

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

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO GEOACÚSTICA
NA IDENTIFICAÇÃO DE GATILHOS DE INSTABILIDADE
AMBIENTAL DE UM GRANDE SISTEMA LAGUNAR
COSTEIRO NO SUL DO BRASIL**

LEANDRO XAVIER MAIA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Porto Alegre – 2022

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

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO GEOACÚSTICA
NA IDENTIFICAÇÃO DE GATILHOS DE INSTABILIDADE
AMBIENTAL DE UM GRANDE SISTEMA LAGUNAR
COSTEIRO NO SUL DO BRASIL**

LEANDRO XAVIER MAIA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber - Instituição de Geociências:
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr. Fernando Scottá - Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura,
SEMA-RS.

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para obtenção
do título de Mestre em Ciências.

Porto Alegre – 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitor: Patrícia Helena Lucas Pranke

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Vice-Diretor: Tatiana Silva da Silva

Maia, Leandro Xavier

Mapeamento e caracterização geoacústica na identificação de gatilhos de instabilidade ambiental de um grande Sistema Lagunar Costeiro no Sul Do Brasil. / Leandro Xavier Maia. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2022.
[86 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2022.

Orientador: Jair Weschenfelder

1. Geologia Marinha. 2. Geoacústica. 3. Sistema Lagunar Costeiro no Sul do Brasil. 4. Título.

CDU 551.468.1

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

AGRADECIMENTOS

A minha família que sempre me apoiou em minhas decisões;

Aos meus grandes amigos: Armando, Eduardo, Dona Loiva e Sr. Ricardo que me propuseram ir para o Rio Grande do Sul e que, em vários momentos, contribuíram para que eu pudesse dar continuidade do meu mestrado em Porto Alegre;

A Wilson, João, Igor, Felipe, João Koppe, Pedro, entre outros grandes amigos que em momentos de pandemia contribuíram com o desenvolvimento de minha dissertação;

Ao meu orientador, Jair Weschenfelder, pela orientação nesse processo de aprendizagem.

Resumo

Os gatilhos de instabilidade ambiental são variáveis distintas interligadas em um só ecossistema. As implicações ocasionadas por esses estímulos acontecem simultaneamente, mas pouco discutidas de forma integrada, e as atividades antrópicas são os maiores contribuintes para que isso ocorra. O presente trabalho através de uma análise holística, caracteriza e mapeia a partir de dados geoacústicos de alta resolução, 3,5 kHz, os elementos arquiteturais de fundo e sub fundo da Lagoa dos Patos (LP) e relaciona aos diversos parâmetros do ambiente lagunar, associando ao acúmulo de problemáticas como adsorção química por agrotóxicos em regiões de maiores concentrações de argilominerais, presença de metano em camadas sedimentares rasas e atividades de dragagem que podem contribuir tanto para a disponibilização desses poluentes ao longo da lagoa, quanto para a liberação do metano na coluna d'água e conseqüentemente para atmosfera, contribuindo com o efeito estufa. As análises indicam as instabilidades no ambiente a partir da caracterização das assinaturas sísmicas (eco carateres) e pela definição dos gatilhos, que colabora com o estresse local e estimula a sensibilidade presente nesse ecossistema lagunar.

Palavras-Chaves

Ecocarater, Metano, Agrotóxico, Adsorção Química, Dragagem, Gatilhos, Instabilidade Ambiental, Efeito Estufa.

Abstract

The environmental instability triggers are distinct variables interconnected in a single ecosystem. The implications caused by these triggers take place simultaneously, but are little discussed in an integrated way, and anthropic activities are the largest contributors for this to occur. This study, through a holistic analysis, aims to characterize and map out based on high-resolution seismic data (3,5 kHz) the bottom and sub-bottom architectural elements of the Patos Lagoon (LP), relating it to the many parameters found in this lagoon environment, making an association with the accumulation of various issues such as the chemical adsorption of agrochemicals in areas with large concentrations of clay minerals, the presence of methane in shallow sedimentary layers and dredging activities that may contribute to the re-availability of these pollutants across the lagoon as well as to the release of methane to its water columns and consequently to the atmosphere, also contributing to the greenhouse effect. The analyses carried out indicate environmental stabilities based on the characterization of seismic signatures (echo characters) and the definition of triggers, which contributes to local stress and stimulates the sensitivity found in this lagoon ecosystem.

Keywords

Echo character, Methane, Agrochemical, Chemical Adsorption, Dredging, Triggers, Environmental Instability, Greenhouse Effect

Lista de Figuras

Figura 1: Fluxograma das etapas e estruturação da dissertação.....	6
Figura 2: Figura ilustrativa esquematizando a aquisição sísmica. (fonte:web)..	12
Figura 3: Fontes acústicas e seus desempenhos (Souza, 2006) modificado...	12
Figura 4: Sequência deposicional Laguna-Barreira.....	15
Figura 5: Área de estudo – Lagoa dos Patos.....	17

Lista de tabelas

Tabela 1: Tipos e características dos padrões de ecos, definidos entre ($0 \leq 1\text{ms}$) refletores de superfície e ($1 \leq 9\text{ms}$), refletores de subsuperfície.....	22
--	----

