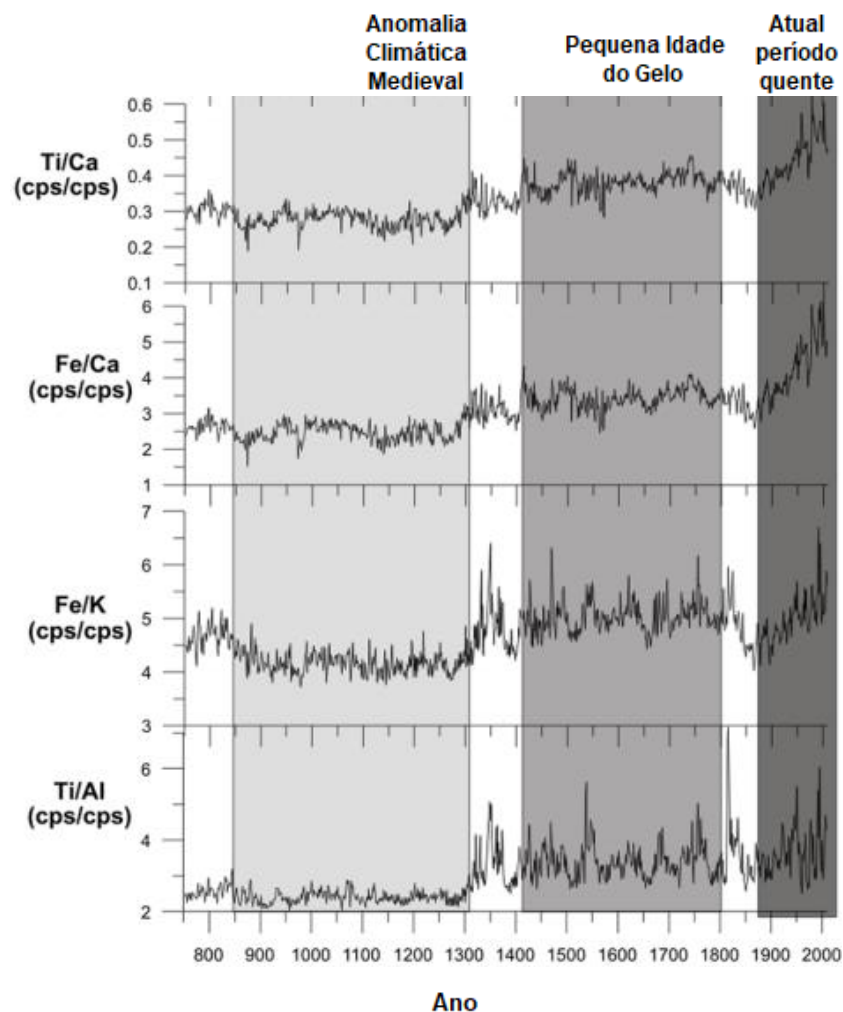
No final do século 19 e durante o século 20, o aumento antrópico dos gases de efeito estufa induziu mudanças em larga escala na circulação atmosférica,



temperatura da superfície do mar, temperatura e precipitação no sul da América do Sul (e.g. JONES; BRIFFA, 1992; NEUKOM et al., 2011; SALINGER; JONES, 1996; WAGNER; FAST; KASPAR, 2012). Assim, o aquecimento promovido durante o período pode ter influenciado e intensificado o intemperismo químico continental e a descarga do Rio de La Plata, afetando a entrada de sedimentos na plataforma sul do Brasil nas três regiões estudadas.

Além de influenciar indiretamente o aporte de sedimentos na região, a atividade antrópica durante os últimos 200 anos também pode ter sido responsável pela inserção direta de alguns metais na plataforma sul do Brasil, conforme será discutido na próxima seção.

Figura 36 - Variações nas razões de elementos na plataforma interna Uruguia durante os últimos 1200 anos



Fonte: Adaptado de Perez et al. (2016)

### 6.3.2. Avaliação da influência antrópica e possível contaminação por metais na plataforma Sul do Brasil nos últimos 200 anos

A fim de se comparar os resultados de metais e As obtidos neste estudo, durante o Antropoceno, com valores regulatórios de outras regiões, a Tabela 15 apresenta os intervalos dos teores de As, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn, elementos potencialmente contaminantes, obtidos em cada testemunho e os respectivos valores-guia. A resolução CONAMA 454/2012 estabelece valores orientadores sobre a qualidade de sedimentos a serem dragados em águas sob jurisdição brasileira, sendo o Nível 1 o limite abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota e o Nível 2 o limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota (CONAMA, 2012). Esses níveis são semelhantes aos valores guia da Austrália e Nova Zelândia (ANZECC AND ARMCANZ, 2000). O *Interim sediment quality guidelines* (ISQG) e *Probable Effect Level* (PEL) são relacionados à regulação canadense (CCME, 2001). Com exceção de alguns resultados de Ni no #576, os valores dos demais elementos em todos os testemunhos estiveram abaixo dos níveis 1 e 2 da resolução CONAMA (454/2012), sugerindo um baixo risco para a biota. Todos os resultados também estiveram abaixo do PEL e a maioria abaixo do ISQG, com apenas alguns valores de As (#557 e #564), Cu (#564 e #576) e Ni (#557, #564 e #576) acima. Como a diferença foi pequena, apenas para poucos valores, e os valores regulatórios não foram estabelecidos considerando a região específica da área de estudo e suas possíveis particularidades geoquímicas, a utilização de outros métodos, como índices de poluição ou análises estatísticas, podem ser eficazes para verificar a possibilidade de uma fonte antropogênica para esses elementos e o nível de contaminação.

Tabela 15 - Intervalos das concentrações de metais e As encontradas em cada testemunho nos últimos 200 anos e valores regulatórios

	Presente estudo			CONAMA (454/2012)		CCME (2001)	
	#557	#564	#576	Nível 1	Nível 2	ISQG	PEL
<b>As</b>	3,9-8,3	3,0-7,8	3,0-5,6	19	70	7,24	41,6
<b>Cr</b>	13,2-26,6	7,8-33,6	32,8-37,7	81	370	52,3	160
<b>Cu</b>	7,6-15,9	4,1-23,1	16,9-19,4	34	270	18,7	108

<b>Ni</b>	7,4-16,9	4,5-19,5	20,0-23,3	20,9	51,6	15,9	42,8
<b>Pb</b>	5,2-10,9	3,8-14,9	11,2-13,3	46,7	218	30,2	112
<b>Zn</b>	33,0-57,2	20,4-76,7	75,0-89,3	150	410	124	271

Fonte: (CONAMA, 2012; CCME, 2001).

As Tabelas 16 a 18 apresentam matrizes de correlação de Pearson entre os teores de Al, As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, em cada testemunho, considerando apenas os últimos 200 anos. Os coeficientes de correlação variaram entre -0,25 e 1,00. O Al apresenta uma variação principalmente natural nas plataformas continentais, devido a alterações no aporte terrígeno. Dessa forma, as correlações altas e positivas entre o Al e os metais Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, no testemunho #557 (>0,82), #564 (>0,94) e #576 (>0,62) sugerem uma variabilidade natural para estes na área de estudo e indicam uma fonte em comum, principalmente relacionada ao intemperismo e transporte de material continental.

O As apresentou correlações altas e significativas (>0,67) com o Al e demais metais dos testemunhos #557 e #564, mas não foi encontrada correlação com esses parâmetros no #576. Tal resultado pode ser indicativo de uma fonte diferente para o As nesse testemunho, mas também estar relacionado às diferenças geoquímicas deste elemento, conforme mencionado anteriormente.

Tabela 16 - Matriz de correlação de Pearson entre os teores de Al, As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, considerando os últimos 200 anos do testemunho #557

	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Al</b>							
<b>As</b>	0,67						
<b>Cr</b>	0,93	0,73					
<b>Cu</b>	0,94	0,71	0,98				
<b>Ni</b>	0,88	0,75	0,98	0,96			
<b>Pb</b>	0,82	0,82	0,90	0,87	0,89		
<b>Zn</b>	0,95	0,71	0,96	0,98	0,94	0,87	

Tabela 17 - Matriz de correlação de Pearson entre os teores de Al, As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, considerando os últimos 200 anos do testemunho #564

	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Al</b>							
<b>As</b>	0,84						
<b>Cr</b>	0,99	0,85					
<b>Cu</b>	0,97	0,87	0,97				
<b>Ni</b>	0,98	0,86	1,00	0,98			
<b>Pb</b>	0,94	0,89	0,95	0,98	0,96		
<b>Zn</b>	0,96	0,88	0,98	0,98	0,99	0,98	

Tabela 18 - Matriz de correlação de Pearson entre os teores de Al, As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, considerando os últimos 200 anos do testemunho #576

	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Al</b>							
<b>As</b>	-0,07*						
<b>Cr</b>	0,84	-0,18*					
<b>Cu</b>	0,82	-0,25*	0,79				
<b>Ni</b>	0,63	0,32*	0,79	0,49*			
<b>Pb</b>	0,70	-0,11*	0,73	0,79	0,63		
<b>Zn</b>	0,62	-0,16*	0,77	0,78	0,56	0,79	

\*p<0,05

As Figuras 37 a 39 apresentam os perfis verticais dos Fatores de Enriquecimento do As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn e a Figura 40 os perfis do *Sediment Pollution Index* de cada testemunho. Todos os valores encontrados de FE e SPI estiveram abaixo de 2 sugerindo baixo enriquecimento e níveis naturais para os elementos estudados.

Apesar do conjunto de resultados, análises estatísticas e índices de poluição indicarem que a área não é poluída, a influência antrópica pode ser notada ao longo dos testemunhos a partir dos perfis verticais desses índices, uma vez que apresentaram aumentos em períodos específicos de intensificação da atividade antrópica no Brasil e América do Sul. Isto é possível devido à influência das diferentes fontes de sedimentos, locais e distantes, para a região. Desta forma, os

possíveis contaminantes associados a esses sedimentos podem ser originados de atividades antrópicas no Brasil ou em diferentes países da América do Sul, sendo transportados pelo Rio de La Plata.

A contaminação por metais e As já foi reportada em sedimentos da Lagoa dos Patos, relacionada a atividades no porto de Rio Grande, indústria de fertilizantes e mineração (e.g., BUENO et al., 2019; MIRLEAN et al., 2003; ODEBRECHT et al., 2013). Diversos estudos também encontraram indícios de contaminação em diferentes regiões da bacia do Rio de La Plata, principalmente relacionados a efluentes domésticos e industriais (e.g., BILOS; COLOMBO; PRESA, 1998; BUENO et al., 2016; COLOMBO et al., 2000; MUNIZ et al., 2019; TATONE; SKORUPKA; COLOMBO, 2021).

No testemunho #557 foi observada uma tendência de aumento dos FE de Cr, Cu, Ni, Pb e do SPI após 1900 até 1923, o que pode ter sido ocasionado por uma estimulação das práticas de mineração e produção de metais na América do Sul por volta de 1900 (UGLIETTI et al., 2015). Nesse mesmo testemunho, a partir de 1932 houve um outro aumento nos FE de todos os elementos e do SPI, o que pode estar relacionado a atividades antrópicas decorrentes do início da Revolução Industrial no Brasil, em 1930 (PEREIRA; BRUNEAU; DYKE, 2019). Além dessa possível contribuição local, um crescimento econômico no Uruguai estimulado por um maior desenvolvimento da indústria nacional também ocorreu no mesmo período, entre 1930 e 1959, e foi refletido nos níveis de metais da baía de Montevideu na costa norte do Rio de La Plata, conforme reportado por Bueno et al. (2016).

A partir de 1977 até o topo dos testemunhos foram observados aumentos nos perfis de SPI e FE de alguns elementos, como As, Cr, Cu, Ni e Pb no #557; As, Cu, Ni, Pb e Zn no #564; e As e Zn no #576. Diferentes eventos podem ter sido responsáveis por esse padrão. Um aumento significativo na extração, exportação e consumo de biomassa, combustíveis fósseis, minérios metálicos, minerais industriais e de construção ocorreu na América Latina a partir de 1970, sendo mais acentuado após 2002 (WEST; SCHANDL, 2013). O impulso de países da América Latina para atender a demanda exigida pela Ásia, principalmente pela China, por matérias-primas necessárias para sua rápida industrialização e urbanização desde 1980 podem ter contribuído para o aumento da produção e consumo desses materiais (WEST; SCHANDL, 2013). Na década de 90 no Brasil e América Latina foram

adotadas políticas neoliberais e práticas para incentivar e melhorar a produção rural e o agronegócio voltado para a exportação (MIRANDA et al., 2007; TAYLOR, 1999). Com isso, possíveis mudanças no uso da terra e utilização de agentes químicos como agrotóxicos e fertilizantes também podem ter aumentado a entrada de metais na plataforma sul brasileira.

Da década de 1930 até a década de 1990, a adição de compostos orgânicos do chumbo na gasolina, como o chumbo tetraetila (OUDIJK, 2010; SCHIFER; JUNIOR; MONTANO, 2005; UGLIETTI et al., 2015), foi responsável por uma significativa emissão desse elemento no Brasil e América do Sul, sendo registrado em diferentes matrizes, como gelo e sedimentos (e.g. KIM et al., 2020; UGLIETTI et al., 2015). Desta forma, a tendência de aumento dos FE de Pb no testemunho #557 entre 1932 e 1994 pode ter sido ocasionada em parte pelo uso da gasolina enriquecida com chumbo, conforme também foi relatado por Kim et al. (2020) na mesma região.

Figura 37 - Perfis verticais dos Fatores de Enriquecimento de metais e As obtidos no testemunho #557

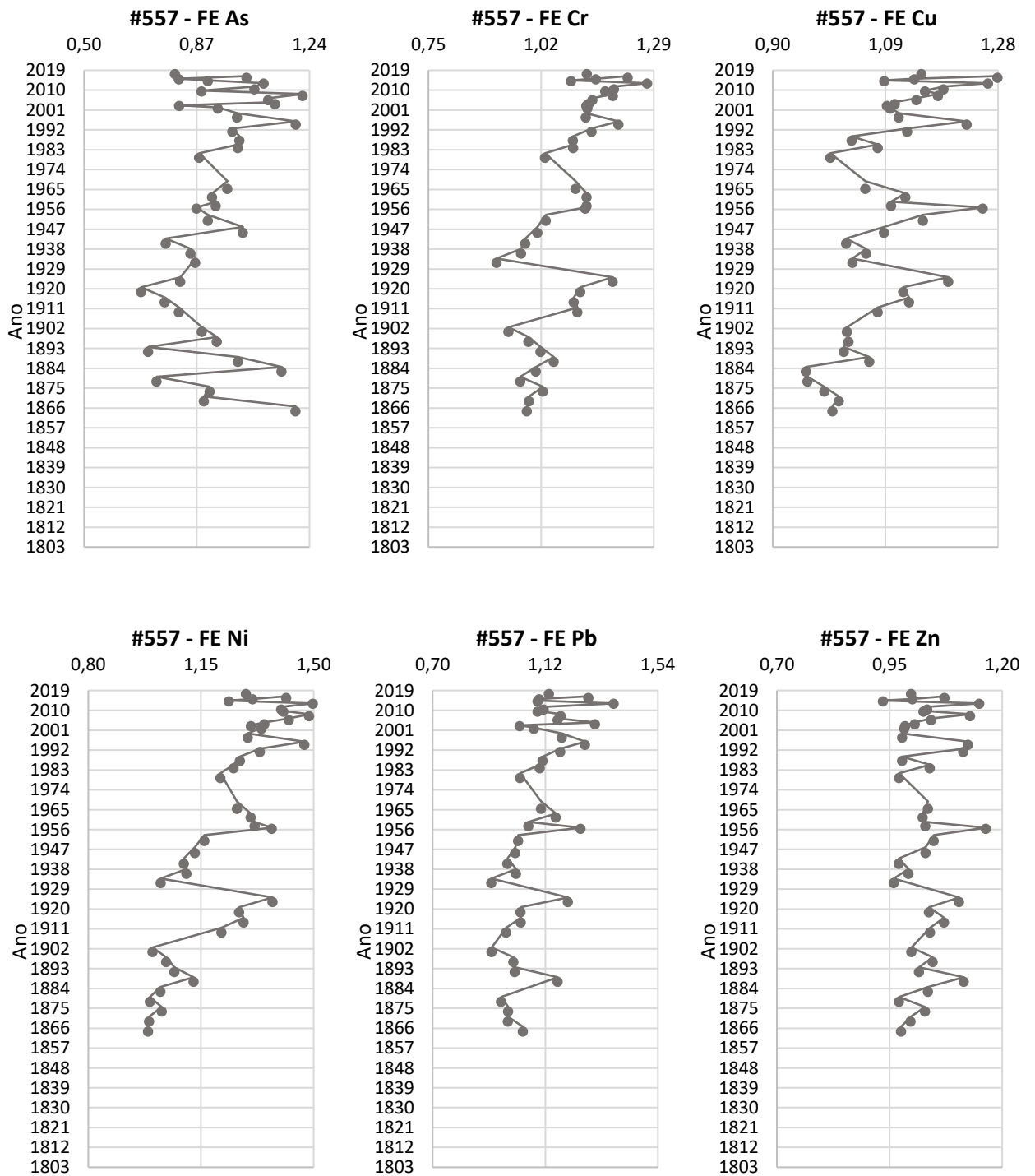


Figura 38 - Perfis verticais dos Fatores de Enriquecimento de metais e As obtidos no testemunho #564