Sumário

Resumo.....	1
Abstract.....	2
Keywords.....	2
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	6
CAPÍTULO I	7
1.INTRODUÇÃO	7
1.1. OBJETIVOS.....	9
2.EMBASAMENTO TEÓRICO	10
2.1. SÍSMICA.....	10
2.2 FONTE SÍSMICA E DESEMPENHO	11
2.3. ECOCARATER.....	13
3.ÁREA DE ESTUDO.....	13
3.1. AMBIENTES DE ÁGUAS RASAS DE INTERIORES: LAGOAS COSTEIRAS.....	13
3.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS DA REGIÃO.....	14
3.3. LAGOA DOS PATOS.....	16
3.4. FATORES DE INSTABILIDADE AMBIENTAL (GATILHOS)	18
3.4.1. METANO	18
3.4.2. DRAGAGEM.....	18
3.4.3. BIOACUMULAÇÃO/ADSORÇÃO QUÍMICA.....	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1. ECO CARATERES: CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO	20
4.2. DADOS DE INTEGRAÇÃO	23
5. REFERÊNCIAS.....	24
CAPÍTULO II	38

6. ARTIGO.....	38
Environmental Instability Triggers: Hazard clusters analysis through geoacoustic data in a large coastal lagoon in southern Brazil	38
CAPÍTULO III	80
7. CONCLUSÃO.....	80

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está elaborada conforme a modalidade “integração de artigo científico”, de acordo com a Norma 118 do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGGEO/UFRGS.

Através do fluxograma abaixo é demonstrada de forma sistematizado por meio de diversas etapas a organização e estruturação desta dissertação.

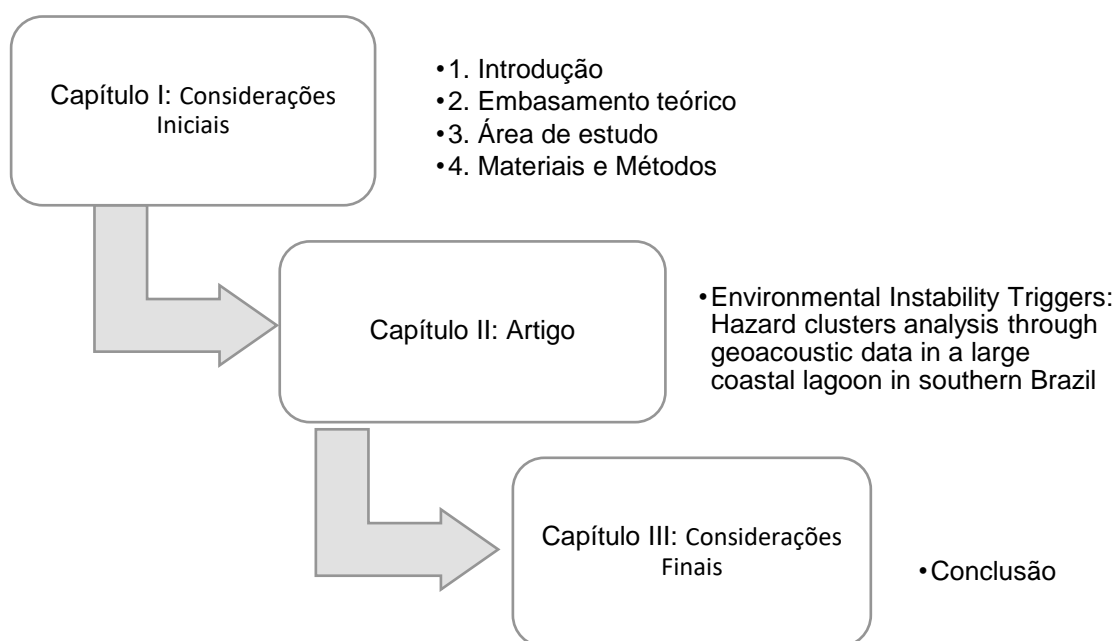


Figure 1: Fluxograma das etapas e estruturação da dissertação.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros de interiores, Lagoas costeiras, estão suscetíveis a constantes modificações, relacionadas a forçantes externas e internas que influenciam diretamente em seus parâmetros físicos e sedimentológicos (Kjerfve, 1986,1994; Spagnoli and Andresini, 2018) e também sujeitas a alterações devido as condições crescentes de demandas populacionais e econômicas. Esses conjuntos de variáveis ambientais e demandas sociais por muitas das vezes exponenciais carecem de certos tipos de conhecimento, mapeamento e planejamento do ambiente.

A sustentabilidade ambiental e os benefícios socioeconômicos para o bem-estar da sociedade, depende da eficácia da integração de informações científicas e todo um conhecimento holístico para se obter um bom gerenciamento baseado no ecossistema (Granek et al. 2010), pois ao longo dos anos o homem influencia diretamente e indiretamente na estrutura do meio ambiente e no clima (Stephens et al. 2019), e contribui na geração de gatilhos de instabilidade e no desequilíbrio dos habitats.

Ambientes costeiros lagunares são receptores de insumos provenientes do continente, muito das vezes poluentes, que chegam, interagem e se depositam, ocasionando futuros transtornos, tanto na coluna d'água quanto na superfície sedimentar (Niencheski et al. 1994; Baumgarten et al. 2001; Mirlean et al. 2003; Martins et al. 2007; Lv et al. 2019; Bueno et al. 2021). Atividades antrópicas como navegação e dragagem também influenciam diretamente e indiretamente modificando e desestabilizando seus leitos e subleitos, por exemplo, em áreas que possuem a presença de gás nos sedimentos, liberando este para a coluna d'água e conseqüentemente para a atmosfera. Qualquer ambiente está sujeito a acúmulos de ações antrópicas que muitas vezes são inadequadas, como ocorrido em 2019, na perfuração B1-SM-13, potencial gatilho de liquefação que ocasionou o rompimento da Barragem I, no córrego do Feijão em Brumadinho-MG (CIMNE, 2021).

Os gatilhos de instabilidade ambiental são variáveis distintas interligadas em um só ecossistema. As implicações ocasionadas por esses estímulos ocorrem simultaneamente, mas pouco discutidas de forma integrada. Ainda se conhecem bem pouco sobre as consequências de curto e longo prazo ocasionadas por esses conjuntos de pressões que as atividades antrópicas impõem nos ambientes aquáticos costeiros. A negligência dessas ações pode acabar desencadeando inúmeras adversidades através de um simples gatilho ou desencadeio (“*start*” ou “*trigger*”).

Dentre inúmeros gatilhos de instabilidade ambiental que ocorrem em ambientes lagunares pode se listar a presença de metano, gás que contribui com o aquecimento global (Bastviken et al. 2004; Borges et al. 2016), atividades de manejo de sedimentos como dragagem, realizada para navegações e uso para construção civil e as atividades na cultura agrícola, com o uso de agrotóxicos, que por consequência contribuem com a toxicação, bioacumulação e adsorção química no ambiente (Chopra et al. 2011; Schock et al. 2014; Awad et al. 2019).

Métodos geofísicos/geoacústico são empregados de maneira consistente na caracterização dos ecossistemas costeiros aquáticos (Quaresma et al. 2011; Scottá et al. 2019; Souza e Gandolfo, 2021). Através da interação das ondas sonoras no meio que se propaga é possível detalhar rugosidade, continuidade, espessura e diversas outras características de áreas submersas por meio dos ecocaracteres (Damuth, 1975, 1978, 1980; Garcia et al. 2002, 2004; Catanzaro et al. 2004; Maestro et al. 2018).

A integração de análises de dados indiretos e diretos como sedimentologia, hidrodinâmica e morfologia, contribuem na interpretação e caracterização do ambiente, favorecendo no preenchimento de lacunas, definindo possíveis tipos de sensibilidade que ocorrem devido aos fatores de pressão que o ecossistema está submetido.

Localizada no Estado do Rio Grande do Sul-RS, a Lagoa dos Patos (LP) tem um grande papel na econômica, nos aspectos sociais e ambientais para região. Entre os produtos e benefícios deste ambiente, estão as atividades pesqueiras, aquicultura, extração de mineral (matéria prima para indústria de construção civil), recreação e turismo entre outras (Tyrrel e George, 2004). Desta

forma, a necessidade de entender particularidades regida na Lagoa dos Patos, ambiente lagunar costeiro, proporcionou cada vez mais inúmeras pesquisas com finalidades distintas como no campo da sedimentologia, hidrodinâmica e evolução (Toldo, 2000, 2004; Moller, 2001; Bexiga, 2016; Weschenfelder et al. 2014, 2016, 2018; Bortolin et al, 2019, 2020; Aguilera; et al, 2020).

A compreensão nos processos sistemáticos que regem os ambientes aquático costeiros é importante e necessária antes de quaisquer intervenções humanas. Este entendimento serve como base para se obter um bom planejamento ambiental e conservativo (Vieira, 2020).

Este estudo, contribuindo com a compreensão holística narrada, identifica, caracteriza e mapeia a partir de dados geoacústicos de alta resolução os elementos arquiteturais de fundo e sub fundo da Lagoa dos Patos (LP). A resposta acústica ou ecocarater é relacionada aos diversos parâmetros do ambiente lagunar. O estudo integrado dos dados geoambientais permitiu definir os “*Conglomerado de Riscos*” e indicar possíveis instabilidades no ambiente a partir da definição dos gatilhos, que contribuem com o estresse local e estimula a sensibilidade presente nesse ecossistema lagunar.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é mapear e caracterizar através da sísmica, especificamente por métodos geoacústicos (Ecocaraters) o fundo e sub fundo da Lagoa dos Patos, integrando a estudos sedimentológicos e hidrodinâmicos já realizados na região. Enfatizando, gatilhos de instabilidade ambiental do local, contribuindo para um melhor esclarecimento na morfodinâmica de sistemas costeiro lagunar raso. Em específico a Lagoa dos Patos-RS.

Como Objetivos específicos, propõe-se:

- Mapear, caracterizar e georreferenciar os ecos caracteres
- Integrar e analisar com a morfodinâmica local (hidrodinâmica e faciologia)
- Discorrer sobre pontos de gatilhos de instabilidade ambiental do local

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1. SÍSMICA

Um dos principais métodos de investigação do fundo e sub fundo aquático é realizado através da sísmica (Figura 2). A sísmica se baseia na propagação de ondas elásticas em diferentes meios com diferentes velocidades, proporcionando a estruturação e parâmetros das camadas deposicionais sedimentares em áreas submersas (Ayres, 2000; Souza, 2006)

Caracterizar regiões submersas com grande taxa de aquisição através da conversão de dados num curto período de tempo faz com que a geoacústica tenha vantagem nas investigações de áreas submersas em águas rasas e profundas (Ayres, 2000).