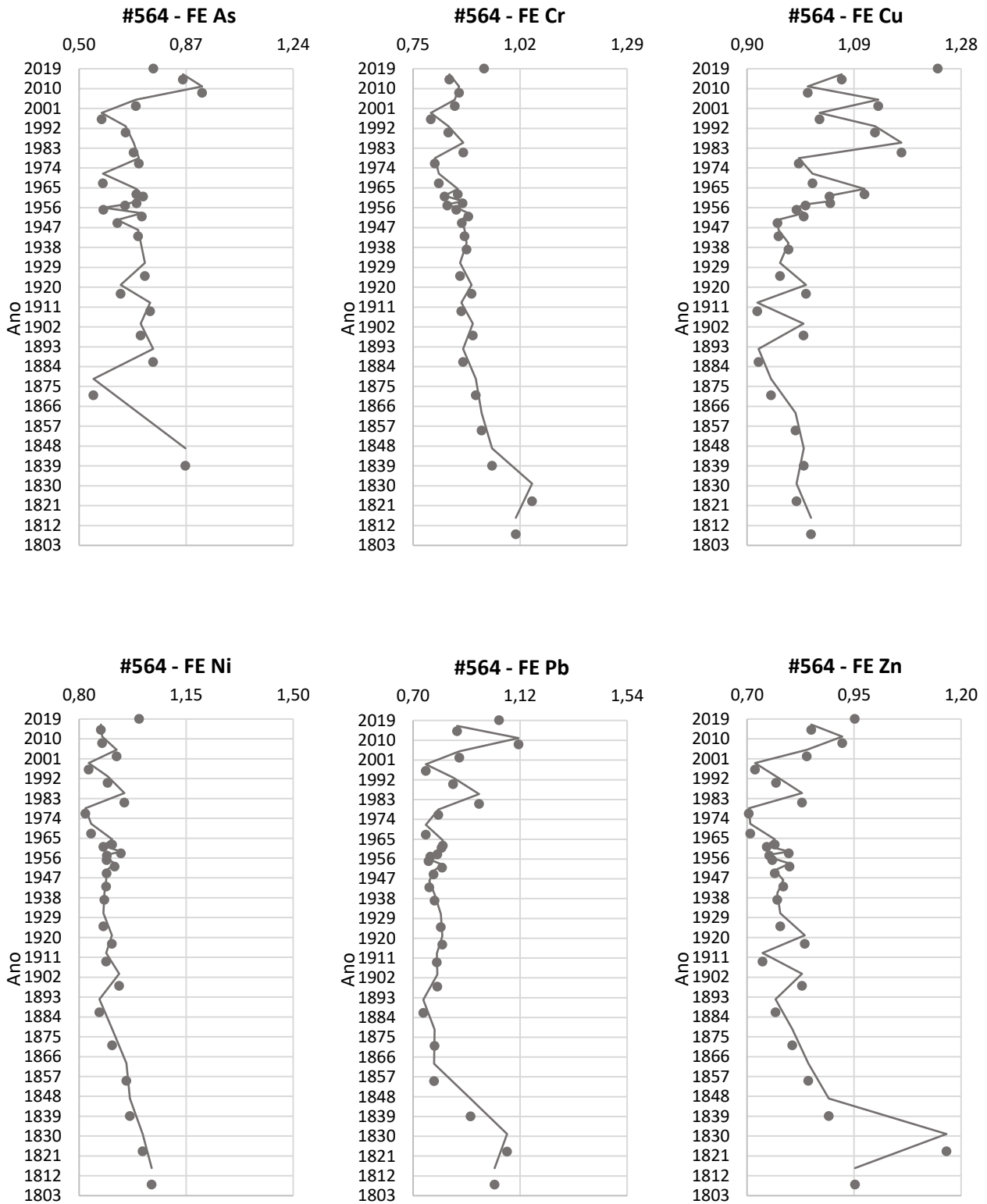




Figura 39 - Perfis verticais dos Fatores de Enriquecimento de metais e As obtidos no testemunho #576

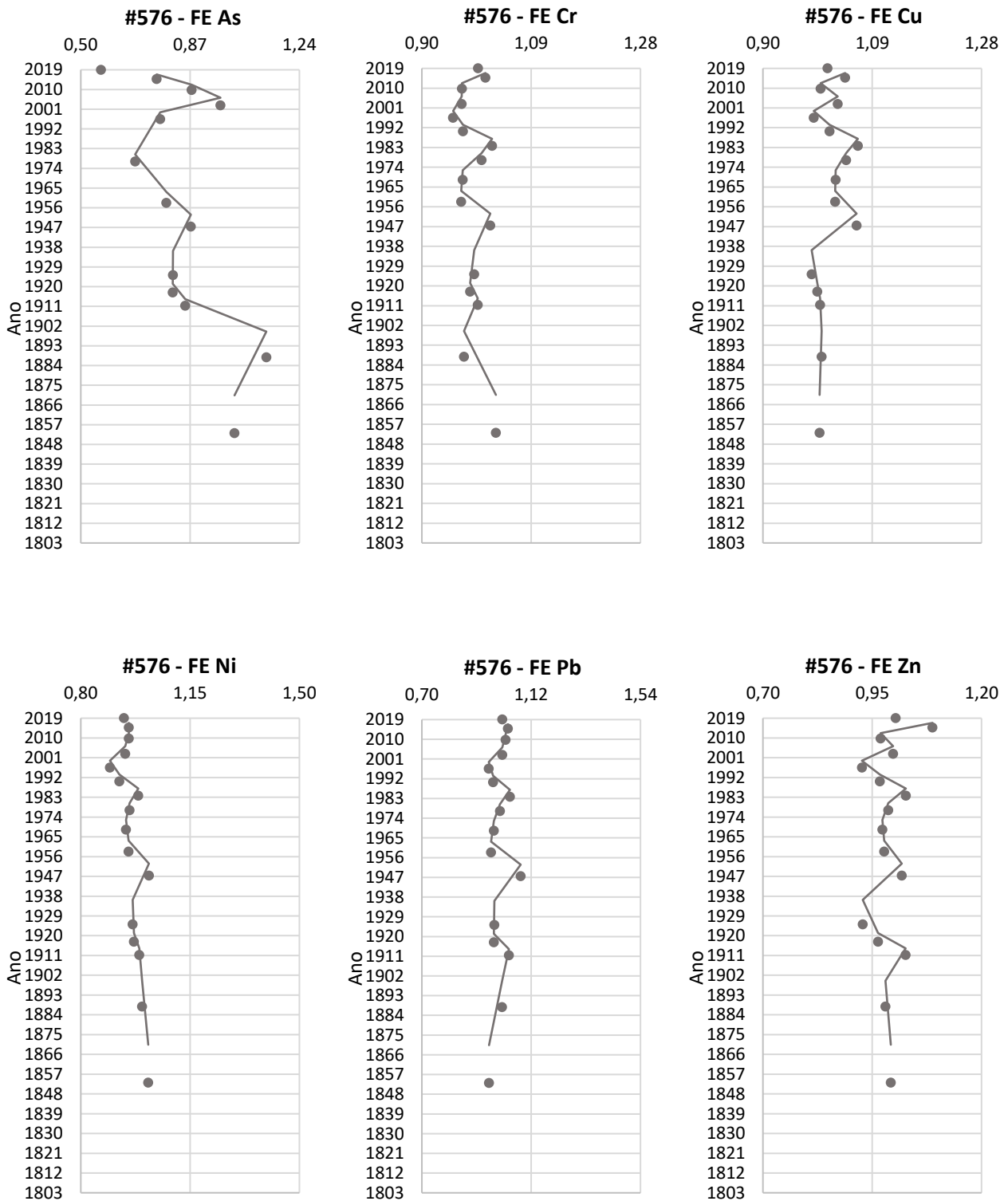
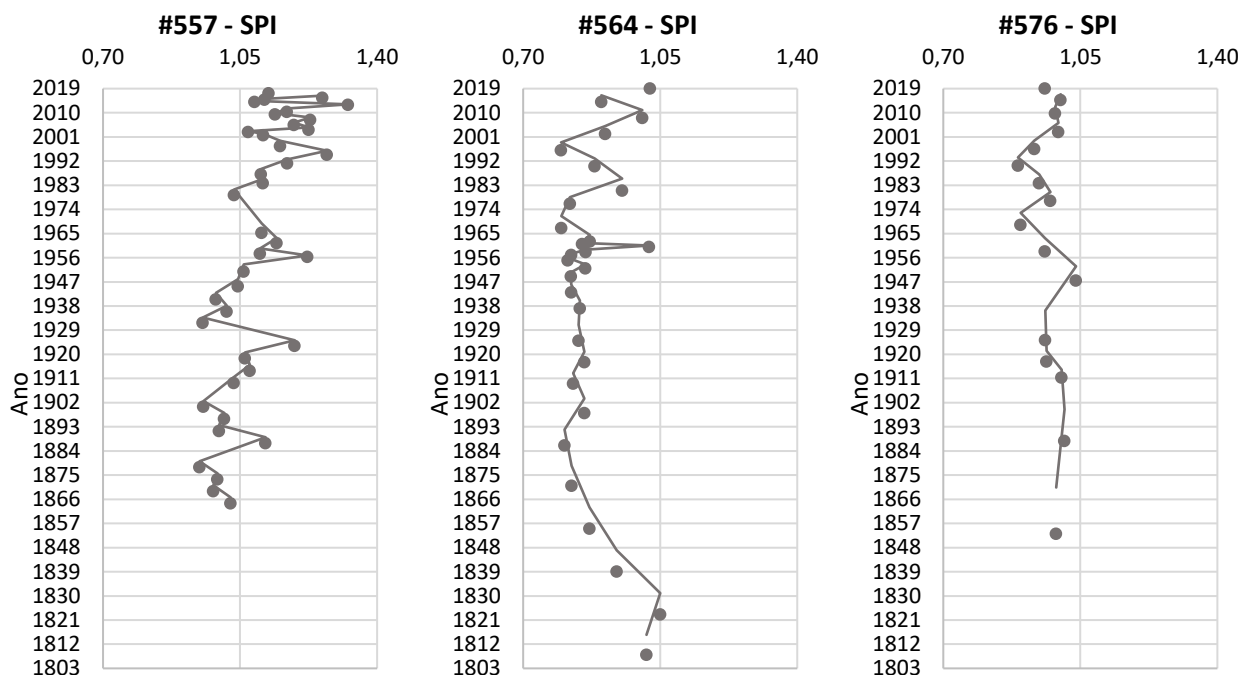


Figura 40 - Perfis verticais dos SPI obtidos nos testemunhos #557, #564 e #576



### 6.3.3. Considerações finais sobre o estudo de metais ao longo do Antropoceno

Nesse capítulo foi possível responder às seguintes perguntas iniciais:

1) *Houve variações no aporte de sedimentos de diferentes fontes na plataforma continental Sul do Brasil ao longo do Antropoceno?*

Na ACP foram destacadas para os três testemunhos fontes marinhas e terrígenas, assim como ocorreu ao longo do Holoceno. Os perfis verticais dos escores das componentes terrígenas e das razões Fe/Ca e Fe/K indicaram ao longo de todo o período uma intensificação do intemperismo continental e aporte terrígeno.

As, Cr, Cu, Ni, Pb, Ni e Zn apresentaram enriquecimentos em períodos conhecidos de aumento da atividade antrópica no Brasil e América Latina. Com isso, apesar dos níveis desses elementos não indicarem poluição e risco para a biota, foi sugerida uma fonte antrópica para esses elementos na região, além da origem natural.

2) *Variações no aporte terrígeno correspondem a períodos conhecidos de maior/menor influência do Rio de La Plata?*

O aumento do aporte terrígeno ao longo do Antropoceno, sugerido nos três testemunhos, está de acordo com os resultados obtidos por Perez et al. (2016) em outra região sob a influência do Rio de La Plata. Durante esse período, caracterizado pelo aumento antrópico dos gases de efeito estufa e aquecimento da América do Sul, o intemperismo químico continental e a descarga do Rio de La Plata podem ter sido intensificados, influenciando o aporte de materiais continentais e os níveis de elementos terrígenos da região.

*3) Houve um aumento no conteúdo de elementos de origem antropogênica a partir do início da industrialização na América Latina?*

Períodos de enriquecimento de As, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn nos três testemunhos puderam ser associados a diferentes eventos relacionados ao aumento da atividade antrópica. Alguns exemplos são, a partir de 1900, uma estimulação das práticas de mineração e produção de metais na América do Sul; após 1930, início da Revolução Industrial no Brasil e um crescimento econômico no Uruguai estimulado por um maior desenvolvimento da indústria nacional; na década de 90, adoção de políticas neoliberais e práticas para incentivar e melhorar a produção rural e o agronegócio voltado para a exportação no Brasil e América Latina; e uso de compostos orgânicos do chumbo na gasolina da década de 30 até a década de 90.

*4) Há indícios de que os diferentes processos responsáveis pela sedimentação na plataforma continental Sul do Brasil agem de forma semelhante na porção mais ao norte e mais ao sul?*

No estudo da ACP e das razões Fe/Ca e Fe/K os três testemunhos apresentaram respostas semelhantes, indicando um aumento no intemperismo químico e aporte terrígeno para a plataforma sul do Brasil, durante o Antropoceno.

Avaliando as variações dos elementos com possível origem antropogênica, no entanto, algumas tendências de aumento e enriquecimento foram observadas nos três testemunhos, mas outras apenas no #557, o que pode estar relacionado à posição deste testemunho, localizado mais ao Sul. Nessa porção da plataforma sul do Brasil, há possivelmente uma maior influência do Rio de La Plata. Este rio pode transportar sedimentos e materiais enriquecidos em metais de diferentes regiões da América Latina.

5) A caracterização elementar dos *mudbelts* da plataforma Sul do Brasil por ICP-OES se apresenta como uma boa ferramenta para o estudo de variações ambientais ocorridas na plataforma e no continente adjacente durante o Antropoceno?

Com o estudo dos metais na ACP e com as razões Fe/Ca e Fe/K, foram identificadas mudanças ocorridas no intemperismo continental e aporte terrígeno para a região, durante o Antropoceno. Variações nos níveis de As, Cr, Cu, Pb e Zn, puderam ser associadas a diferentes eventos relacionados ao aumento da atividade antrópica no Brasil e América do Sul. Desta forma, a partir da caracterização elementar dos *mudbelts* foi possível avaliar mudanças relevantes de origem antrópica nos últimos 200 anos.

## 7. CONCLUSÃO

A partir do estudo de metais e sedimentologia em três testemunhos longos, provenientes de depocentros de lama da plataforma continental sul do Brasil, foi possível atingir o objetivo principal deste trabalho e avaliar as mudanças ambientais ocorridas na região e no continente adjacente durante o Holoceno e Antropoceno. A partir da Análise de Componentes Principais e das razões Fe/Ca e/ou Fe/K, nos últimos 10600 anos, foi possível verificar as variações no intemperismo químico continental e no aporte terrígeno, os quais foram associados a períodos de aumento da descarga do Rio de La Plata e de sua influência na plataforma sul do Brasil, devido à diminuição do nível do mar e intensificação da precipitação sob a América do Sul. Com a avaliação de As, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn, nos últimos 200 anos, foram verificadas tendências de enriquecimento desses elementos, os quais também foram associados a períodos conhecidos de aumento da atividade antrópica no Brasil e na América do Sul resultantes do crescimento industrial e humano ao longo do Século XX. Dessa forma, nesse trabalho foi possível constatar que os *mudbelts* são áreas potenciais para retenção de metais e funcionam como sumidouros ao longo do tempo, e as variações encontradas nos três registros sedimentares da plataforma sul do Brasil se associam a mudanças naturais e antrópicas.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, A.  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  based techniques for the estimation of sediment chronologies and sediment rates in the Anzali Lagoon, Caspian Sea. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 322, n. 2, p. 319–330, 4 nov. 2019.
- ABRAHIM, G. M. S.; PARKER, R. J. **Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand**. Environmental Monitoring and Assessment. **Anais...**jan. 2008.
- ACHA, E. M. et al. Marine fronts at the continental shelves of austral South America: Physical and ecological processes. **Journal of Marine Systems**, v. 44, n. 1–2, p. 83–105, 2004.
- AGUIAR, J. E.; MARINS, R. V.; ALMEIDA, M. D. Comparação de metodologias de digestão de sedimentos marinhos para caracterização da geoquímica de metais-traço na plataforma continental nordeste oriental brasileira. **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 3, p. 304–323, 2007.
- AGW. **Working Group on the ‘Anthropocene’**. Disponível em: <<http://quaternary.stratigraphy.org/working-groups/anthropocene/>>. Acesso em: 1 abr. 2023.
- ALBERTO, C.; VARELLA, A. PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CPGA-CS Análise de Componentes Principais Conteúdo. 2008.
- ALVES, E. et al. Radiocarbon reservoir corrections on the Brazilian coast from pre-bomb marine shells. **Quaternary Geochronology**, v. 29, p. 30–35, 2015.
- ANDRADE, M. L. A. DE et al. **Indústria do cobre**. [s.l: s.n.].
- ANDRADE, P. **Variações de paleoprodutividade na plataforma continental interna ao largo de Itajaí-SC (26°59’16.8’’S – 048°04’33.6’’W) durante o Holoceno: uma abordagem de multi-indicadores**. Dissertação. Mestrado em Ciências, área de Oceanografia Química e Geológica—São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 2011.
- ANZECC AND ARMCANZ (AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND ENVIRONMENT AND CONSERVATION COUNCIL AND AGRICULTURE AND RESOURCE MANAGEMENT COUNCIL OF AUSTRALIA AND NEW ZEALAND). **Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality**. [s.l: s.n.].
- APPLEBY, P. G.; OLDFIELD, F. THE CALCULATION OF LEAD-210 DATES ASSUMING A CONSTANT RATE OF SUPPLY OF UNSUPPORTED  $^{210}\text{Pb}$  TO THE SEDIMENT. **Catena**, v. 5, p. 1–8, 1978.
- ARZ, H. W.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Correlated Millennial-Scale Changes in Surface Hydrography and Terrigenous Sediment Yield Inferred from Last-Glacial Marine Deposits off Northeastern Brazil. **Quaternary Research**, v. 50, p. 157–166, 1998.

- ARZ, H. W.; PATZOLD, J.; WEFER, G. Climatic changes during the last deglaciation recorded in sediment cores from the northeastern Brazilian Continental Margin. **Geo-Marine Letters**, v. 19, p. 209–218, 1999.
- BASTAMI, K. D. et al. Heavy metal pollution assessment in relation to sediment properties in the coastal sediments of the southern Caspian Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 92, n. 1–2, p. 237–243, 15 mar. 2015.
- BERGER, A.; LOUTRE, M. F. Insolation values for the climate of the last 10 million years. **Quaternary Science Reviews**, v. 10, n. 4, p. 297–317, jan. 1991.
- BERNAL, J. P. et al. High-resolution Holocene South American monsoon history recorded by a speleothem from Botuverá Cave, Brazil. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 450, p. 186–196, 15 set. 2016.
- BERNASCONI, E. Holocene foraminifera from the outer zone of the Bahía Blanca Estuary, Argentina (South America). **Quaternary International**, v. 631, p. 59–68, 10 set. 2022.
- BERRI, G. J. et al. **The Influence of ENSO in the Flows of the Upper Paraná River of South America over the Past 100 Years**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ncep.noaa.gov>>.
- BÍCEGO, M. C. et al. Mid- to late-Holocene analysis of the influence of the La Plata River plume on the southwestern Atlantic shelf: A paleoenvironmental reconstruction based on lipid biomarkers and benthic foraminifera. **The Holocene**, v. 32, n. 11, p. 1260–1276, 30 nov. 2022.
- BIDDANDA, B.; BENNER, R. Carbon, nitrogen, and carbohydrate fluxes during the production of particulate and dissolved organic matter by marine phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 42, n. 3, p. 506–518, maio 1997.
- BILOS, C.; COLOMBO, J. C.; PRESA, M. J. Trace metals in suspended particles, sediments and Asiatic clams (*Corbicula fluminea*) of the Río de la Plata Estuary, Argentina. **Environmental Pollution**, v. 99, n. 1, p. 1–11, 1998.
- BOLLE, H.-J. et al. **Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin**. [s.l.] Springer, 2015.
- BOTELLO, A. V.; GONZALEZ, C.; DIAZ, G. Pollution by petroleum hydrocarbons in sediments from continental shelf of Tabasco state, Mexico. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 47, n. 4, p. 565–571, out. 1991.
- BRADLEY, R. S. **Paleoclimatology - Reconstructing Climates of the Quaternary**. Second edition ed. Massachusetts: International Geophysics series, 1999. v. 68
- BUENO, C. et al. Historical economic and environmental policies influencing trace metal inputs in Montevideo Bay, Río de la Plata. **Marine Pollution Bulletin**, v. 113, n. 1–2, p. 141–146, 15 dez. 2016.
- BUENO, C. et al. A MULTI PROXY ASSESSMENT OF LONG-TERM ANTHROPOGENIC IMPACTS IN PATOS LAGOON, SOUTHERN BRAZIL. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 4, n. 3, p. 276–290, 16 ago. 2019.

- CAGNIN, R. C. **GEOQUÍMICA DO ARSÊNIO, DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS E DOS METAIS PESADOS Cr, Zn, Ni e Pb NAS PLATAFORMAS CONTINENTAIS DO RIO DOCE (ES) E DE ABROLHOS (BA)**. Tese de doutorado—Aracruz, ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.
- CALLIARI, L. Sedimentação Marinha. Em: **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas, RS: Editora Textos, 2017. p. 74–111.
- CALVERT, S. E.; PEDERSEN, T. F. Elemental Proxies for Palaeoclimatic and Palaeoceanographic Variability in Marine Sediments: Interpretation and Application. Em: **Developments in Marine Geology**. [s.l: s.n.]. v. 1p. 567–644.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Carbon and Nitrogen Dynamics of Soil Organic Matter Fractions from Cultivated Grassland Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 1, p. 123–130, jan. 1994.
- CANTERFORD, G. S.; CANTERFORD, D. R. Toxicity of Heavy Metals to the Marine Diatom *Ditylum Brightwellii* (West) Grunow: Correlation between Toxicity and Metal Speciation. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 60, n. 1, p. 227–242, 11 fev. 1980.
- CASTRO, B. M. et al. Estrutura Termohalina e Circulação na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). Em: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; MADUREIRA, L. S.-P. (Eds.). **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. [s.l.] edUSP, 2006.
- CASTRO, B.; MIRANDA, L. Physical Oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S – Coastal segment(4,W). Em: ROBINSON, A.; BRINK, K. (Eds.). **The Sea**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998. v. 11.
- CCDM - DEMA/UFSCAR. **Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES)**.
- CCME (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT). **Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Summary Tables**. [s.l: s.n.].
- CENTRO ANALÍTICO DE INSTRUMENTAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Espectrometria de emissão óptica com plasma - ICP OES**.
- CETESB. **Apêndice P - Perfis Sedimentares Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. [s.l: s.n.].
- CLARK, P. U. et al. The Last Glacial Maximum. **Science**, v. 325, n. 5941, p. 710–714, 7 ago. 2009.
- COLOMBO, J. C. et al. Detritivorous fish contamination in the Río de la Plata estuary: a critical accumulation pathway in the cycle of anthropogenic compounds. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 57, n. 6, p. 1139–1150, 1 jun. 2000.
- CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.454. (2012). Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o**

**gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.** . [s.l: s.n.].

- CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. F. The 'Anthropocene' (2000). Em: [s.l: s.n.]. p. 19–21.
- CRUTZEN, P.; STOERMER, E. The Anthropocene. **Global Change Newsletter**, v. 41, p. 17–18, 2000.
- CZIKKELY, M. et al. **Review of heavy metal adsorption processes by several organic matters from wastewaters. Water (Switzerland)**MDPI AG, , 1 out. 2018.
- DA SILVA, M. A. M. Provenance of heavy minerals in beach sands, southeastern Brazil: from Rio Grande to Chui (Rio Grande do Sul State). **Sedimentary Geology**, v. 24, n. 1–2, p. 133–148, set. 1979.
- DAMASCENO, G. C. **Geologia, mineração e meio ambiente**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017.
- DE HAAS, H.; WEERING, T. C. E. VAN; STIGTER, H. DE. Organic carbon in shelf seas: Sinks or sources, processes and products. **Continental Shelf Research**, v. 22, n. 5, p. 691–717, 2002.
- DE MAHIQUES, M. M. et al. Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 15, p. 1685–1697, 2004.
- DE MAHIQUES, M. M. et al. Nd and Pb isotope signatures on the Southeastern South American upper margin: Implications for sediment transport and source rocks. **Marine Geology**, v. 250, n. 1–2, p. 51–63, 21 abr. 2008a.
- DE MAHIQUES, M. M. et al. Nd and Pb isotope signatures on the Southeastern South American upper margin: Implications for sediment transport and source rocks. **Marine Geology**, v. 250, n. 1–2, p. 51–63, 21 abr. 2008b.
- DE MAHIQUES, M. M. et al. A high-resolution Holocene record on the Southern Brazilian shelf: Paleoenvironmental implications. **Quaternary International**, v. 206, n. 1–2, p. 52–61, 1 set. 2009.
- DE MAHIQUES, M. M. et al. Mud depocentres on the continental shelf: a neglected sink for anthropogenic contaminants from the coastal zone. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 1, p. 1–12, 2016.
- DE MAHIQUES, M. M. et al. Sedimentation on the southern Brazilian shelf mud depocenters: Insights on potential source areas. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 100, 1 jun. 2020.
- DE SOUZA, R. B.; ROBINSON, I. S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 2, p. 241–262, 2004.
- DIAS, C. A. P. et al. Geochemical characterization and assessment of contamination in mud depocenters from the southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, p. 104971, mar. 2023.



- DIN, Z. B. Use of aluminium to normalize heavy-metal data from estuarine and coastal sediments of Straits of Melaka. **Marine Pollution Bulletin**, v. 24, n. 10, p. 484–491, out. 1992.
- DOU, Y. et al. Distribution, enrichment and source of heavy metals in surface sediments of the eastern Beibu Bay, South China Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 67, n. 1–2, p. 137–145, 2013.
- EBAID, Y. Y.; KHATER, A. E. M. Determination of  $^{210}\text{Pb}$  in environmental samples. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 270, n. 3, p. 609–619, dez. 2006.
- FERNÁNDEZ, Z. **Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas**. Tese de doutorado. Doutorado em Ciências, Área de Concentração: Dosimetria e Instrumentação—Recife, PE: UFPE, 2017.
- FERREIRA, P. A. DE L. et al.  $^{137}\text{Cs}$  in marine sediments of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Science of the Total Environment**, v. 443, p. 505–510, 5 jan. 2013.
- FERREIRA, P. A. DE L. et al. Insights on the marine sedimentation of the continental shelf and upper slope off SE Brazil during the 20th century with natural radionuclides. **Regional Studies in Marine Science**, v. 39, 2020.
- FERREIRA, P. A. L. **Métodos de estudo de variáveis e processos de dinâmica sedimentar marinha com radionuclídeos naturais e artificiais**. PhD thesis—São Paulo: Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2018.
- FIGUEIRA, R. C. L. et al. Distribution of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  and  $^{239} + ^{240}\text{Pu}$  in sediments of the southeastern Brazilian shelf-SW Atlantic margin. **Science of the Total Environment**, v. 357, n. 1–3, p. 146–159, 15 mar. 2006.
- FIGUEIRA, R. C. L. et al. 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**, v. 47, p. 649–656, 2007.
- FUKUE, M. et al. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 1 SPEC. ISS., p. 111–119, 10 ago. 2006.
- GARZANTI, E. et al. From Patagonia to Río de la Plata: Multistep long-distance littoral transport of Andean volcanoclastic sand along the Argentine passive margin. **Sedimentology**, v. 68, n. 7, p. 3357–3384, 21 dez. 2021.
- GIBBARD, P. L.; HEAD, M. J. The Quaternary Period. Em: **Geologic Time Scale 2020**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 1217–1255.
- GODOY, J. M. et al. An Alternative Method for the Determination of Excess  $^{210}\text{Pb}$  in Sediments. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 75, n. 1, p. 111–115, 1 jan. 1998.
- GOÑI, M. A.; RUTTENBERG, K. C.; EGLINTON, T. I. A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 62, p. 3055–3075, 1998.

- GOVIN, A. et al. Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36°N-49°S): Imprint of terrigenous input and continental weathering. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 13, n. 1, 1 jan. 2012.
- GRANT, J. et al. **Benthic oxygen consumption on continental shelves off Eastern Canada****Continental Shelf Research**. [s.l.: s.n.].
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, v. 13, n. 1, p. 35–58, jan. 2000.
- GU, Y. G. et al. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. **Environmental Pollution**, v. 163, p. 248–255, abr. 2012.
- GYLLENCREUTZ, R. et al. Mid- to late-Holocene paleoceanographic changes on the southeastern Brazilian shelf based on grain size records. **Holocene**, v. 20, n. 6, p. 863–875, 2010.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1–9, 2001.
- HANEBUTH, T. J. J.; LANTZSCH, H.; NIZOU, J. Mud depocenters on continental shelves—appearance, initiation times, and growth dynamics. **Geo-Marine Letters**, v. 35, n. 6, p. 487–503, 2015.
- HAUG, G. H. et al. Southward migration of the intertropical convergence zone through the holocene. **Science**, v. 293, n. 5533, p. 1304–1308, 17 ago. 2001.
- HAUKE, J.; KOSSOWSKI, T. Comparison of values of pearson’s and spearman’s correlation coefficients on the same sets of data. **Quaestiones Geographicae**, v. 30, n. 2, p. 87–93, jun. 2011.
- HEATON, T. J. et al. Marine20 - The Marine Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55,000 cal BP). **Radiocarbon**, v. 62, n. 4, p. 779–820, 1 ago. 2020.
- INMETRO (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, Q. E T. **Orientação sobre validação de Métodos Analíticos**. [s.l.: s.n.].
- JENNERJAHN, T. C. et al. **Asynchronous Terrestrial and Marine Signals of Climate Change During Heinrich Events**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/>>.
- JONES, P. D.; BRIFFA, K. R. Global Surface Air Temperature Variations During the Twentieth Century: Part 1, Spatial, Temporal and Seasonal Details. **The Holocene**, v. 2, n. 2, p. 165–179, 1 jul. 1992.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th. ed. [s.l.] CRC Press, 2011.

- KANNER, L. C. et al. High-resolution variability of the South American summer monsoon over the last seven millennia: insights from a speleothem record from the central Peruvian Andes. **Quaternary Science Reviews**, v. 75, p. 1–10, set. 2013.
- KIM, B. S. M. et al. Insights into leaded gasoline registered in mud depocenters derived from multivariate statistical tool: southeastern Brazilian coast. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 43, n. 1, p. 47–63, 1 jan. 2020.
- KIM, G.; YANG, H.-S.; CHURCH, T. M. Geochemistry of alkaline earth elements (Mg, Ca, Sr, Ba) in the surface sediments of the Yellow Sea. **Chemical Geology**, v. 153, p. 1–10, 1999.
- LAMB, A. L.; WILSON, G. P.; LENG, M. J. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N ratios in organic material. **Earth-Science Reviews**, v. 75, n. 1–4, p. 29–57, 2006.
- LEE, S.-J.; BERBERY, E. H. Land Cover Change Effects on the Climate of the La Plata Basin. **Journal of Hydrometeorology**, v. 13, n. 1, p. 84–102, 1 fev. 2012.
- LIBES, S. **Introduction to Marine Biogeochemistry**. Second ed. [s.l.] Elsevier, 2009.
- LIU, E. et al. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. **Science of the Total Environment**, v. 476–477, p. 522–531, 1 abr. 2014.
- LOSKA, K.; WIECHUŁA, D. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. **Chemosphere**, v. 51, n. 8, p. 723–733, jun. 2003.
- MARQUES, W. S. et al. Principal component analysis (PCA) and mineral associations of litoraneous facies of continental shelf carbonates from northeastern Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 20, p. 2709–2717, dez. 2008.
- MARSHALL, C. P.; FAIRBRIDGE, R. W. **ENCYCLOPEDIA of GEOCHEMISTRY** Kluwer Academic Publishers, , 1999. (Nota técnica).
- MARTINEZ, J. A.; DOMINGUEZ, F. Sources of Atmospheric Moisture for the La Plata River Basin\*. **Journal of Climate**, v. 27, n. 17, p. 6737–6753, 1 set. 2014.
- MARTINS, C. et al. A dinâmica de metais-traço no solo. **Revista brasileira de agrobiologia**, v. 17, n. 3, p. 383–391, 2011.
- MASLIN, M.; STICKLEY, C.; ETTWEIN, V. Holocene Climate Variability. Em: **Encyclopedia of Ocean Sciences**. [s.l.] Elsevier, 2001. p. 125–132.
- MCDONOUGH, W.; SUN, S. The composition of the Earth. **Chemical Geology**, v. 120, p. 223–253, 1995.
- MIRANDA, A. C. DE et al. Neoliberalismo, uso de agrotóxicos e a crise da soberania alimentar no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 7–14, mar. 2007.
- MIRLEAN, N. et al. Arsenic pollution in Patos Lagoon estuarine sediments, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, n. 11, p. 1480–1484, nov. 2003.

- MOHRIAK, W. U.; TORRES, L. C. Levantamentos geofísicos para a delimitação da margem continental brasileira. **Revista USP**, n. 113, p. 59, 2017.
- MOURELLE, D. et al. Mid and late Holocene multiproxy analysis of environmental changes linked to sea-level fluctuation and climate variability of the Río de la Plata estuary. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 421, p. 75–88, 1 mar. 2015.
- MUNIZ, P. et al. Heavy metals and As in surface sediments of the north coast of the Río de la Plata estuary: Spatial variations in pollution status and adverse biological risk. **Regional Studies in Marine Science**, v. 28, 1 abr. 2019.
- NACE, T. E. et al. The role of North Brazil Current transport in the paleoclimate of the Brazilian Nordeste margin and paleoceanography of the western tropical Atlantic during the late Quaternary. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 3–13, 1 dez. 2014.
- NAGAI, R.; SOUSA, S.; MAHIQUES, M. The southern Brazilian shelf. **Geological Society Memoir**, v. 41, n. 1, p. 47–54, 2014.
- NAUGHTON, F. et al. The Younger Dryas Stadial. Em: **European Glacial Landscapes**. [s.l.] Elsevier, 2023. p. 51–57.
- NEGREL, PH. Multi-element Chemistry of Loire Estuary Sediments: Anthropogenic vs. Natural Sources. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 44, n. 4, p. 395–410, abr. 1997.
- NEUKOM, R. et al. Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. **Climate Dynamics**, v. 37, n. 1, p. 35–51, jul. 2011.
- NITTROUER, C. A.; DONELSON WRIGHT, L. TRANSPORT OF PARTICLES ACROSS CONTINENTAL SHELVES. **Reviews of Geophysics**, v. 32, p. 85–113, 1994.
- NIZOU, J. et al. The Senegal River mud belt: A high-resolution archive of paleoclimatic change and coastal evolution. **Marine Geology**, v. 278, n. 1–4, p. 150–164, 15 dez. 2010.
- ODEBRECHT, C. et al. O Efeito de Perturbações Naturais e Antrópicas na Ecologia do Estuário da Lagoa dos Patos. Em: MARCELO TABARELLI et al. (Eds.). **PELD CNPq: dez anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração do Brasil: achados, lições e perspectivas**. 1. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2013. p. 223–248.
- OLSEN, C. R.; CUTSHALL, N. H.; LARSEN, I. L. **POLLUTANT-PARTICLE ASSOCIATIONS AND DYNAMICS IN COASTAL MARINE ENVIRONMENTS: A REVIEW**\***Marine Chemistry**. [s.l.: s.n.].
- ONISHI, H.; SANDELL, E. B. Geochemistry of arsenic. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 7, p. 1–33, 1955.
- OUDIJK, G. The rise and fall of organometallic additives in automotive gasoline. **Environmental Forensics**, v. 11, n. 1–2, p. 17–49, mar. 2010.