Por meio da propagação das ondas sísmicas emitida nas interfaces de diferentes meios com propriedades físicas distintas pode ocorrer reflexão ou refração destas, ocasionando o deslocamento para superfície ou para o estrato respectivamente, ocorrendo uma impedância acústica. A impedância acústica é definida como sendo o produto entre a velocidade do som (V) e a densidade (ρ) de um determinado meio.

A velocidade das ondas acústicas na água está em torno de 1500 m/s, podendo variar em relação a salinidade (Kearey e Brooks 1991). Já nos sedimentos de fundo, a caracterização da propagação da velocidade das ondas acústicas está relacionada a densidade, ou seja, mineralogia, porosidade e teor de água. Estas características podem ser distintas conforme a sua localidade, influenciando no tipo de impedância (Kearey e Brooks 1991).

A diferença de impedância acústica com o diferente meio que se propaga as ondas sísmicas geram um produto denominado coeficiente de reflexão. Que também pode ser definida pela razão das amplitudes:

$$R_f = \frac{A_r}{A_i} = \frac{(\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1)}{(\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1)}$$

Onde:

R: Coeficiente de reflexão;

ρ : Densidade;

V: Velocidade da onda *P*;

i: Impedância acústica;

1: representa os valores na primeira camada;

2: representa os valores na segunda camada.

A equação demonstra que quanto maior a diferença entre a densidade e a velocidade propagada em um meio, terá como consequência, uma quantidade maior de energia refletida.

2.2 FONTE SÍSMICA E DESEMPENHO

O planejamento e a determinação do tipo de fonte acústica utilizado para levantamentos geofísicos são de suma importância para os objetivos e necessidades de interesse. A obtenção de dados com qualidade é primordial para evidenciar qualquer tipo de características importante e significativa para análise da área de estudo (Souza, 2006)

A resolução vertical sísmica está basicamente em função da frequência utilizada na aquisição. Altas frequências possuem menor comprimento de onda e, portanto, maior a capacidade de diferenciar camadas mais próximas. (Ayres 2000).

As fontes acústicas de frequência superior a 2kHz de baixa potência do tipo SBP (*sub-bottom profiler*), Chirp entre 3.5, 7, 10, 15 e 24 kHz, apresenta excelente resolução, oferecendo grande aplicação na investigação de ambientes rasos submersos, abstruso por sedimentos finos (Souza, 2006). Entretanto, possui grande limitação na penetração. Ao contrário de fontes acústicas como *Boomer* e *Sparker* que operam com frequências inferiores a 2 KHz (500 e 1500 Hz). Esses possuem maior capacidade de penetração no fundo, porém, limitações em diferenciar refletores adjacentes, ou seja, camadas mais próximas que estejam a menos de 1metro. (Ayres, 2000).



Figure 2: Figura ilustrativa esquematizando a aquisição sísmica. (fonte: web)

As fontes acústicas ao interagirem em diferentes fundos e sub fundos possuem determinados comportamentos, assumindo certos tipos de identidades. Materiais como areias ou substratos mais duros, possuem uma alta refletividade e materiais com granulometria mais finas como lama, silte, argila possuem alta penetração, possibilitando a determinação das camadas de deposições mais próxima (Figura 3).



Figure 3: Fontes acústicas e seus desempenhos (Souza, 2006) modificado.

2.3. ECOCARATER

A aplicação de estudos de ecocaraters permite a compreensão de processos deposicionais, erosão, estratigrafia, presença de gases, paleografia, placeres, projetos de engenharia e dutos, entre outros (Damuth (1975, 1978, 1980), Damuth and Hayes (1977); Hong et al. (2000); Catanzaro, (2004); Orange et al. (2005); Félix, (2012); Garcia et al. (2002, 2003); Maestro et al. (2018); Scottá et al. (2019).

O termo eco caráter, eco fáceis, fáceis acústicas estão relacionados na característica e no comportamento físico que o eco (ondas elásticas) assume ao interagir no meio em que se propaga. Este tipo de identidade assumido pelo eco tem estreita relação com a distribuição e deposição sedimentar de fundo (Magrani, 2011).

Os processos físicos relacionados na caracterização do eco estão associados a fonte em que o sinal é emitido e o material que esse sinal se propaga. A forma de como o sinal retorna é consequência da relação dos materiais de fundo associados a granulometria, compactação e porosidade. Camadas sedimentares em subsuperfície estão relacionadas com coeficiente de reflexão, espessura das camadas, interferência entre as camadas, reflexões internas múltiplas (Magrani, 2011). Na morfologia do fundo estão relacionadas a difrações, extensão e variação lateral no espaçamento das camadas (Magrani, 2011).

3.ÁREA DE ESTUDO

3.1. AMBIENTES DE ÁGUAS RASAS DE INTERIORES: LAGOAS COSTEIRAS

Os ambientes de águas rasas é o termo utilizado para descrever regiões como a plataforma continental interna, áreas costeiras, rios, lagos naturais ou artificiais. Tendo como parâmetro de estudos, profundidades na coluna d'água que não ultrapassam os 50m (Souza, 2006).

As Lagoas costeiras são regiões completamente complexas e desfrutam de constante dinâmica. Esse ambiente no qual transita entre o continente e o

mar, possuem origem relacionada a oscilações eustáticas ocorridos entre a época da glaciação de Wisconsin, no término do Pleistoceno (Kjerfve, 1986) e moldados por inúmeras variáveis como ventos, ondas, correntes entre outros, no qual ocorrem em distintas escalas temporais (Kjerfve, 1994). Possuem corpo semi-fechado, relativamente águas rasas, input de rios (fluxo de água doce e sedimento), ação antrópica, influência de ventos, formação de ondas superficiais que em áreas conforme sua morfologia podem gerar células interna de circulação ou não. Possuem a implicação de inúmeras variáveis (físicas, químicas, geológicas e biológicas) e suas próprias demandas sociais e econômicas. Estando assim, suscetíveis a constantes modificações em sua paisagem (Kjerfve, 1986,1994; Spagnoli and Andresini, 2018).

O conhecimento prévio desses ambientes pode evitar futuros transtornos como erosão, assoreamento, implicações em atividades econômicas, como dragagem, pesca, emissão de gases (metano), bioacumulação ocasionados por agrotóxicos e pesticidas entre outros.

3.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS DA REGIÃO

A Lagoa dos Patos está inserida na Província do Rio Grande do Sul (PRGS), cujo o termo é utilizado para denominar o conjunto geológico formada por uma série de eventos (tectônico, estrutural, sedimentar e morfológico). A sua formação está relacionada com a separação do super continente (Gondwana), surgimento do oceano Atlântico Sul e formação de bacias (Villwock & Tomazelli, 1995).

Entre o Terciário e Quaternário a planície costeira do RS presenciou quatro grandes eventos transgressivos-regressivos relacionados as oscilações glacio-eustático dando origem ao um complexo sistema deposicional lagunar-barreira em direção a costa (Tomazelli and Villwock, 2000; Bortolin et al. 2020). Estes sistemas são: Sistema Depositional Laguna-Barreira I; dentre esses sistemas este é o mais antigo. Sendo resultado de eventos transgressivos-regressivos no pleistocênico. Ocupa as terras baixas e está situada entra a barreira I e terrenos mais antigos como as rochas da Bacia do Paraná e terrenos Pré-Cambriano da região de Porto Alegre, Viamão e Guaíba. Possui alto nível

de retrabalhamento dos depósitos sedimentares ali existentes, refletindo diferentes eventos de diversas idades (Tomazelli & Villwock, 2000; 2005).

Sistema Depositional Laguna-Barreira II; responsável pelo primeiro isolamento da Lagoa Mirim. Possui uma característica litológica de areias quartzofeldspáticas, castanho-amareladas, bem arredondadas, envoltas em uma matriz siltico-argilosa de natureza diagenética. permanecendo bem ativo nos eventos posteriores de oscilação do NM. (Tomazelli & Villwock, 2000; 2005).

Sistema Depositional Laguna-Barreira III; seu desenvolvimento é responsável pelo estabelecimento final da Lagoa dos Patos. Seus depósitos são encontrados quase de maneira contínua ao longo da planície costeira do RS, de Torres ao Chuí (Tomazelli & Villwock, 2000; 2005).

Sistema Depositional Laguna-Barreira VI; teve seu desenvolvimento no Holoceno como consequência da última grande transgressão pós-glacial. Possuindo características regressivas através da presença de cordões litorâneos observadas ao norte de Tramandaí e ao sul da cidade de Rio Grande (Tomazelli & Villwock, 2000; 2005). Entretanto, estudos mais recentes já indicam um sistema intermediário de menor escala, em torno de 42 ka BP (Dillenburg et al. 2020; Barboza et al. 2021) (Figura 4).

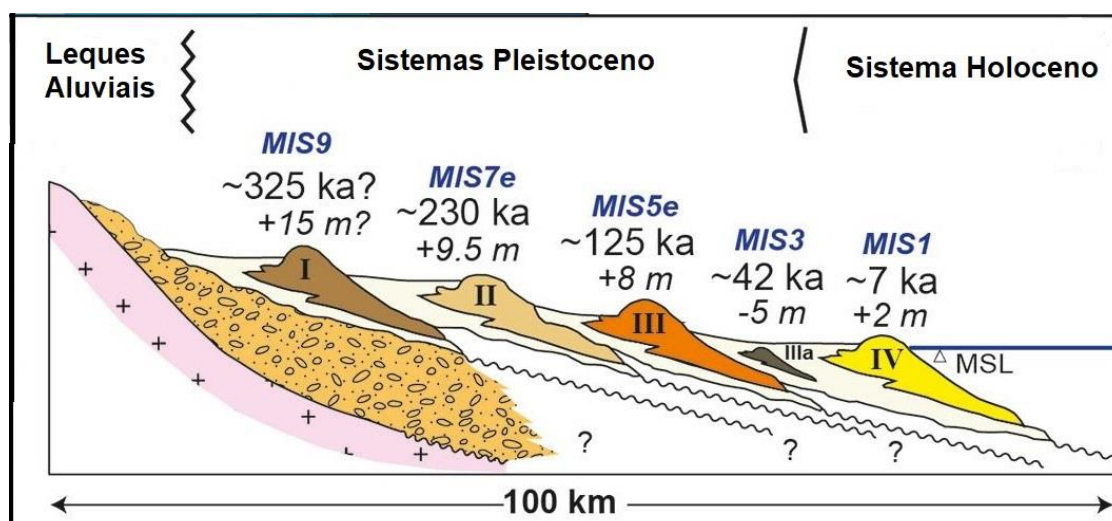


Figure 4: Sequência deposicional Laguna-Barreira (Barboza et al. 2021) modificado.