- PALANQUES, A.; DIAZ, J. I. Anthropogenic heavy metal pollution in the sediments of the Barcelona continental shelf (Northwestern Mediterranean). **Marine Environmental Research**, v. 38, n. 1, p. 17–31, jan. 1994.
- PELTIER, W. R. **On eustatic sea level history: Last Glacial Maximum to Holocene**. **Quaternary Science Reviews**. [s.l.: s.n.].
- PEMPKOWIAK, J.; SIKORA, A.; BIERNACKA, E. Speciation of heavy metals in marine sediments vs their bioaccumulation by mussels. **Chemosphere**, v. 39, n. 2, p. 313–321, jul. 1999.
- PEREIRA DA SILVA, A. The new Brazilian claim on the sea : the extended continental shelf and the “ Blue Amazon ” Project. **Revista Brasileira de Política Internacional**, p. 104–121, 2013.
- PEREIRA, L. B.; BRUNEAU, T. C.; DYKE, M. VAN. **Development and Crisis in Brazil, 1930-1983**. [s.l.] Routledge, 2019.
- PEREZ, L. et al. Climatic oscillations modulating the late holocene fluvial discharge and terrigenous material supply from the Río de la Plata into the southwestern atlantic ocean. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 3, n. 4, p. 205–219, 18 dez. 2018.
- PEREZ, L.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F.; HANEBUTH, T. J. J. Variability in terrigenous sediment supply offshore of the Río de la Plata (Uruguay) recording the continental climatic history over the past 1200 years. **Climate of the Past**, v. 12, n. 3, p. 623–634, 14 mar. 2016.
- PETERSON, L. C. et al. Late Quaternary stratigraphy and sedimentation at Site 1002, Cariaco Basin (Venezuela). Em: **Proceedings of the Ocean Drilling Program, 165 Scientific Results**. [s.l.] Ocean Drilling Program, 2000.
- PIOLA, A. R. et al. Subtropical shelf front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 105, n. C3, p. 6565–6578, 15 mar. 2000.
- PIOLA, A. R.; ROMERO, S. I. ANALYSIS OF SPACE-TIME VARIABILITY OF THE PLATA RIVER PLUME. **Gayana (Concepción)**, v. 68, n. 2, p. 482–486, 2004.
- PIVEL, M. A. G. et al. The Holocene onset in the southwestern South Atlantic. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 374, p. 164–172, 15 mar. 2013.
- PRIETO, A. R. et al. Relative sea-level changes during the Holocene in the Río de la Plata, Argentina and Uruguay: A review. **Quaternary International**, v. 442, p. 35–49, 23 jun. 2017.
- RAZIK, S. et al. Interaction of the South American Monsoon System and the Southern Westerly Wind Belt during the last 14kyr. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 374, p. 28–40, 15 mar. 2013.
- RODBELL, D. T. et al. An ~15,000-Year Record of El Niño-Driven Alluviation in Southwestern Ecuador. **Science**, v. 283, n. 5401, p. 516–520, 22 jan. 1999.

- RUBIO, B.; NOMBELA, M. A.; VILAS, F. Geochemistry of Major and Trace Elements in Sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an Assessment of Metal Pollution. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, p. 968–980, 2000.
- SALINGER, M. J.; JONES, P. D. Southern Hemisphere climate: the modern record. **Papers and Proceedings - Royal Society of Tasmania**, v. 130, n. 2, p. 101–107, 1996.
- SANDWEISS, D. H. et al. Geoarchaeological Evidence from Peru for a 5000 Years B.P. Onset of El Niño. **Science**, v. 273, n. 5281, p. 1531–1533, 1996.
- SANTOS, F. R. et al. Organic contaminants and trace metals in the western South Atlantic upper continental margin: Anthropogenic influence on mud depocenters. **Marine Pollution Bulletin**, v. 154, 1 maio 2020.
- SCHIFER, T. DOS S.; JUNIOR, S. B.; MONTANO, M. A. E. Aspectos toxicológicos do chumbo. **Infarma**, v. 17, p. 67–72, 2005.
- SELVAM, S.; JESURAJA, K.; GNANACHANDRASAMY, G. Arsenic Contamination. Em: **GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 323–329.
- SHIRANI, M. et al. Pollution and contamination assessment of heavy metals in the sediments of Jazmurian playa in southeast Iran. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 1 dez. 2020.
- SINGH, M.; MÜLLER, G.; SINGH, I. B. **HEAVY METALS IN FRESHLY DEPOSITED STREAM SEDIMENTS OF RIVERS ASSOCIATED WITH URBANISATION OF THE GANGA PLAIN, INDIA**. [s.l.: s.n.].
- STRIKIS, N. M. et al. Abrupt variations in South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. **Geology**, v. 39, n. 11, p. 1075–1078, 1 nov. 2011.
- STRUNK, A. et al. Improving the reliability of bulk sediment radiocarbon dating. **Quaternary Science Reviews**, v. 242, 15 ago. 2020.
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1. ed. [s.l.] Blucher, 2007. v. 1
- SUTHERLAND, R. A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. **Environmental Geology**, v. 39, n. 6, p. 611–627, 2000.
- TATONE, L. M.; SKORUPKA, C. N.; COLOMBO, J. C. Comprehensive evaluation of metal pollution and ecological risk in settling material from differently impacted sites in the Río de la Plata basin. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 27, n. 3, p. 638–650, 2021.
- TAYLOR, L. **After Neoliberalism: What Next for Latin America?** [s.l.] Ann Arbor: University of Michigan Press, 1999.
- TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M. DE. Processos Oceanicos E a Fisiografia Dos Fundos Marinhos. Em: **Decifrando a Terra**. [s.l.: s.n.]. p. 261–284.
- THORNTON, I.; FARAGO, M. The geochemistry of arsenic. Em: **Arsenic**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1997. p. 1–16.

- TINOCO, D. **Qualidade dos sedimentos da Plataforma Continental Sul do Brasil**. Dissertação. Mestrado em Química—Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, 2017.
- TONIOLO, T. DE F. et al. Sea-level fall and coastal water cooling during the Late Holocene in Southeastern Brazil based on vermetid bioconstructions. **Marine Geology**, v. 428, 1 out. 2020.
- TREVIZANI, T. H. et al. Heavy metal concentrations in the benthic trophic web of Martel Inlet, Admiralty Bay (King George Island, Antarctica). **Marine Pollution Bulletin**, v. 130, p. 198–205, 1 maio 2018.
- TREVIZANI, T. H. et al. Assessment of metal contamination in fish from estuaries of southern and southeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 5, 1 maio 2019.
- UGLIETTI, C. et al. Widespread pollution of the south american atmosphere predates the industrial revolution by 240 y. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 8, p. 2349–2354, 24 fev. 2015.
- USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Method 3050B, acid digestion of sediments, sludges and soil**. [s.l: s.n.].
- VIOLANTE, R. A.; PARKER, G. The post-last glacial maximum transgression in the de la Plata River and adjacent inner continental shelf, Argentina. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 167–181, 2004.
- WADE, T.; CANTILLO, Y. use of standards and reference material in the measurement of chlorinated hydrocarbon residues. **Chemistry Workbook. NOAA.**, 1994.
- WAGNER, S.; FAST, I.; KASPAR, F. Comparison of 20th century and pre-industrial climate over South America in regional model simulations. **Climate of the Past**, v. 8, n. 5, p. 1599–1620, 16 out. 2012.
- WATERS, C. N. et al. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. **Science**, v. 351, n. 6269, 8 jan. 2016.
- WEST, J.; SCHANDL, H. Material use and material efficiency in latin america and the caribbean. **Ecological Economics**, v. 94, p. 19–27, out. 2013.
- ZALASIEWICZ, J. et al. The New World of the Anthropocene. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 7, p. 2228–2231, 1 abr. 2010.
- ZALASIEWICZ, J. et al. The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. **Anthropocene**, v. 13, p. 4–17, mar. 2016.
- ZHANG, C. et al. Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. **Environment International**, v. 73, p. 270–281, dez. 2014.
- ZHANG, Y. et al. Origin of increased terrigenous supply to the NE South American continental margin during Heinrich Stadial 1 and the Younger Dryas. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 432, p. 493–500, 15 dez. 2015.

ZOLLER, W. H.; GLADNEY, E. S.; DUCE, R. A. Atmospheric concentrations and sources of trace metals at the south pole. **Science**, v. 183, p. 198–200, 1974.

ZULAR, A. et al. Late Holocene intensification of colds fronts in southern Brazil as indicated by dune development and provenance changes in the São Francisco do Sul coastal barrier. **Marine Geology**, v. 335, p. 64–77, 1 jan. 2013.



ANEXO A - Resultados da análise granulométrica em cada testemunho

#557	Amostra	Areia	Silte	Argila	Lama	#557	Amostra	Areia	Silte	Argila	Lama
	2	65,69	31,76	2,54	34,31		98	67,87	29,47	2,66	32,13
	4	66,01	31,24	2,75	33,99		100	71,30	26,42	2,28	28,70
	6	56,47	39,36	4,17	43,53		102	71,24	26,51	2,25	28,76
	8	60,15	36,24	3,62	39,85		104	64,75	31,96	3,29	35,25
	10						106				
	12	53,15	41,75	5,10	46,85		108	61,54	34,57	3,88	38,46
	14	62,57	33,82	3,61	37,43		110	52,13	44,56	3,31	47,87
	16	57,36	38,33	4,31	42,64		112	45,00	49,17	5,83	55,00
	18	62,03	34,69	3,28	37,97		114	38,00	56,17	5,83	62,00
	20	48,81	46,30	4,90	51,19		116	36,81	57,89	5,30	63,19
	22	55,95	39,91	4,15	44,05		118	35,92	58,82	5,26	64,08
	24	51,06	43,74	5,20	48,94		120	38,31	56,35	5,35	61,69
	26	54,59	40,24	5,17	45,41		122	38,85	55,92	5,23	61,15
	28	57,71	37,62	4,67	42,29		124	40,18	54,72	5,11	59,82
	30	59,98	35,78	4,25	40,02		126	38,66	55,98	5,36	61,34
	32	57,46	38,30	4,24	42,54		128	40,07	54,89	5,03	59,93
	34	59,98	36,35	3,67	40,02		130	36,41	58,05	5,54	63,59
	36	53,75	42,28	3,97	46,25		132	46,62	48,77	4,62	53,38
	38	57,49	38,54	3,98	42,51		134	40,59	53,85	5,56	59,41
	40						136	38,80	56,23	4,96	61,20
	42	53,95	41,50	4,55	46,05		138	31,60	62,73	5,67	68,40
	44	47,09	47,09	5,82	52,91		140	38,23	56,17	5,60	61,77
	46	46,05	48,13	5,83	53,95		142	38,50	55,15	6,34	61,50
	48	50,22	44,88	4,90	49,78		144	29,70	63,83	6,47	70,30
	50	49,24	45,59	5,17	50,76		146	32,60	61,61	5,79	67,40
	52	55,20	40,70	4,10	44,80		148	29,29	64,59	6,12	70,71
	54	50,68	44,50	4,83	49,32		150	26,33	66,53	7,14	73,67
	56	40,32	54,21	5,47	59,68		152	30,67	63,82	5,51	69,33
	58	44,06	51,05	4,88	55,94		154	29,61	64,67	5,72	70,39
	60						156	19,71	72,98	7,30	80,29
	62	52,85	42,34	4,80	47,15		158	27,28	66,26	6,47	72,72
	64	48,07	46,43	5,50	51,93		160	20,15	72,35	7,50	79,85
	66	56,13	39,51	4,36	43,87		162	22,74	70,34	6,92	77,26
	68	63,98	32,94	3,07	36,02		164	29,08	63,89	7,02	70,92
	70						166	28,99	64,34	6,67	71,01
	72	59,32	36,78	3,90	40,68		168	35,35	58,79	5,87	64,65
	74	51,76	43,48	4,76	48,24		170	23,87	68,62	7,51	76,13
	76	60,19	36,41	3,40	39,81		172	34,02	59,88	6,10	65,98
	78	49,45	45,76	4,80	50,55		174	25,33	68,52	6,15	74,67
	80	63,31	33,03	3,65	36,69		176	28,74	64,95	6,31	71,26
	82	66,48	30,64	2,88	33,52		178	27,11	66,83	6,06	72,89
	84	69,98	27,60	2,42	30,02		180	28,25	65,55	6,20	71,75
	86	69,54	27,98	2,48	30,46		182				
	88	70,93	26,68	2,40	29,07		184	22,44	70,35	7,21	77,56
	90	63,37	33,59	3,04	36,63		186	25,38	67,48	7,14	74,62
	92	72,10	25,64	2,26	27,90		188	27,34	66,45	6,21	72,66
	94	76,96	21,24	1,81	23,04		190	19,64	73,23	7,13	80,36
	96	68,15	28,67	3,17	31,85		192	19,76	72,95	7,30	80,24

#557	Amostra	Areia	Silte	Argila	Lama	#564	Amostra	Areia	Silte	Argila	Lama
	194	16,95	75,22	7,83	83,05		6	26,25	61,46	12,29	73,75
	196	25,80	68,22	5,98	74,20		8	17,94	65,62	16,43	82,06
	198	19,42	73,76	6,82	80,58		10	10,40	67,31	22,29	89,60
	200	23,00	70,87	6,13	77,00		12	13,37	68,02	18,60	86,63
	202	21,94	72,38	5,67	78,06		14	22,81	63,79	13,39	77,19
	204	20,51	73,11	6,38	79,49		16	20,50	61,17	18,33	79,50
	206	23,52	70,71	5,77	76,48		18	13,51	70,84	15,65	86,49
	208	23,83	69,86	6,31	76,17		20	16,19	65,90	17,91	83,81
	210	24,51	70,05	5,43	75,49		22	18,09	69,21	12,70	81,91
	212	20,11	73,00	6,89	79,89		24	17,35	66,37	16,28	82,65
	214	23,29	70,13	6,57	76,71		26	16,11	68,02	15,88	83,89
	216	17,25	75,58	7,18	82,75		28	15,24	70,72	14,04	84,76
	218	20,50	72,55	6,94	79,50		30	21,56	64,75	13,68	78,44
	220	19,48	74,00	6,52	80,52		32	27,56	57,24	15,20	72,44
	222	19,60	73,61	6,79	80,40		34	35,99	51,89	12,11	64,01
	224	16,48	75,21	8,31	83,52		36	25,86	64,70	9,45	74,14
	226	20,67	72,32	7,01	79,33		38	34,75	51,89	13,36	65,25
	228	24,96	68,97	6,07	75,04		40	31,29	55,64	13,07	68,71
	230	18,14	74,88	6,98	81,86		42	30,23	57,65	12,12	69,77
	232	17,88	74,91	7,22	82,12		44	39,79	51,10	9,11	60,21
	234	22,09	72,11	5,80	77,91		46	35,72	53,72	10,56	64,28
	236	17,44	75,45	7,11	82,56		48	34,50	54,15	11,36	65,50
	238	15,48	76,56	7,96	84,52		50	44,24	46,14	9,62	55,76
	240						52	50,30	41,29	8,40	49,70
	242	19,96	73,25	6,79	80,04		54	76,13	20,08	3,79	23,87
	244	23,01	71,25	5,75	76,99		56	73,85	22,25	3,90	26,15
	246	16,84	76,62	6,55	83,16		58	83,45	13,81	2,75	16,55
	248	17,63	76,06	6,31	82,37	<b>#576</b>	<b>Amostra</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>Lama</b>
	250	13,48	77,75	8,77	86,52		0,0	6,8	78,7	14,5	93,2
	252	16,98	76,32	6,70	83,02		2,4	19,9	66,3	13,8	94,1
	254	20,77	72,74	6,49	79,23		4,7	4,9	80,1	15,0	95,1
	256	21,10	72,36	6,55	78,90		7,1	5,0	78,1	16,9	95,0
	258	18,06	76,12	5,82	81,94		9,4	2,8	84,1	13,1	97,2
	260	18,40	75,59	6,01	81,60		11,8	7,9	78,4	13,6	92,1
	262	18,82	75,24	5,94	81,18		14,1	5,7	78,8	15,5	94,3
	264	16,85	76,82	6,34	83,15		16,5	3,4	79,2	17,4	96,6
	266	16,23	76,47	7,30	83,77		18,8	4,9	80,0	15,1	95,1
	268	15,64	77,67	6,69	84,36		21,2	3,9	79,0	17,0	96,1
	270	15,82	77,29	6,89	84,18		23,5	7,8	78,3	13,9	92,2
	272						25,9	5,5	79,7	14,8	94,5
	274	18,09	74,89	7,02	81,91		28,2	15,0	72,5	12,5	85,0
	276	19,47	74,04	6,49	80,53		30,6	13,4	73,6	13,0	86,6
	278	23,94	69,86	6,20	76,06		32,9	10,1	75,2	14,8	89,9
	280						35,3	9,1	76,2	14,7	90,9
	282	20,32	73,12	6,56	79,68		37,6	22,9	65,0	12,0	77,1
	284	20,25	73,31	6,43	79,75		40,0	16,2	70,7	13,1	83,8
<b>#564</b>	<b>Amostra</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>Lama</b>		42,3	13,0	73,3	13,7	87,0
	0	9,79	79,26	10,95	90,21		44,7	18,9	67,7	13,4	81,1
	2	6,82	79,07	14,11	93,18		47,0	8,1	75,3	16,6	91,9
	4	52,19	37,17	10,64	47,81		49,4	6,1	79,4	14,5	93,9

#576	Amostra	Areia	Silte	Argila	Lama	#576	Amostra	Areia	Silte	Argila	Lama
	51,7	17,2	68,7	14,1	82,8		126,9	9,9	75,2	14,8	90,1
	54,1	21,5	64,8	13,7	78,5		129,3	8,6	74,5	16,9	91,4
	56,4	5,7	78,7	15,6	94,3		131,6	8,7	75,1	16,2	91,3
	58,8	16,0	71,3	12,7	84,0		134,0	8,5	74,9	16,6	91,5
	61,1	17,4	70,3	12,3	82,6		136,3	13,0	73,1	13,9	87,0
	63,5	11,4	77,0	11,6	88,6		138,7	11,7	73,5	14,8	88,3
	65,8	13,4	73,1	13,5	86,6		141,0	12,8	72,3	14,9	87,2
	68,2	30,4	59,3	10,4	89,3		143,4	12,5	73,8	13,7	87,5
	70,5	8,0	77,7	14,4	92,0		145,7	12,5	73,0	14,4	87,5
	72,9	6,5	80,6	12,9	93,5		148,1	14,9	71,3	13,7	85,1
	75,2	12,8	74,5	12,6	87,2		150,4	14,6	71,4	14,0	85,4
	77,6	18,2	71,0	10,7	81,8		152,8	16,3	72,5	11,2	83,7
	79,9	16,2	72,0	11,7	83,8		155,1	16,5	72,7	10,8	83,5
	82,3	14,0	74,1	11,9	86,0		157,5	16,6	72,5	10,9	83,4
	84,6	10,9	73,7	15,4	89,1		159,8	15,7	72,5	11,8	84,3
	87,0	18,7	69,6	11,7	81,3		162,2	18,7	70,5	10,8	81,3
	89,3	8,7	76,5	14,8	91,3		164,5	22,4	69,2	8,3	77,6
	91,7	14,8	73,9	11,3	85,2		166,9	16,5	72,2	11,4	83,5
	94,0	14,9	72,5	12,5	85,1		169,2	22,6	66,9	10,5	77,4
	96,4	16,3	71,3	12,4	83,7		171,6	21,8	67,8	10,3	78,2
	98,7	20,4	68,0	11,6	79,6		173,9	21,4	69,0	9,6	78,6
	101,1	12,2	71,3	16,5	87,8		176,3	20,4	66,8	12,9	79,6
	103,4	9,3	73,1	17,6	90,7		178,6	18,6	69,2	12,2	81,4
	105,8	9,3	72,2	18,4	90,7		181,0	19,8	68,1	12,1	80,2
	108,1	10,3	73,4	16,3	89,7		183,3	15,8	73,2	11,0	84,2
	110,5	9,9	72,4	17,7	90,1		185,7	28,9	62,8	8,4	71,1
	112,8	9,0	73,1	17,9	91,0		188,0	21,2	68,6	10,1	78,8
	115,2	13,8	69,5	16,7	86,2		190,4	15,7	73,6	10,6	84,3
	117,5	11,1	71,4	17,5	88,9		192,7	12,3	75,1	12,7	87,7
	119,9	14,7	72,2	13,0	85,3		195,1	16,6	72,5	11,0	83,4
	122,2	22,7	65,6	11,6	77,3		197,4	20,5	69,3	10,2	79,5
	124,6	10,1	73,9	16,0	89,9						

ANEXO B – Resultados de COT,  $\delta^{13}\text{C}$ , NT e  $\delta^{15}\text{N}$  em cada testemunho

#557	Amostra	COT	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	NT	$\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	#557	Amostra	COT	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	NT	$\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$
	2	0,51713	-20,549	0,10441	9,5225426		90	0,13818	-21,418	0,03358	8,1937539
	4	0,79253	-20,796	0,08212	10,099683		92	0,09424	-21,842	0,03113	9,9797707
	6	1,16588	-20,326	0,10854	9,0779882		94	0,09833	-22,131	0,02449	10,301488
	8	0,91944	-19,94	0,10108	9,9495488		96	0,14739	-21,749	0,02747	10,341459
	10	0,94197	-20,946	0,08973	9,5303418		98	0,11714	-23,301	0,02929	12,870349
	12	0,92173	-20,164	0,0916	10,100658		100	0,11951	-22,119	0,02922	12,016337
	14	0,70508	-20,151	0,10084	9,3373116		102	0,20989	-21,557	0,02815	12,797232
	16	0,86455	-20,231	0,09532	9,2154491		104	0,26721	-20,782	0,03479	11,003416
	18	0,71071	-20,353	0,08826	10,481844		106	0,20462	-20,479	0,03452	11,553259
	20	0,51557	-20,767	0,08316	10,269316		108	0,1953	-21,365	0,03237	11,680971
	22	0,51483	-20,379	0,08501	10,018767		110	0,15324	-21,368	0,03077	11,827206
	24	0,76887	-20,669	0,09309	9,3938558		112	0,18601	-22,156	0,03061	12,635398
	26	0,7334	-20,343	0,08361	9,7506692		114	0,15883	-21,619	0,03159	12,278585
	28	0,44369	-20,325	0,07206	9,4708729		116	0,31263	-20,967	0,03043	11,860353
	30	0,46105	-25,424	0,0597	11,358279		118	0,17622	-21,85	0,03017	11,845729
	32	0,3495	-19,982	0,046	11,319283		120	0,13303	-21,124	0,02956	12,895697
	34	0,28598	-21,272	0,04611	12,835253		122	0,21577	-23,303	0,02849	11,972466
	36	0,30497	-21,445	0,04781	11,119429		124	0,20862	-22,747	0,02912	13,461139
	38	0,22375	-22,504	0,043	12,063132		126	0,17151	-22,798	0,03062	11,193521
	40	0,49658	-20,423	0,04477	12,286384		128	0,16559	-21,658	0,03178	10,590058
	42	0,34213	-21,395	0,045	11,280287		130	0,15517	-21,662	0,03427	13,649294
	44	0,33846	-21,338	0,06528	10,667075		132	0,21011	-21,376	0,03507	12,435544
	46	0,2919	-19,99	0,05396	9,9778209		134	0,34255	-22,563	0,03795	11,769687
	48	0,28275	-20,712	0,04599	12,239589		136	0,39077	-21,902	0,03844	10,784063
	50	0,2072	-22,2	0,04148	12,734838		138	0,26917	-20,685	0,03655	11,227643
	52	0,18084	-22,034	0,04088	11,542535		140	0,22482	-21,555	0,03644	12,903496
	54	0,20639	-22,148	0,05553	11,801859		142	0,1622	-22,079	0,03537	13,124798
	56	0,34592	-22,139	0,04549	12,554482		144	0,18818	-21,714	0,03341	11,20132
	58	0,34104	-21,415	0,04248	12,016337		146	0,21447	-20,847	0,03444	11,969542
	60	0,23111	-22,19	0,04815	11,884725		148	0,18627	-21,751	0,03451	13,455289
	62	0,43309	-20,551	0,05086	11,108705		150	0,23407	-21,108	0,03558	12,918119
	64	0,49099	-21,082	0,06828	10,487694		152	0,24706	-20,528	0,03571	10,681699
	66	0,26096	-24,38	0,05307	11,285162		154	0,26378	-21,127	0,03721	10,718745
	68	0,18302	-23,005	0,03457	12,686093		156	0,22955	-22,087	0,03964	11,184747
	70	0,19973	-22,47	0,03854	13,207665		158	0,30202	-20,961	0,03822	11,516213
	72			0,03668	13,84135		160	0,3881	-20,95	0,03891	11,973441
	74	0,18948	-22,213	0,03743	11,801859		162	0,34252	-20,997	0,04861	11,158425
	76	0,18571	-23,497	0,03424	14,083125		164	0,29912	-21,417	0,04823	11,866202
	78	0,25592	-22,413	0,03817	13,945664		166	0,29134	-19,245	0,04882	11,857428
	80	0,16963	-21,78	0,0342	13,788705		168	0,20163	-20,391	0,05031	12,171346
	82	0,18976	-21,574	0,03812	7,7462748		170	0,21132	-21,875	0,04802	11,523037
	84	0,19386	-20,797	0,03785	6,7538266		172	0,26695	-21,166	0,049	12,27761
	86	0,19212	-21,303	0,03918	7,9861002		174	0,24962	-21,053	0,04767	10,431149
	88	0,16975	-21,811	0,03535	7,9042086		176	0,32607	-21,021	0,04541	10,47307

#557	Amostra	COT	d <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C	NT	d <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N
178	0,26591	-21,367	0,04636	10,553012	
180	0,46102	-20,665	0,04288	11,219844	
182	0,22755	-21,947	0,04204	11,482092	
184	0,31822	-20,754	0,04589	10,62223	
186	0,35237	-21,188	0,04934	9,4562494	
188	0,3213	-21,076	0,04776	10,849382	
190	0,30074	-20,528	0,04861	11,104805	
192	0,39525	-20,545	0,04684	10,920549	
194	0,38052	-20,932	0,04762	10,583234	
196	0,23911	-20,856	0,04853	11,377777	
198	0,24817	-20,417	0,04865	12,542783	
200	0,23721	-20,744	0,04559	12,443343	
202	0,29649	-21,084	0,04686	11,200346	
204	0,44687	-20,83	0,04789	10,758716	
206	0,28571	-21,477	0,04767	11,795035	
208	0,26087	-21,183	0,04486	11,6488	
210	0,28161	-20,613	0,04597	10,67195	
212	0,28109	-21,537	0,0471	10,254693	
214	0,33536	-21,406	0,04967	10,627104	
216	0,29639	-20,826	0,05091	11,749214	
218	0,27317	-21,561	0,04618	11,165249	
220	0,3413	-21,026	0,04501	10,76944	
222	0,39101	-20,464	0,04786	12,32928	
224	0,52627	-20,56	0,04572	11,826231	
226	0,31596	-21,186	0,04709	12,117726	
228	0,31956	-20,881	0,04495	11,928596	
230	0,27082	-21,824	0,04813	13,207665	
232	0,24566		0,04508	12,326355	
234	0,34887	-20,885	0,04687	11,880826	
236	0,39303	-20,834	0,04732	12,213267	
238	0,34975	-20,799	0,04866	12,406297	
240	0,36082	-21,437	0,04564	12,386799	
242	0,30163	-20,97	0,04785	11,303685	
244	0,31737	-20,442		7,4157837	
246	0,35595	-21,028	0,04393	11,022914	
248	0,32202	-20,499	0,04971	11,611753	
250	0,36757	-21,332	0,04899	10,077261	
252	0,34031	-21,858	0,0488	11,025838	
254	0,323	-20,794	0,04987	12,256162	
256	0,29169	-20,808	0,04967	11,907148	
258	0,27915	-21,905	0,04935	10,040215	
260	0,50298	-21,123	0,0524	10,681699	
262	0,40567	-21,239	0,05278	8,9843978	
264	0,42021	-21,276	0,05128	11,131128	
266	0,32692	-21,901	0,05224	10,834758	
268	0,2911	-21,409	0,05224	9,6473298	
270	0,34546	-21,265	0,05298	11,289061	
272	0,38064	-21,421	0,05292	10,689498	

274	0,38321	-20,755	0,05203	11,287112	
276	0,43495	-21,224	0,049	10,405802	
278	0,3675	-21,068	0,0548	11,900324	
280	0,38752	-20,725			
282	0,2729	-21,418		9,5439904	
284	0,36349	-21,226	0,05123	11,125278	
#564	Amostra	COT	d <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C	NT	d <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N
0	1,09485	-20,666	0,15056	8,121	
2	1,09279	-20,656	0,15808	8,467	
4	0,45951	-20,975	0,05559	8,65	
6	1,08409	-20,831	0,13761	8,088	
8	1,12138	-20,792	0,13864	8,576	
10	1,43587	-20,613	0,16856	7,997	
12	1,24464	-20,316	0,13634	8,447	
14	1,27396	-20,132	0,13566	8,266	
16	0,84947	-19,967	0,13048	8,058	
18	1,22719	-19,92	0,12502	8,682	
20	0,85305	-20,386	0,13916	7,999	
22	0,96269	-20,208	0,11864	8,142	
24	0,92691	-20,171	0,12215	7,703	
26	0,92815	-20,218	0,13349	7,925	
28	0,96957	-20,796	0,13538	7,951	
30	0,70058	-20,391	0,11849	7,859	
32	0,87387	-20,505	0,11569	7,596	
34	0,62248	-20,396	0,11502	7,872	
36	0,79642	-20,791	0,08462	7,908	
38	0,57929	-20,796	0,102	7,372	
40	1,00181	-20,182	0,09498	7,757	
42	0,6919	-20,116	0,08637	8,197	
44	0,74985	-20,338	0,09979	7,79	
46	0,74847	-19,984	0,10835	7,539	
48	0,65617	-20,334	0,06533	7,66	
50	0,57463	-20,55	0,08558	8,272	
52	0,30335	-20,809	0,05992	7,63	
54	0,27117	-21,317	0,03951	7,894	
56	0,16378	-21,978	0,02804	9,581	
58	0,0902	-23,112	0,01	8,088	
#576	Amostra	COT	d <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C	NT	d <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N
0	1,20271	-19,958			
2,35	1,16109	-19,839			
4,7	1,11981	-19,942			
7,05	1,13731	-19,806			
9,4	1,10875	-19,811			
11,75	1,09041	-19,922			
14,1	1,12242	-19,656			
16,45	1,13218	-19,742			
18,8	1,16332	-20,002			
21,15	1,08214	-19,712			
23,5	1,08456	-19,857			

#576	Amostra	COT	d <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C	NT	d <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N	#576	Amostra	COT	d <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C	NT	d <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N
	25,85	1,09037	-19,86				112,8	1,11317	-20,193	0,13542	8,163
	28,2	1,15941	-20,051				115,15	1,10841	-20,267	0,12123	7,515
	30,55	1,15855	-20,155				117,5	1,03405	-20,298	0,13049	8,054
	32,9	1,12569	-20,25				119,85	1,07488	-20,316	0,12647	10,049
	35,25	1,11246	-20,017				122,2	1,14378	-20,181	0,13435	10,148
	37,6	1,11123	-19,991				124,55	1,17694	-20,301	0,13811	7,836
	39,95	1,07672	-20,113				126,9	1,15458	-20,341	0,13516	8,188
	42,3	1,0484	-20,093				129,25	1,27478	-20,209	0,14116	7,893
	44,65	1,02382	-19,881				131,6	1,15122	-20,321	0,12926	8,186
	47	1,02706	-20,325				133,95	1,14303	-20,306	0,12798	8,229
	49,35	0,9692	-20,034				136,3	1,24559	-20,419	0,12277	8,158
	51,7	1,0035	-20,287				138,65	1,24562	-20,266	0,13227	8,381
	54,05	1,04824	-20,177				141	1,00816	-20,431	0,12503	8,859
	56,4	1,06717	-20,186				143,35	1,10555	-20,408	0,12488	8,556
	58,75	1,07728	-20,431				145,7	1,19574	-20,458	0,13143	8,559
	61,1	1,12268	-20,241				148,05	1,23774	-20,545	0,12435	7,758
	63,45	1,10349	-20,376				150,4	1,15668	-20,601	0,12274	8,522
	65,8	0,99508	-20,114				152,75	1,23544	-20,329	0,12901	8,279
	68,15	1,10989	-20,252				155,1	1,22372	-20,46	0,1196	8,049
	70,5	1,05667	-20,128				157,45	1,21596	-20,463	0,11635	8,729
	72,85	1,12846	-20,221				159,8	0,90795	-20,457	0,09201	9,096
	75,2	1,11282	-20,168				162,15	1,13515	-20,427	0,10461	8,959
	77,55	1,09474	-20,233				164,5	1,09459	-20,62	0,10161	8,823
	79,9	1,10747	-20,052				166,85	0,98594	-20,435	0,10407	8,585
	82,25	1,1655	-20,137				169,2	1,12893	-20,508	0,11311	8,284
	84,6	1,092	-20,005				171,55	0,92935	-20,499	0,10009	9,136
	86,95	1,05556	-20,194				173,9	1,09798	-20,553	0,09964	8,847
	89,3	1,04048	-20,266				176,25	0,89949	-20,652	0,09931	9,261
	91,65	1,13941	-20,243				178,6	0,96687	-20,611	0,10423	8,288
	94	1,04416	-20,252				180,95	1,00944	-20,57	0,0975	9,007
	96,35	1,08582	-20,568				183,3	0,98126	-20,484	0,09294	8,925
	98,7	1,16331	-20,288	0,13319	11,244		185,65	0,79398	-20,637	0,08486	8,486
	101,05	1,12752	-20,38	0,12895	9,587		188	0,8907	-20,64	0,09409	8,119
	103,4	1,06711	-20,226	0,13447	8,237		190,35	0,88914	-20,488	0,08974	8,471
	105,75	1,08206	-20,296	0,13354	10,131		192,7	0,79452	-20,7	0,08772	8,621
	108,1	1,09741	-20,03	0,13153	8,908		195,05	0,78806	-20,838	0,08398	9,613
	110,45	1,13771	-20,157	0,13479	9,996		197,4	0,98648	-21,161	0,06621	9,595