3.3. LAGOA DOS PATOS

Localizada no Estado do Rio Grande do Sul-RS, a Lagoa dos Patos (Figura 5) possui uma das características geomorfológicas mais dominantes dessa província costeira. Sua fisiografia possui orientação no sentido NE-SW de 240 km, com largura média de 40 Km e profundidade média de 6 m. Ao todo, cobre uma área de 10.360 km² (Weschenfelder, 2018; Bortolin et al. 2020). O complexo do Guaíba formado pelos rios Jacuí, Sinos, Taquari com aproximadamente 200.000 km² e a bacia do Rio Camaquã com 24.000 km², destacam-se como os principais fornecedores de água e sedimento nas margens NW-SW para lagoa, respectivamente (Weschenfelder et al. 2018).

Em suas margens estão inseridos importantes morfologias denominadas de pontais arenosos, feições que contribuem ativamente na hidrodinâmica local (Toldo, 1991; Miranda et al. 2020). Na margem lagunar oeste encontram-se os pontais Desertas, Abreu, Santo Antônio, Dona Helena, Dona Maria, Vitoriano, Quilombo e Feitoria. Na margem leste: Pontal do Anastácio, São Simão, Cristóvão Pereira, Bojurú e Lençóis.

A Lagoa dos Patos tem um importante papel na contribuição de produtos e benefícios para a região. Possibilitando a utilização em diversas atividades, socioeconômicos como a pesca, aquicultura, extração de mineral (matéria prima para indústria de construção civil), recreação e turismo entre outras (Tyrrel e George, 2004). A sua importância para a região proporcionou cada vez mais inúmeras pesquisas com finalidades distintas entre os campos da sedimentologia, hidrodinâmica e evolução (Toldo, 2000, 2004; Moller, 2001; Bexiga, 2016; Weschenfelder, 2016, 2018; Bortolin et al. 2019, 2020; Aguilera, 2020).