## ANEXO C – Resultados de Al, As, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sc, Sr, Ti, V e Zn em cada testemunho

#557

Amostra	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	P	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
2	32685,9	6,1	37,3	9254,1	23,3	14,2	34364,2	5857,5	8650,5	278,2	14,9	493,0	9,6	6,7	46,2	818,1	41,8	51,7
4	25979,5	6,3	28,2	8471,5	20,1	12,6	29064,3	4869,7	7210,2	214,5	13,0	357,1	8,7	5,6	42,5	607,6	36,2	44,1
6	32582,7	6,2	41,4	9623,0	23,7	14,0	33060,8	6103,7	8399,0	250,7	15,1	389,8	9,3	6,6	49,4	805,8	44,3	51,7
8	38546,5	8,2	44,7	11349,9	26,6	15,9	39100,6	7131,0	9796,5	286,1	16,9	481,3	10,9	7,5	52,4	940,2	49,9	57,1
12	26809,1	6,9	29,4	10682,4	21,6	12,8	31411,5	5256,0	8138,4	254,1	14,2	541,5	9,6	6,1	52,0	508,3	38,7	48,8
14	31788,2	7,9	35,2	10739,3	24,0	14,3	34059,0	5936,0	8827,5	260,0	15,7	346,9	9,2	6,9	52,0	782,8	45,8	52,1
16	30769,9	6,4	35,3	11017,3	22,8	13,5	32338,6	5650,8	8302,7	263,2	15,3	405,8	8,7	6,4	56,9	804,4	45,2	50,0
18	26772,7	7,6	29,8	11453,7	20,2	11,9	29505,0	5303,6	8061,1	237,7	14,1	337,1	8,2	5,7	53,5	787,5	41,4	47,9
20	29801,8	7,7	37,6	11506,3	21,5	12,9	33335,9	5692,3	8643,4	262,1	15,0	424,9	9,0	6,1	52,7	821,0	43,3	49,2
22	31489,9	8,3	38,1	11244,4	22,6	13,2	32589,5	5860,9	8304,2	259,6	15,0	380,7	10,7	6,4	54,5	916,9	45,5	50,2
24	33710,8	6,4	40,2	11762,8	24,0	13,9	33893,7	6305,0	8753,3	272,8	15,5	388,1	9,0	6,9	57,2	886,2	47,3	52,6
26	30581,9	6,7	36,8	11228,7	21,8	12,7	31652,1	5822,9	8250,6	255,6	14,5	433,7	8,6	6,3	53,2	872,9	44,3	47,6
28	31780,0	7,5	39,3	11346,8	22,6	13,4	32782,7	6192,8	8879,4	276,5	14,6	401,0	9,8	6,5	53,9	957,5	45,9	49,3
30	25420,1	7,1	28,4	11634,0	19,3	11,8	29420,2	5175,0	7964,9	252,2	13,2	409,0	8,4	5,6	53,8	726,7	39,5	45,3
32	22689,4	5,3	27,8	12060,1	16,4	9,7	24326,0	4849,1	7264,3	240,1	10,7	373,7	6,9	4,9	54,4	884,7	37,1	40,0
34	23161,4	5,5	29,3	11172,8	16,0	9,1	24397,2	4798,9	7005,3	227,2	10,4	370,2	6,7	4,7	53,6	944,4	37,4	35,9
36	23341,3	5,5	29,3	13080,1	16,2	9,5	24457,6	4977,5	7215,7	250,8	10,3	380,0	6,7	4,9	61,3	932,9	38,7	38,5
38	25503,7	5,3	33,6	13823,7	16,6	9,6	25352,1	5515,9	7643,8	355,1	10,9	363,7	6,8	5,2	65,5	1040,0	41,6	39,2
42	23283,2	5,3	29,8	12763,4	16,2	9,3	24402,9	4937,6	7140,5	234,6	10,4	394,3	6,7	5,0	61,4	910,6	38,2	38,2
44	25502,5	5,5	32,1	12379,2	18,2	10,8	27034,1	5180,2	7695,0	247,1	11,8	400,5	7,7	5,4	55,2	856,7	39,1	41,4
46	24059,5	5,3	31,9	12238,4	17,2	10,0	25508,8	4893,3	7273,0	235,4	11,2	405,5	6,6	5,0	53,1	878,5	37,3	39,2
48	19026,2	3,9	22,6	13727,6	13,5	9,0	23189,2	4492,2	7089,1	236,9	9,2	366,8	6,2	4,4	58,0	772,3	33,7	35,1
50	24476,6	5,2	29,1	15957,8	15,9	10,7	26578,6	5640,6	8187,1	267,5	10,0	436,8	6,5	5,3	69,8	1117,4	42,2	40,6
52	25108,9	6,0	30,7	14571,5	16,0	10,3	26626,1	5733,3	8012,5	263,2	10,0	423,4	6,6	5,2	64,9	1102,3	40,7	41,0
54	27100,0	4,9	34,2	15664,3	16,8	10,5	28046,5	6098,6	8518,5	277,5	10,5	427,1	6,9	5,5	68,0	1153,6	42,1	41,7
56	26881,6	5,4	34,7	18429,1	16,5	10,8	28777,7	6200,1	8831,4	289,9	10,5	404,8	7,1	5,6	71,3	1129,1	42,1	42,3
58	28978,0	5,9	34,5	17678,6	16,7	11,3	29514,9	6755,6	8957,3	282,2	10,5	397,0	6,9	6,0	76,3	1276,9	45,6	44,1
62	22499,3	4,3	26,3	11608,4	16,9	10,2	25875,6	4972,4	7726,2	238,3	10,9	384,5	7,0	5,1	53,5	811,7	37,3	39,4
64	33138,1	5,3	40,6	12615,3	23,3	14,1	33144,1	6796,4	9762,0	292,7	14,9	404,5	8,9	7,0	60,9	1143,9	49,1	54,5
66	30506,4	5,5	35,9	14543,4	21,2	13,0	32532,0	6515,1	9529,3	293,1	13,8	408,0	8,2	6,5	66,8	1089,3	46,7	51,8
68	26594,3	5,1	33,4	13666,3	18,6	10,8	28955,1	5727,6	8138,6	250,7	11,4	369,3	6,7	5,6	63,1	1052,9	42,8	43,8
72	27244,3	5,7	33,6	17151,6	16,2	10,6	27711,1	6441,9	8486,4	262,1	9,6	317,4	6,5	5,6	74,4	1283,7	43,8	43,1
74	23257,0	5,1	29,5	15672,0	14,5	9,0	23360,7	5231,4	7078,9	228,4	8,6	332,2	6,1	4,8	71,3	1160,1	38,7	38,5
76	23592,6	3,9	30,7	18685,9	15,2	9,1	24495,7	5351,1	7540,7	240,9	8,9	481,8	6,2	4,7	89,9	1131,1	38,1	38,0
78	23302,6	5,5	30,0	16471,4	15,5	9,4	24022,0	5296,0	7524,7	248,7	9,3	333,5	7,1	4,9	73,8	1155,0	39,9	41,2

80	23011,3	6,2	31,4	17350,4	14,6	8,3	22959,1	5085,4	7104,5	244,3	8,3	280,3	9,1	4,6	76,4	1090,6	38,1	37,8
82	21701,5	4,1	27,7	17406,9	14,6	8,6	18765,9	5980,1	6833,6	244,3	8,3	288,6	5,9	4,5	80,4	705,3	39,0	36,6
84	18578,4	4,4	24,5	24661,2	13,2	7,6	16667,9	5092,8	6100,1	224,0	7,4		5,2	3,9	117,0	670,8	34,9	33,2
86	20327,9	4,7	40,6	15820,5	14,0	8,5	17577,7	5539,2	6401,5	234,6	7,8	446,3	5,7	4,2	74,5	697,3	37,1	35,2
88	19440,1	6,0	25,6	16931,2	13,3	8,1	17223,6	5086,8	6047,8	229,8	7,4	263,9	5,8	4,0	79,2	682,1	36,3	33,0
90	19082,7	4,9	27,0	16914,9	14,1	8,2	16901,3	4901,7	6088,6	229,7	7,9	294,8	5,1	4,1	82,0	658,6	37,8	34,6
92	18502,8	4,7	26,2	16734,3	12,9	7,3	16324,7	4781,3	5990,0	230,5	7,1	261,7	4,7	3,8	80,1	664,4	35,2	31,9
94	16351,3	5,0	28,1	18961,6	11,5	7,6	14133,7	4143,2	5175,8	211,2	6,2		4,1	3,3	96,7	604,0	31,9	29,1
96	17384,5	4,8	24,6	20057,1	12,2	7,0	15453,8	4524,6	5512,5	208,1	7,0	245,3	4,9	3,6	92,4	587,0	32,7	29,6
98	17419,9	4,3	23,5	16059,3	12,2	7,4	15738,4	4597,4	5785,7	222,1	6,8	309,0	4,7	3,6	74,1	637,4	33,6	30,5
100	16608,1	4,2	24,7	19480,0	11,8	7,3	14920,4	4301,2	5559,3	221,3	6,7	228,5	4,7	3,5	90,8	631,7	33,2	29,0
102	18051,2	3,5	24,0	16451,6	12,8	7,6	16173,6	4671,6	5975,2	217,5	7,4	266,8	5,1	3,7	75,8	627,9	33,6	31,3
104	17271,1	3,8	23,5	12431,8	14,1	7,6	15097,2	4372,7	5290,0	188,9	8,1	233,4	5,5	4,0	67,4	523,9	33,4	39,6
106	21069,6	4,4	29,7	15347,8	15,5	8,7	18114,3	5484,3	6544,1	232,3	9,0	320,2	6,0	4,5	76,3	662,2	38,2	43,8
108	24527,1		34,6	16630,9	16,9	9,9	19878,5	6498,2	7594,1	266,2	9,4	359,6	9,1	5,1	79,4	704,3	43,0	44,7
110	21778,7	5,2	30,2	16608,1	14,0	8,4	18677,3	5807,7	6991,0	282,1	7,8	325,3	5,7	4,4	79,3	762,6	38,8	42,3
112	23674,0	5,8	31,0	17359,8	17,4	10,1	20283,1	6590,8	7757,9	316,1	9,7	383,2	7,3	5,5	91,2	825,3	48,9	53,9
114	24173,9	5,4	31,8	17900,3	16,8	10,1	20553,0	6569,7	7583,7	314,5	9,4	347,1	7,1	5,4	91,5	800,4	46,6	45,5
116	26253,6	4,8	34,9	18171,4	17,8	10,6	21799,4	7060,7	8084,5	336,3	10,0	331,2	7,2	5,7	93,6	840,9	49,0	46,6
118	24600,4	5,8	29,1	18674,9	16,9	10,3	21694,2	6720,0	7945,7	340,1	9,6	377,5	7,0	5,5	97,0	819,8	46,9	45,1
120	23630,0	4,4	27,9	17869,3	16,4	10,3	21206,7	6655,5	7959,9	347,4	9,4	403,6	7,2	5,4	88,3	808,4	46,6	43,8
122	25970,7	5,2	36,3	22167,5	17,8	10,7	21712,9	7253,7	8226,8	355,9	9,6	353,6	7,3	5,8	113,4	865,3	50,4	46,0
124	22236,4		31,8	17159,1	16,3	9,6	19289,4	6024,7	7195,9	319,5	8,9		7,1	5,2	90,9	781,4	45,6	42,3
126	26087,8	6,0	33,0	18048,8	19,1	11,7	21874,4	7203,4	8229,6	366,6	10,7	386,6	7,6	6,1	97,3	869,1	52,3	49,0
128	27532,6	6,2	36,2	18045,0	19,3	11,7	22781,2	7493,7	8438,0	342,1	10,9	353,6	7,6	6,1	92,1	834,0	51,3	50,5
130	25717,8	6,5	33,6	17161,1	19,1	11,2	22012,0	7173,5	8439,1	325,9	10,9	373,1	7,9	6,1	89,7	807,5	50,4	50,6
132	27711,4	5,9	39,7	17868,6	20,0	11,3	22458,8	7767,6	8579,5	336,2	11,3	415,8	8,2	6,4	94,6	821,3	52,6	54,0
134	30122,5	5,0	40,2	20237,8	21,8	12,2	25235,6	8532,2	9393,3	351,1	12,4	431,1	8,8	6,9	102,3	837,3	55,0	57,3
136	30091,5	5,5	38,9	19067,2	21,4	12,4	25050,2	8538,6	9479,2	378,5	12,1	401,9	9,1	7,0	97,4	888,4	55,9	60,1
138	28985,2	7,1	37,6	18486,4	20,2	12,1	24690,8	8097,2	9088,7	379,3	11,6	428,8	7,9	6,7	96,4	905,8	53,7	52,9
140	29837,4	5,9	40,6	17776,1	20,8	11,7	24336,9	8225,1	9039,7	350,7	12,1	389,2	8,3	6,8	93,9	838,5	55,2	53,6
142	27061,0	6,1	40,0	16959,1	19,9	11,4	22715,9	7164,4	8341,5	348,2	11,4	414,5	8,3	6,3	92,2	798,5	51,5	54,9
144	22748,8	4,5	34,1	13603,9	17,3	10,0	18217,1	5916,0	6869,2	288,5	9,5		7,4	5,5	78,1	627,5	43,9	51,8
146	29027,1		41,6	18355,2	20,8	12,1	24697,9	8200,6	9288,7	371,4	11,6	429,7	8,8	6,7	96,5	824,5	54,7	57,1
148	27323,2	6,0	39,5	19142,0	20,0	11,6	23397,0	7801,0	8758,1	364,7	11,3	424,6	8,3	6,4	100,5	838,0	51,9	53,8
150	26124,3	4,8	32,5	19076,3	19,6	12,0	24269,1	7704,7	9185,4	383,2	11,5	388,0	8,5	6,4	96,5	833,4	51,5	57,5
152	28501,2	4,7	37,4	19705,9	20,5	12,3	24933,5	8074,3	9167,4	388,1	11,4	433,3	8,6	6,7	101,2	907,6	53,9	55,7
154	28372,8	4,6	38,2	19586,9	21,4	12,6	24872,6	8235,0	9393,3	392,8	12,0	400,6	9,1	7,1	105,2	855,9	55,9	61,5



156	31348,8	4,7	42,7	19309,8	22,6	13,7	26183,9	9030,5	9927,2	417,5	12,4	400,5	8,9	7,4	103,5	875,8	57,4	62,6
158	29967,1	5,4	41,0	19821,6	25,9	12,9	25453,8	8699,0	9592,7	409,6	12,3	413,2	9,0	7,4	112,6	840,6	56,9	62,1
160	29990,5	5,4	37,4	24970,5	21,0	13,3	27283,4	9213,9	10543,3	456,0	12,2	446,8	8,9	7,2	134,8	931,8	55,2	64,2
162	29695,0	6,1	38,9	20454,9	21,2	13,0	26451,3	8728,7	9944,5	430,5	12,3	441,1	9,3	7,1	110,7	928,7	55,5	58,8
164	29056,8		39,1	21046,0	21,4	12,9	26057,9	8540,8	9835,6	419,0	12,5	431,9	8,8	7,1	119,6	901,1	55,3	58,4
166	28997,9	5,1	37,2	22868,1	21,7	13,3	26177,3	8655,2	10028,7	411,8	12,4	456,3	9,2	7,3	140,0	857,2	56,2	60,4
168	29539,7	5,4	37,4	21110,4	22,3	13,5	26589,7	8661,0	9853,4	413,6	12,8	422,7	9,3	7,4	121,7	905,7	56,5	63,1
170	32014,6	5,1	49,3	20970,4	23,2	13,9	27106,3	9441,2	10418,3	417,8	12,9	532,5	8,8	7,7	122,0	987,3	59,4	62,0
172	31594,4	5,3	40,6	19955,4	22,6	13,6	27441,4	9376,8	10345,7	412,6	12,8	399,8	9,3	7,5	101,5	911,4	57,6	61,4
174	30065,5	5,5	39,9	18045,7	22,2	13,3	24994,6	8659,6	9583,0	387,2	12,3	407,3	9,1	7,3	95,3	891,5	56,6	62,1
176	30315,2	5,2	41,7	19051,3	21,6	12,5	26264,9	8827,6	9633,1	396,5	12,0	424,4	8,5	7,1	104,9	938,7	55,2	64,2
178	30416,6	4,4	51,0	16750,2	39,2	14,6	26144,6	8635,6	3768,9	399,9	9,5	440,0	8,0	5,7	64,0	944,0	46,0	53,5
182	29561,0		47,6	16665,6	31,6	13,0	25941,8	8038,8	3731,3	390,1	9,3	446,0	8,0	5,6	67,9	871,9	45,0	50,4
184	30596,5	3,3	47,1	16518,6	25,4	13,4	27293,7	8469,8	3858,1	423,3	9,6	431,5	8,7	5,9	59,4	964,4	46,6	51,9
186	31056,5	4,6	48,0	16519,0	20,2	13,0	26858,6	8509,9	3906,8	409,1	9,5	396,0	8,2	5,8	59,3	895,3	45,9	51,4
188	29261,2	4,2	45,8	16242,5	18,6	13,2	25780,5	8013,9	3763,0	404,6	9,5	401,4	7,9	5,8	60,1	853,5	45,3	50,3
190	30453,9		50,9	16725,2	18,8	13,1	25923,2	8240,6	3751,3	405,4	9,6	446,0	8,5	5,8	61,7	870,3	45,9	51,4
192	32321,7	3,2	57,7	17596,2	20,0	13,6	27221,9	8936,3	3993,1	432,9	10,0	466,3	8,7	6,1	67,7	921,4	48,4	54,0
194	31423,9		56,1	17870,5	18,1	12,9	26612,7	8707,6	3914,7	425,3	9,3	428,0	8,0	5,8	69,0	858,6	45,1	50,8
196	31341,6		50,9	18366,9	19,5	13,6	26876,1	8695,9	4049,8	450,8	9,7	456,0	8,2	5,9	69,5	939,0	47,0	56,9
198	29993,3	3,5	46,6	18686,3	18,9	12,7	26600,5	8297,5	3844,1	435,1	9,0	416,7	8,5	5,5	73,5	928,4	43,8	53,8
200	25982,7	3,7	41,0	20440,1	17,0	12,0	24903,9	7356,1	3610,6	416,7	8,7	420,7	7,5	5,2	82,7	848,4	40,9	49,4
202	30048,0	3,4	48,2	17487,2	18,0	12,6	26031,2	8175,1	3821,8	418,7	9,3	456,7	7,8	5,7	61,2	927,8	44,8	51,9
204	29688,1		47,4	16719,9	17,9	12,7	26244,0	8019,3	3738,3	421,7	9,4	430,0	7,4	5,7	58,6	924,7	44,6	50,7
206	30040,7	4,1	48,7	17236,7	17,6	12,3	26274,1	8171,3	3845,0	425,3	9,0	429,3	7,5	5,6	58,9	939,9	44,3	49,7
208	29586,7	2,6	50,3	17624,2	17,5	12,2	25488,2	8042,7	3758,0	422,7	9,1	476,1	7,0	5,6	64,9	920,5	44,2	49,2
210	29516,3	4,4	52,5	19199,1	17,4	12,4	26428,4	8070,4	3791,9	432,7	9,1	473,1	7,5	5,6	72,9	924,1	43,9	49,8
212	27590,9	3,2	45,2	18225,7	17,2	12,4	25940,6	7684,1	3763,3	425,3	9,3	452,1	7,9	5,5	66,6	880,6	42,9	50,9
214	33618,8		59,8	21144,8	18,4	13,4	30157,9	9488,9	4368,6	482,8	9,9	536,3	8,3	6,0	70,6	1023,2	46,6	57,9
216	31538,8	3,8	62,4	21057,4	17,8	12,7	27651,0	8890,1	4137,0	460,4	9,3	506,6	7,5	5,8	71,3	994,1	45,2	50,2
218	31593,7	3,9	58,6	20379,1	18,0	13,1	27603,3	8954,1	4177,4	446,7	9,4	506,5	8,0	5,9	68,0	995,3	45,8	51,5
220	30970,4		56,7	19513,4	17,7	12,7	26840,9	8720,3	3995,9	427,7	9,1	430,7	7,8	5,8	65,9	1003,3	45,1	49,5
222	29325,4		47,6	19947,8	17,1	12,7	27074,9	8384,7	4036,9	426,5	9,2	457,7	7,7	5,6	72,6	937,3	43,7	51,8
224	33335,4	4,1	55,0	19875,0	18,2	13,3	29072,2	9534,9	4341,4	438,9	9,6	465,9	8,0	6,1	64,8	1039,7	47,2	53,6
226	33703,7		59,8	20805,6	18,3	13,4	28594,4	9681,2	4286,2	444,7	9,6	505,0	7,9	6,1	68,9	1044,0	47,5	54,1
228	27832,3	4,1	46,8	16130,5	18,3	20,6	23700,3	7721,8	3484,8	359,2	9,6	441,5	15,2	6,1	62,8	800,7	46,7	56,5
232	30987,6	4,4	48,6	18035,9	18,7	25,0	27308,9	8672,3	3932,5	417,7	10,1	489,1	31,3	6,1	63,3	920,3	46,8	57,8
234	30172,5		48,3	16292,2	18,5	18,4	26060,4	8325,6	3713,8	403,1	9,5	406,5	16,4	5,9	58,4	905,6	45,2	51,4

236	30152,6		45,7	17302,9	18,0	16,1	27225,0	8434,9	3899,6	428,0	9,5	432,1	10,2	5,9	58,6	884,5	44,7	51,6
238	31353,4	3,3	49,2	17162,9	19,4	15,1	27659,2	8741,1	3968,6	432,0	9,6	414,9	9,5	6,1	58,0	977,3	46,7	52,4
242	31163,3	4,0	49,7	17403,8	18,1	16,2	27297,3	8662,0	3823,7	443,3	9,3	447,1	8,7	6,0	58,2	962,1	46,0	49,4
244	29428,0	2,9	46,7	16487,1	17,2	13,1	25618,1	8123,1	3634,1	415,7	8,9	419,0	7,7	5,7	57,0	878,8	43,7	46,1
246	31750,3	3,7	55,0	17930,3	17,4	12,9	26596,3	8933,0	3909,5	440,5	9,0	434,2	7,6	5,9	59,6	875,1	45,8	49,2
248	30854,6	4,0	49,9	18479,6	17,7	13,3	26907,0	8856,8	3910,9	444,8	9,3	473,8	7,7	6,1	69,3	882,9	46,1	49,2
250	31743,6		51,2	18316,5	18,3	13,2	27238,5	9139,5	3987,0	439,4	9,3	465,1	7,9	6,2	62,5	931,1	46,9	54,6
252	32200,6	4,2	49,7	21171,1	16,9	12,1	29500,6	9326,7	4206,8	476,8	9,1	508,7	7,4	5,7	72,5	1037,0	43,1	45,7
254	29006,4		41,6	17675,7	16,7	12,8	26962,5	8330,6	3829,7	435,2	8,8	427,7	7,0	5,7	59,3	905,3	42,7	44,7
256	32599,2	3,1	50,6	18568,2	18,0	12,8	28064,8	9406,5	4063,2	458,4	9,3	432,0	7,4	6,2	61,9	955,7	46,4	47,5
258	37394,0		53,5	21701,1	21,5	13,0	32389,4	11288,7	11660,3	503,8	11,3	472,7	8,2	7,2	82,9	1052,9	51,0	55,8
262	39680,1	2,7	58,2	21735,8	22,2	13,4	33351,8	11371,6	12033,2	491,7	11,4	473,2	9,0	7,5	84,5	1122,7	52,5	55,8
264	40489,9	4,1	67,5	21622,1	22,9	13,5	33869,2	11684,3	12126,0	479,3	12,0	444,0	8,8	7,8	85,8	1071,4	54,8	57,1
266	39693,3	4,5	63,9	21108,8	22,6	13,2	32785,3	11350,8	11903,0	478,7	11,8	498,9	8,5	7,6	83,9	1053,2	53,5	56,0
268	38220,6	4,2	63,0	20979,6	22,8	14,0	31660,6	11223,0	11779,6	464,4	12,0	484,7	8,9	7,7	87,5	1051,5	54,5	56,6
272	40067,7	4,6	73,3	22129,6	23,5	13,9	33419,5	11653,8	12189,9	492,2	12,0	578,9	9,2	7,8	88,4	1119,6	55,3	57,0
274	40196,0	4,7	67,4	22054,4	22,5	13,5	34074,5	11624,3	12057,9	492,0	11,9	436,8	9,2	7,6	87,9	1082,7	54,1	55,4
276	39510,5		68,5	21555,1	22,8	13,7	32681,2	11338,9	11796,5	469,5	11,8	496,1	8,6	7,6	89,1	1039,8	54,6	55,3
278	40898,5	3,1	66,0	21118,3	22,4	13,2	33679,2	11401,5	11642,4	461,5	11,6	453,8	8,8	7,5	84,6	1042,2	53,3	54,4
282	38534,6		60,2	22724,1	21,9	13,8	33697,7	11298,7	11962,9	474,2	11,8	476,9	8,7	7,3	85,2	1096,1	52,5	54,5
284	41097,4	5,0	75,7	24920,6	22,7	13,9	34072,9	11606,8	12109,7	491,6	11,9	534,2	8,4	7,7	97,4	1111,5	54,6	56,5

#564

Amostra	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	P	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
0	36712,5	6,1	37,5	8141,6	27,1	19,5	35492,2	6564,2	8937,6	566,0	16,3	629,5	13,9	8,0	53,5	353,8	48,7	71,9
2	41356,2	7,8	46,1	9063,0	27,7	18,9	34966,8	7175,8	8666,4	453,3	16,1	512,8	13,1	8,0	54,1	577,9	52,5	72,3
4	23470,4	4,8	29,2	9457,2	16,2	10,1	21088,4	4637,5	5027,2	281,3	9,2	327,2	9,5	4,5	45,5	417,9	31,9	44,5
6	38537,7	5,9	36,8	6875,4	26,2	18,7	33217,2	6584,0	8096,1	432,3	15,9	549,1	12,4	7,8	46,0	456,2	47,7	66,6
8	44364,6	5,7	48,3	6622,5	28,0	19,6	35502,2	7976,7	8723,3	450,2	16,5	422,5	12,1	8,2	45,3	639,3	52,6	65,6
10	47797,4	7,0	47,6	7770,2	31,9	23,1	40649,1	8543,3	10196,2	523,9	19,0	548,8	14,9	9,2	53,2	592,5	58,1	75,5
12	42204,8	6,4	42,3	7759,9	29,4	21,2	37678,1	8148,7	10036,0	498,5	17,8	551,9	14,7	8,5	48,7	471,7	52,9	71,9
14	49392,5	7,7	55,0	9348,6	31,6	21,0	38656,4	9004,7	10068,8	484,0	18,1	493,0	14,4	9,0	55,0	638,8	56,8	71,5
16	48474,4	6,2	57,6	6477,7	31,4	21,1	37676,9	8687,9	9717,0	457,7	18,2	698,4	13,2	9,1	45,8	568,6	55,9	70,6
18	43744,1	6,7	45,2	6471,6	30,0	20,8	36183,6	7957,5	9378,8	446,8	17,7	457,6	13,0	8,8	45,1	555,9	54,7	68,8
20	46401,1	7,4	49,4	7484,2	30,6	20,8	39020,5	8724,1	10151,0	486,3	18,2	547,6	13,7	8,9	46,8	570,8	55,9	71,2
22	36941,0	7,3	40,1	7981,3	28,1	18,9	34389,9	7410,3	9168,1	461,3	17,2	531,5	13,5	8,1	48,6	301,7	47,8	68,9
24	43654,9	6,7	49,3	7946,6	30,4	19,6	37393,2	8611,7	9868,9	482,2	18,2	478,2	12,6	8,7	51,2	582,9	56,4	71,6
26	45535,6	6,6	54,0	9097,2	30,3	19,6	38255,9	8928,1	10181,3	518,7	18,1	433,6	12,7	8,9	51,8	620,4	56,9	70,5
28	49150,7	6,3	58,3	8298,8	33,6	20,8	38816,3	9469,4	10238,8	488,8	19,5	462,4	13,6	9,8	55,3	564,9	60,7	76,7

30	40563,4	6,4	46,9	8006,1	28,7	17,4	32884,6	7944,6	8822,7	406,1	16,6	375,8	12,0	8,2	51,1	500,4	51,9	66,7
32	39500,4	5,5	46,1	10762,5	27,4	16,1	32081,5	7852,6	8458,9	383,5	15,7	376,8	11,2	7,7	62,1	516,7	50,0	62,2
34	36174,3	5,6	42,7	19208,4	25,3	14,8	29320,8	7244,6	7943,2	373,2	14,3	289,0	10,1	7,1	91,7	490,5	46,2	58,4
36	37472,3		43,9	9371,7	26,4	15,6	30951,2	7786,1	8567,6	383,9	14,8	378,9	10,7	7,4	54,1	563,2	48,4	59,4
38	34893,0	5,6	41,6	10843,2	24,1	14,3	29954,8	6908,5	7945,1	394,0	13,7	395,8	10,3	6,8	57,2	512,0	44,1	55,8
40	35264,3	5,0	38,7	9108,0	25,2	15,2	30966,4	6959,3	8418,3	440,9	14,3	367,1	10,5	7,0	51,2	532,0	45,5	60,6
42	38327,1	6,3	48,3	8583,7	26,6	15,1	30648,4	7964,4	8400,8	383,6	15,2	370,8	11,1	7,4	51,3	503,3	47,9	58,1
44	39562,1	6,2	45,0	11202,1	28,3	17,0	32561,9	7979,7	8972,4	407,7	16,4	409,4	11,4	8,0	60,7	507,1	51,0	67,4
46	32618,9	5,4	42,8	38903,8	22,7	12,9	27109,5	6922,1	7560,0	345,7	12,6	346,5	8,8	6,3	156,0	475,3	41,4	51,4
48	33235,0	4,0	41,3	29227,2	24,0	13,4	27477,7	7088,4	7777,9	339,1	13,5	405,3	9,5	6,7	127,4	429,8	42,4	55,1
50	27662,7		31,9	22432,6	20,3	11,7	24264,9	5824,6	6813,2	292,5	11,8	331,7	7,9	5,7	93,5	419,0	36,5	48,0
52	16270,7	3,1	20,8	-	12,3	7,0	16039,3	3856,0	4737,1	205,3	7,0	271,4	5,5	3,4	193,6	309,4	22,6	29,8
54	14130,0		19,9	31603,6	11,8	6,0	14104,2	3436,2	4238,4	186,2	6,4	267,6	5,5	3,0	134,9	255,1	20,8	33,9
56	11954,2		17,9	-	9,6	5,2	11870,9	3189,7	3755,5	152,7	5,5	225,6	4,4	2,4	200,6	285,8	18,3	23,4
58	8884,1	3,0	16,8	-	7,8	4,1	9246,7	2527,8		135,4	4,5	178,9	3,8	1,9	276,1	234,9	15,3	20,4

#576

Amostra	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	P	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
0	59587,3	3,0	61,4	15139,9	36,1	18,3	45418,2	11583,3	15205,6	469,1	21,3	604,5	12,3	10,2	96,7	796,4	60,6	83,1
2,35	59035,9	4,0	58,5	15483,7	36,3	18,6	45375,5	11898,8	15102,6	469,8	21,5	582,7	12,4	10,4	99,1	700,1	61,2	89,3
4,7	63907,3	5,0	65,8	15222,6	37,7	19,4	46508,8	13230,0	15365,5	487,1	23,3	530,5	13,3	10,5	97,1	817,3	65,8	86,1
7,05	57398,4	5,0	55,7	14760,4	33,8	17,9	44714,8	12084,5	14272,2	449,0	20,6	474,4	11,8	10,2	93,2	773,9	59,6	79,6
9,4	60210,2	4,1	62,4	14764,2	34,9	18,0	45316,4	11959,1	14606,9	480,5	20,5	540,0	11,8	10,5	94,3	837,9	61,4	77,5
11,75	56691,3		54,4	14983,3	33,5	17,4	44799,4	11405,3	14864,1	461,3	20,0	491,2	11,3	10,0	94,0	761,1	58,3	76,2
14,1	55432,7		51,8	15771,2	34,4	17,9	44512,3	11579,2	15066,7	456,7	20,8	572,9	11,8	10,3	96,2	679,6	58,4	79,1
16,45	58175,3	3,6	60,1	14779,8	35,5	18,4	44686,7	12565,2	15240,1	457,7	21,2	531,7	11,9	10,3	90,8	854,2	63,0	79,8
18,8	59832,5		64,1	15200,2	35,3	18,6	44958,3	12539,8	15382,0	465,4	21,6	548,1	11,9	10,7	94,7	866,8	64,0	80,9
21,15	57958,8	4,1	58,0	15968,5	34,1	18,0	45277,9	12284,4	15573,6	472,0	21,1	599,8	11,4	10,2	95,9	846,7	61,7	78,8
23,5	53047,9	4,1	48,7	15587,7	32,8	17,1	43244,8	11025,9	14991,2	458,4	20,6	589,3	11,7	9,8	94,7	634,1	56,7	75,0
25,85	58630,9	4,3	61,2	16264,9	35,3	17,5	44591,7	12511,6	15415,8	464,8	21,6	493,6	11,7	10,2	98,6	767,2	61,4	75,7
28,2	56545,6	4,1	56,1	16309,9	33,8	17,0	44305,3	11703,4	15189,2	452,9	20,9	582,1	11,3	9,8	98,3	773,9	59,4	75,7
30,55	57023,2	4,4	60,5	16819,9	34,6	17,3	44133,8	12303,0	15427,1	476,4	21,5	575,5	12,0	10,0	98,4	807,3	60,1	81,4
32,9	55798,5	5,6	55,3	17288,2	33,0	16,9	44852,6	11779,8	15632,6	482,2	21,2	504,2	11,5	9,7	100,7	785,3	59,1	76,1
35,25	57494,1	5,3	66,3	17005,3	35,9	17,4	43303,5	12780,7	14975,2	450,4	22,3	543,9	11,2	10,2	98,0	775,4	63,6	79,3
37,6	61186,3	6,0	74,8	17454,9	36,5	17,5	44713,2	13232,6	16007,4	487,7	23,4	498,1	12,4	10,0	101,5	813,7	63,5	81,0
39,95	60489,2	4,3	71,7	16880,8	35,7	17,0	45136,7	13262,0	15616,7	461,9	22,0	602,9	11,6	10,0	99,0	813,0	61,6	78,6
42,3	57347,3	3,9	62,3	16589,4	35,4	17,0	44155,8	12478,3	15188,8	443,7	21,8	508,4	11,6	10,0	97,8	745,0	61,1	77,7
44,65	58107,2	5,2	63,0	17328,3	33,6	16,6	45579,9	13350,7	16123,1	460,7	21,3	565,9	10,9	9,7	101,4	799,3	60,0	76,6
47	57626,7	4,5	64,5	17209,5	33,3	16,3	44708,4	13366,8	16037,5	456,4	20,6	607,0	10,8	9,7	100,4	837,0	59,0	75,3