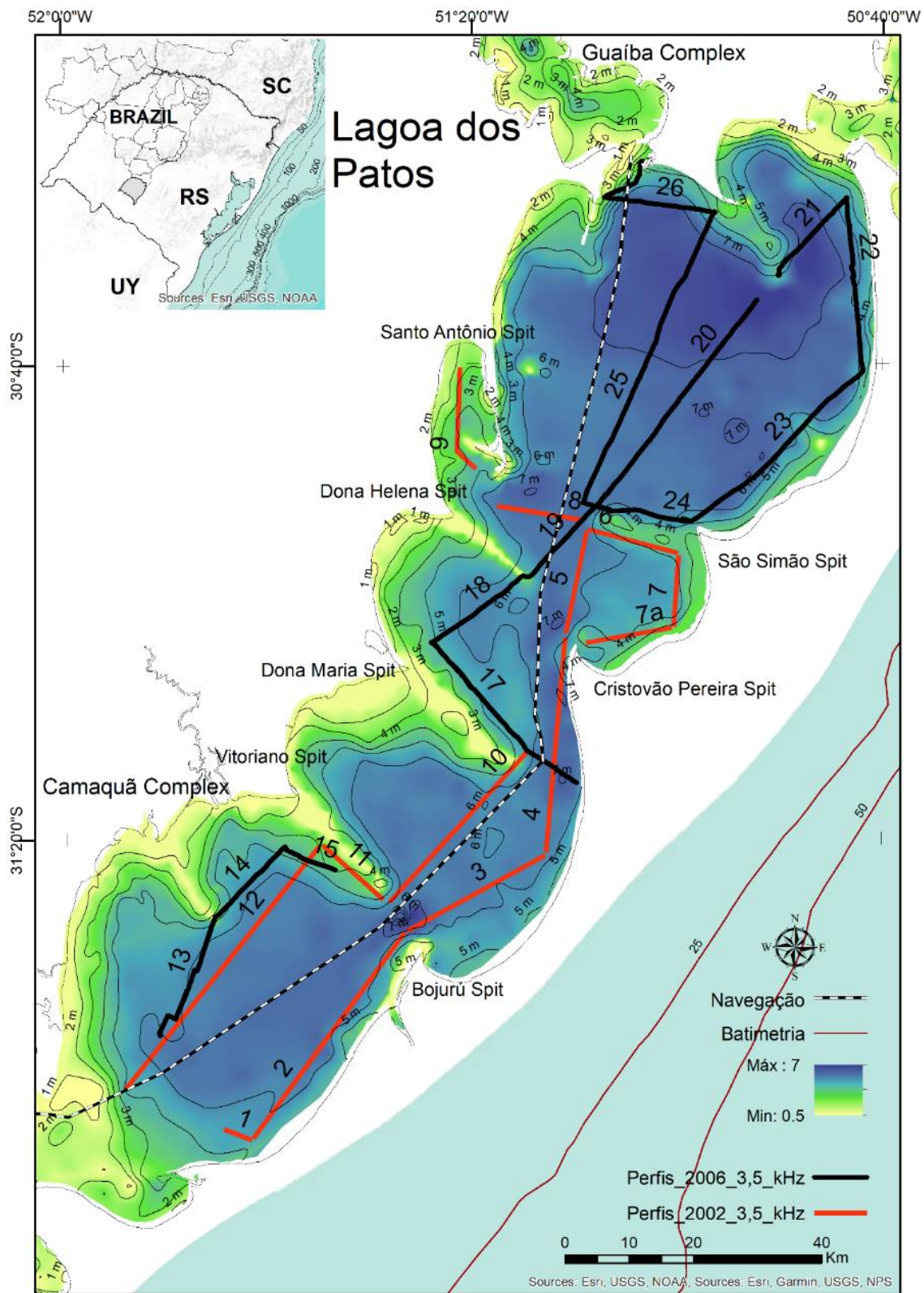


Figure 5: Área de estudo – Lagoa dos Patos.

3.4. FATORES DE INSTABILIDADE AMBIENTAL (GATILHOS)

3.4.1. METANO

O metano corresponde a 32% da forçante global antropogênica por Gás de Efeito Estufa (GEEs) (Borges et al. 2016). Suas concentrações dobraram desde os tempos pré-industriais, com uma proporção de mistura média global atual de ~1750 ppbv² (Wuebbles, 2002; Bastviken, 2004; Stocker, T.F. et al. 2013; Borges et al. 2016).

Em regiões lagunares o metano pode estar relacionado por vazamento de reservatórios de hidrocarbonetos (origem termogênica); por acúmulo de sedimentos ricos em matéria orgânica abaixo do substrato marinho (origem biogênica), ou através de processos autigênico (Hempel et al, 1994; Lee et al. 2005; Felix, 2012 Weschenfelder et al. 2016).

As flutuações do nível do mar, condiciona a Lagoa dos Patos, ambiente sedimentar costeiro a todos os pré-requisitos para formação e acumulação de gases. Tais evidências estão descritas em trabalhos pretéritos (Weschenfelder et al. 2016, 2018).

Existe ao menos quatro vias no qual o metano pode ser emitido: fluxo de ebulição, fluxo difusivo, fluxo de armazenamento e fluxo através da vegetação aquática (Bastviken, 2004).

Os sedimentos de áreas lagunares são verdadeiros pontos de concentração de metano e a identificação dessas concentrações contribui para gerenciamento costeiro local. Entretanto, o mapeamento e análise da estimativa de quanto esses ambientes podem favorecer para acelerar processos do efeito estufa em escala regional e global ainda são desconhecidas (Bastviken, 2004).

3.4.2. DRAGAGEM

Atividade realizada em corpos d'água, a dragagem é uma prática de manejo de sedimentos relacionadas ao uso da navegação, construção e manutenção no ambiente aquático entre outros (Bray, 1979).

Inúmeros estudos relatam a importância do conhecimento do caráter físico-químico e biológico dos sedimentos lacustres antes da prática da dragagem (Fan, 2004; Jing, 2013; Liu, 2017; Wu, 2007; Reddy, 2007). Pois o conhecimento prévio destes ambientes ajuda a determinar o método dragagem mais adequado prevendo efeitos negativos no ambiente.

A Lagoa dos Patos, ambiente de acesso para o oceano, cujo a área também possui demarcações para o exploramento de jazidas com finalidades para construção civil, faz com que a dragagem e suas finalidades contribuam como gatinhos de instabilidade para o local.

3.4.3. BIOACUMULAÇÃO/ADSORÇÃO QUÍMICA

O aumento excessivo da utilização de agrotóxicos nas proximidades de corpos hídricos, rios e em seus diversos Inter compartimentos, faz com que inúmeras questões e preocupações ambientais fiquem em evidencia. Essas preocupações crescem cada vez mais através da prática do uso extensivo de agroquímicos na agricultura nesses ambientes, contaminando sedimentos e a biota aquática, através de biocamulações. Tornando-as, regiões e alimentos prejudiciais para os humanos (Chopra et al. 2011; Schock, 2014).

A bioacumulação é o termo utilizado para soma de dois processos de acumulação de compostos químicos. A bioconcentração e biomagnificação. Bioconcentração é o processo que causa aumento da concentração química em um organismo em relação ao meio que habita (ar, água, solo, sedimento). a biomaginificação, ocorre de forma progressiva na biota através da cadeia alimentar por acúmulo de substâncias (Voutsas et al. 2002).

A alta concentração de argila minerais em ambientes de águas rasas de interiores como lagoas costeiras também proporciona um processo físico-químico que é a adsorção química. A adsorção química está relacionada a retenção de compostos líquidos ou gasosos na camada superficial de um sólido e tem a argila mineral como bom adsorvente devido suas características física e químicas que o compõe (Awad et al. 2019).

O fato da Lagoa dos Patos ser o corpo hídrico de maior significância para o estado do Rio Grande do Sul, no qual faz ligações diretas e indiretas com vários municípios que contribuem com os 12, 1% para o VAB agropecuário brasileiro. (<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/vab-da-agropecuaria>), faz com que o uso de agrotóxicos nessa região ocasione possíveis gatinhos e pontos críticos na lagoa

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ECO CARATERES: CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO

A caracterização e mapeamentos dos ecocaráteres foi feito com base em registros sísmicos de alta resolução (3,5 kHz) de duas campanhas de levantamento de dados nos anos de 2002 e 2006, na LP. Esses perfis cobrem uma extensão em torno de mil km e foram adquiridos a bordo da Lancha Oceanográfica LARUS da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). O conjunto de dados já foi objeto de estudo (Bexiga et al. 2016; Weschenfelder et al. 2016; Weschenfelder e Corrêa, 2018; Bortolin et al. 2019), e aqui são revisitados, com novo enfoque.

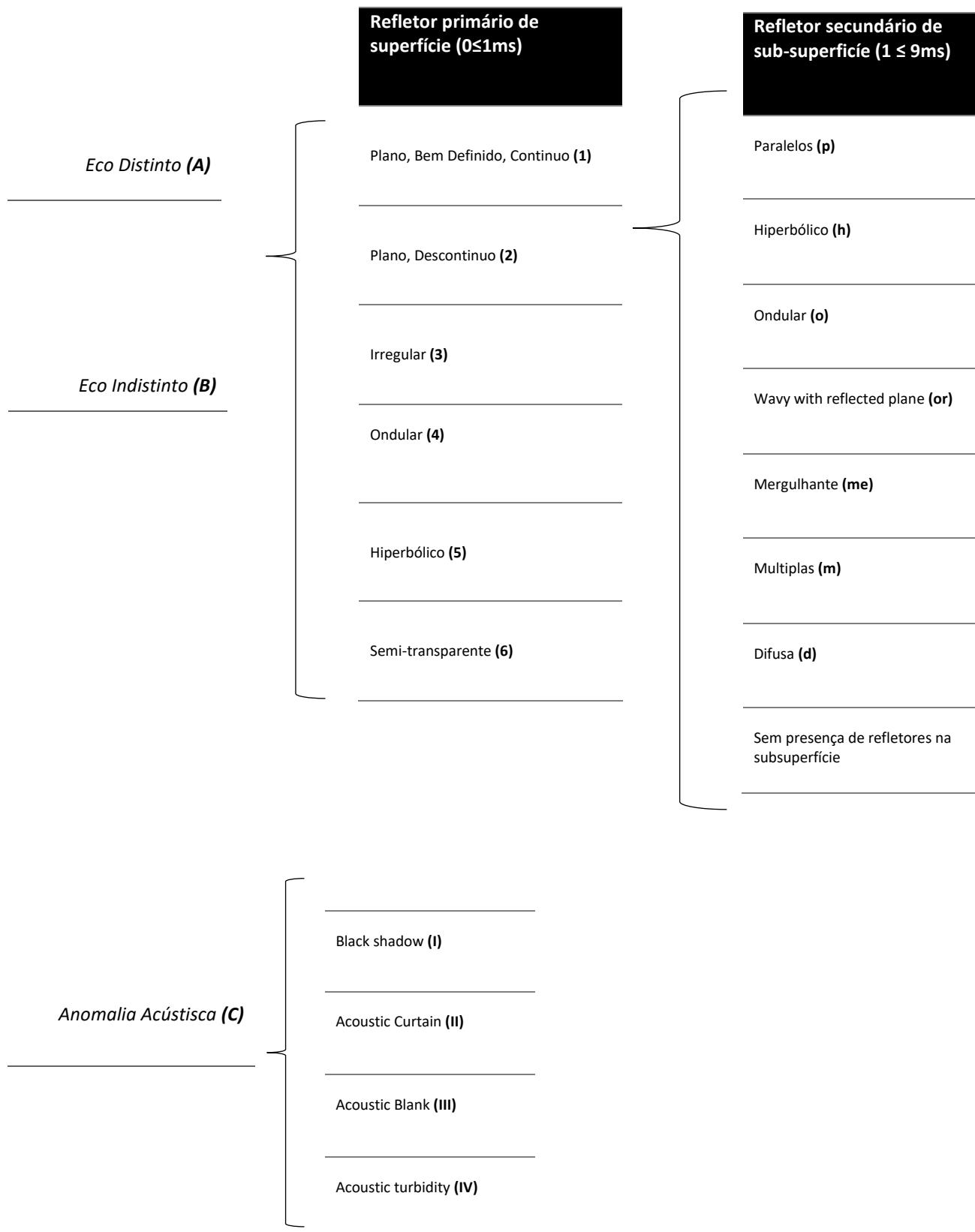
Os dados foram posicionados através de equipamentos de DGPS (*Differential Global Positioning System*) e levantados com sistema de aquisição sísmica *Geopulse Sub Bottom Profiler*, da *GeoAcoustics*TM, sistema analógico e digital, que pode operar no intervalo de frequência de 2 a 12 kHz. O sistema de aquisição sísmica era composto pelo receptor *Geopulse* (5210A); transmissor *Geopulse* (5430A); transdutor (132B, com 4 elementos) sendo esse fixado na borda da embarcação e ao mesmo tempo utilizado como emissor e receptor do sinal acústico. Após alguns testes para condições de aquisições locais, optou-se pela aquisição utilizando a frequência de 3,5 kHz, potência de 5 kW e intervalo de disparo de 125 ms. O processamento foi realizado no *Software SonarWiz 5* (*Chesapeake Technology*) e salvos no formato digital SEG-Y. A aplicação da velocidade do som na água considerou o valor de 1.500 m/s, enquanto para sedimentos foi de e 1.650 m/s (