49,35	50590,9	3,4	48,3	17353,1	32,8	16,0	43148,9	11064,3	15096,4	456,5	20,3	517,1	11,5	9,0	100,5	708,4	55,4	75,9
51,7	54301,8	6,1	57,7	18171,4	33,1	16,5	43232,2	12357,2	15447,8	437,0	21,0	517,5	11,2	9,4	104,2	793,8	59,7	77,8
54,05	55058,7	5,3	58,8	19334,9	33,0	16,4	43306,4	12385,2	15438,7	429,4	21,0	511,1	11,0	9,4	109,8	785,6	59,4	75,0
56,4	56751,2	5,5	64,8	18554,9	33,8	16,3	43381,0	13324,1	15773,7	444,2	21,0	583,1	10,9	9,6	105,4	841,6	61,1	75,5
58,75	55453,1	4,8	57,6	18909,0	33,1	16,3	43601,6	12661,6	15710,3	427,0	20,9	534,3	10,8	9,8	106,6	786,2	60,1	74,5
61,1	53047,7	5,5	54,2	19478,8	31,4	15,4	42816,0	11969,9	15557,5	434,2	20,1	571,9	10,4	9,1	108,5	792,2	56,6	70,9
63,45	56250,2	5,8	66,1	19388,7	34,3	15,9	41872,4	12637,3	15393,4	434,6	22,3	446,3	11,6	9,1	110,2	873,8	61,1	77,8
65,8	55760,2	5,4	65,8	18833,2	36,1	16,7	40688,1	13123,9	15134,1	413,1	22,5	429,2	11,6	9,5	104,0	843,0	63,8	79,0
68,15	54029,5	6,0	61,4	18098,8	35,4	16,6	40078,5	12083,3	14880,4	412,9	22,7	467,4	11,7	9,5	101,0	784,8	62,3	79,4
70,5	51972,0	5,0	55,0	18528,3	35,0	16,6	40239,3	11430,1	15088,4	409,9	22,7		11,3	9,6	103,1	777,9	61,0	80,0
72,85	54504,9	5,5	59,7	19168,8	34,7	16,5	41161,9	12120,5	15121,1	419,6	22,2	517,9	11,1	9,4	106,9	860,3	62,2	77,5
75,2	56588,7	6,3	62,2	19897,5	36,1	17,1	42121,1	12492,4	15332,3	414,8	22,6	438,2	11,7	9,8	109,9	839,0	64,7	80,5
77,55	52913,4	5,0	55,5	19386,9	34,1	16,5	40405,7	11703,6	14965,1	403,5	21,8	458,6	11,7	9,3	106,6	841,9	61,4	75,9
79,9	57993,4	4,7	64,4	20157,8	36,6	17,3	42280,3	12337,4	15641,7	424,6	22,8	459,7	11,9	9,9	112,0	903,4	65,6	81,2
82,25	56439,3	4,7	63,2	19771,4	36,9	17,3	41111,0	12190,2	15012,1	420,1	23,1	431,6	11,4	10,1	110,7	863,1	66,4	81,1
84,6	55692,9	4,8	56,0	20244,7	35,1	16,6	41766,6	12492,5	15484,7	423,2	22,9	436,1	11,6	9,6	112,0	755,5	62,3	78,4
86,95	57373,7		66,3	21098,4	35,7	16,2	41970,7	12433,8	15526,7	419,2	22,1	427,4	11,7	9,7	117,0	859,5	64,7	77,3
89,3	54477,2	6,8	59,9	20582,6	34,1	16,1	39992,2	12464,5	14995,5	396,6	21,7	416,6	10,7	9,4	112,2	851,2	63,2	76,2
91,65	55849,1	5,2	64,8	21607,4	35,3	16,1	41044,6	12993,6	15765,2	410,4	22,0	452,3	11,1	9,4	116,4	836,4	64,2	76,5
94	53923,1	4,7		21748,6	32,8	15,0	40545,3	12846,6	15489,6	401,6	20,7		10,6	8,9	117,1	851,6	60,3	71,9
96,35	55288,5		63,1	22246,8	33,1	14,8	40690,3	12330,4	15547,1	404,8	20,3	426,1	9,9	9,0	119,8	898,5	61,2	72,1
98,7	58303,3	4,7		23098,3	33,7	15,7	42809,9	14052,5	16105,0	426,9	21,0		10,6	9,2	124,9	986,4	63,0	73,4
101,05	53781,6	5,1	57,0	22467,8	31,7	14,8	40737,3	12217,4	15466,7	412,5	20,2	455,3	10,8	8,8	118,1	930,3	59,8	71,2
103,4	54286,1	5,6	62,7	22714,5	34,3	15,9	40130,9	13046,3	15509,1	398,9	21,5	416,0	10,3	9,3	121,4	856,3	64,2	75,6
105,75	51562,3	5,8	59,1	21407,1	34,4	15,2	37786,0	11984,8	14610,4	371,6	21,1	400,2	10,2	9,4	114,0	708,9	63,5	75,8
108,1	53966,3	5,8	60,1	22336,1	34,3	15,4	39609,0	12077,1	14908,4	388,4	21,1		11,4	9,4	117,9	778,2	63,0	76,1
110,45	54249,2	5,3	61,3	23348,6	33,9	15,0	40256,3	12890,8	15345,8	393,4	21,1	467,5	10,5	9,2	121,9	798,1	62,4	75,0
112,8	53699,6		51,1	25080,0	31,7	14,7	42770,5	13024,9	16254,6	421,3	20,2	513,8	10,2	8,7	130,0	855,8	59,1	73,8
115,15	52312,0	4,9	53,1	24498,3	32,1	14,8	40691,3	13029,8	15716,6	389,4	20,2	432,9	10,2	8,7	128,7	979,4	62,2	73,5
117,5	54802,7	5,4	59,6	25877,9	32,3	14,5	42010,9	13162,4	15984,0	402,7	20,0	499,7	10,1	8,7	135,3	970,8	62,1	72,5
119,85	46465,9	5,7	45,9	23510,1	31,0	14,0	37007,5	10551,4	13903,7	366,0	19,2	393,0	10,2	8,2	119,8	790,9	57,3	70,3
122,2	53531,9	3,8	55,7	25165,5	32,4	14,3	40783,2	12887,2	15485,9	401,4	20,1	451,8	10,1	8,7	129,5	839,0	60,0	73,9
124,55	54790,4	4,5	58,9	25020,2	32,1	14,1	41027,3	13265,3	15601,9	401,0	19,9	487,7	10,1	8,8	131,5	943,1	61,1	73,7
126,9	55154,7	6,0	60,4	26257,6	32,8	14,5	40905,1	13381,2	15504,5	398,2	20,1	466,4	9,6	8,9	135,5	950,7	62,9	71,1
129,25	42694,3	6,0	47,9	23623,6	32,0	14,6	36608,5	11591,2	13606,0	342,1	19,7	523,1	10,2	8,6	119,9	847,2	60,9	70,4
131,6	42467,3	4,5	44,5	23311,7	29,8	13,2	36760,1	11380,5	13862,7	324,6	18,1	380,5	9,5	8,0	118,6	795,8	56,9	67,9
133,95	43228,1		46,2	22985,4	31,6	13,9	37388,1	12090,3	14169,1	330,9	19,0	400,8	9,8	8,6	115,5	872,9	61,0	71,9
136,3	47928,7	5,3	56,1	24088,1	33,6	14,8	39978,3	12990,3	15157,2	350,2	19,8	546,5	10,1	9,2	125,4	898,0	64,8	75,5

138,65	45050,6	4,7	54,0	22548,3	32,3	13,8	37469,4	12280,0	14281,0	325,0	19,0	474,5	9,4	8,8	115,5	849,7	62,3	73,5
141	41331,1	5,4	44,7	21627,2	30,3	12,9	36010,0	11131,4	13709,6	306,3	18,3	413,8	9,6	8,1	108,0	809,5	59,6	68,7
143,35	42507,9		45,0	22095,3	30,9	13,1	37158,0	11784,3	14201,9	303,0	18,4	463,0	9,6	8,3	112,9	844,3	60,2	74,1
145,7	39546,1		41,4	20872,9	30,5	12,9	35761,5	11295,0	13677,0	300,8	18,4		9,7	8,1	105,4	847,2	59,7	68,5
148,05	41531,2		46,4	20768,8	30,2	12,8	37038,5	11827,9	13902,6	309,5	18,6	452,3	9,3	8,0	109,4	940,5	61,6	66,5
150,4	37493,9	4,4	39,1	20647,7	28,6	12,0	34918,6	10953,9	13505,4	296,5	17,4	475,9	9,0	7,4	102,2	797,1	56,2	64,1
152,75	37736,6	4,6	39,8	20781,9	29,6	12,8	35377,8	11204,3	13603,4	297,9	18,0	417,0	9,3	7,6	106,1	813,7	58,4	65,3
155,1	37408,7	4,5	43,3	20753,0	29,3	12,2	34492,6	11204,3	13448,8	297,7	17,3	445,4	8,7	7,4	104,1	852,2	57,4	64,6
157,45	39831,8		50,8	20794,5	31,4	12,8	35516,7	12146,4	13820,8	298,8	19,3	546,7	10,6	7,9	107,6	789,1	60,7	68,1
159,8	39317,7	4,2	51,7	20666,2	31,0	12,4	34868,7	12080,4	13371,4	287,2	17,5	397,0	9,5	7,8	106,6	850,6	60,3	65,1
162,15	37025,1	4,7	46,1	19628,0	30,4	11,7	33351,1	11451,1	12694,3	272,3	17,4	405,3	9,7	7,6	99,8	858,9	60,1	64,1
164,5	38341,5	4,6	49,1	20572,6	29,9	11,9	34940,2	11641,3	13443,9	287,4	17,8	467,0	9,1	7,4	104,7	911,0	59,1	62,9
166,85	37905,4	6,1	49,7	20414,7	30,1	12,1	34221,9	11823,2	13350,1	286,6	17,2	467,6	9,4	7,5	103,2	929,7	59,6	63,3
169,2	37911,6	3,9	48,9	17913,0	30,0	12,1	34359,5	11820,7	12990,8	273,5	17,4		9,4	7,5	96,3	848,4	60,0	64,6
171,55	38160,1	4,3	45,8	17927,3	30,8	12,6	35256,3	11829,3	13304,4	279,0	17,8	360,9	10,1	7,7	93,9	764,7	60,1	67,4
173,9	37871,8	4,8	46,6	16825,6	30,9	12,6	34562,2	12207,4	13558,0	275,9	17,8	386,4	9,8	7,8	87,7	803,0	60,9	67,0
176,25	37462,3		43,4	16661,4	29,9	12,1	35453,5	12020,3	13446,2	276,3	17,5	361,3	9,3	7,5	90,2	915,2	60,1	65,1
178,6	41067,8	6,6	52,6	17167,5	31,2	13,0	36598,1	13146,1	13812,8	279,9	18,2	399,3	9,8	7,9	94,7	896,9	63,2	66,6
180,95	40685,5		50,5	16860,2	31,7	12,6	36722,4	13042,9	13768,7	275,2	18,2	405,0	10,5	7,8	92,6	740,5	61,4	69,6
183,3	38606,4	6,4	47,6	15992,8	29,8	11,8	34890,4	12022,7	13466,3	268,4	17,4		9,7	7,4	89,5	787,0	59,5	67,0
185,65	38822,1	6,6	46,9	16480,7	31,0	12,2	35302,2	11857,9	13412,0	262,6	18,0	379,5	10,2	7,6	91,1	652,8	59,7	70,6
188	38430,8	6,4	43,9	17521,9	30,9	12,7	35748,6	11831,6	13599,7	273,8	19,4	424,0	11,0	7,7	93,6	780,4	61,5	69,2
190,35	39304,9	7,3	45,8	18859,6	30,3	12,6	36010,3	12233,7	13807,7	288,2	18,6	446,6	10,1	7,7	98,4	833,4	61,5	69,3
192,7	39931,8	6,1	49,8	19447,1	30,1	12,6	35968,1	12653,3	13772,6	290,4	17,6	369,7	10,0	7,8	99,6	950,5	62,6	67,1
195,05	39196,4	7,1	48,5	19371,5	31,0	12,5	35318,1	12204,1	13552,8	284,3	18,2	437,2	9,9	7,9	99,6	758,8	61,9	69,0
197,4	38256,3	5,4	47,4	17941,5	30,0	12,3	34700,3	11766,1	12909,2	273,6	17,6	378,2	10,0	7,7	94,0	732,9	60,2	67,6

ANEXO D - Relação profundidade (cm) e idade (anos antes do presente) dos testemunhos #557 e #576 obtidos com  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{14}\text{C}$

#557		#557	
Prof (cm)	Idade (anos AP)	Prof (cm)	Idade (anos AP)
0	0	98	673
2	2	100	776
4	3	102	880
6	4	104	983
8	5	106	1087
10	6	108	1190
12	6	110	1294
14	9	112	1397
16	10	114	1501
18	12	116	1604
20	14	118	1708
22	15	120	1811
24	16	122	1915
26	17	124	2018
28	22	126	2122
30	25	128	2225
32	28	130	2329
34	32	132	2432
36	35	134	2536
38	40	136	2639
40	47	138	2743
42	54	140	2847
44	58	142	2950
46	62	144	3054
48	63	146	3157
50	68	148	3261
52	74	150	3364
54	79	152	3468
56	83	154	3571
58	87	156	3675
60	92	158	3778
62	96	160	3882
64	101	162	3985
66	105	164	4089
68	110	166	4192
70	114	168	4296
72	119	170	4399
74	123	172	4503
76	128	174	4606
78	132	176	4710
80	137	178	4813
82	141	180	4917
84	146	182	5020
86	150	184	5124
88	155	186	5227
90	259	188	5331
92	362	190	5435
94	466	192	5538
96	569	194	5642

<b>#557</b>	
<b>Prof (cm)</b>	<b>Idade (anos AP)</b>
196	5745
198	5849
200	5952
202	6056
204	6159
206	6263
208	6366
210	6470
212	6573
214	6677
216	6780
218	6884
220	6987
222	7091
224	7194
226	7298
228	7401
230	7505
232	7608
234	7712
236	7815
238	7919
240	8023
242	8126
244	8230
246	8333
248	8437
250	8540
252	8644
254	8747
256	8851
258	8954
260	9058
262	9161
264	9265
266	9368
268	9472
270	9575
272	9679
274	9782
276	9886
278	9989
280	10093
282	10196
284	10300
<b>#576</b>	
<b>Prof (cm)</b>	<b>Idade (anos AP)</b>
0,00	0
2,35	4
4,70	9
7,05	16
9,40	23

<b>#576</b>	
<b>Prof (cm)</b>	<b>Idade (anos AP)</b>
11,75	29
14,10	35
16,45	42
18,80	51
21,15	61
23,50	72
25,85	94
28,20	102
30,55	108
32,90	131
35,25	166
37,60	222
39,95	279
42,30	335
44,65	392
47,00	448
49,35	505
51,70	561
54,05	618
56,40	674
58,75	731
61,10	787
63,45	844
65,80	900
68,15	957
70,50	1013
72,85	1070
75,20	1126
77,55	1183
79,90	1239
82,25	1296
84,60	1352
86,95	1409
89,30	1465
91,65	1522
94,00	1578
96,35	1635
98,70	1691
101,05	1748
103,40	1804
105,75	1860
108,10	1917
110,45	1973
112,80	2030
115,15	2086
117,50	2143
119,85	2199
122,20	2256
124,55	2312
126,90	2369
129,25	2425
131,60	2482
133,95	2538

136,30	2595
138,65	2651
141,00	2708
143,35	2764
145,70	2821
148,05	2877
150,40	2934
152,75	2990
155,10	3047
157,45	3103
159,80	3160
162,15	3216
164,50	3273
166,85	3329
169,20	3385
171,55	3442
173,90	3498
176,25	3555
178,60	3611
180,95	3668
183,30	3724
185,65	3781
188,00	3837
190,35	3894
192,70	3950
195,05	4007
197,40	4063

---



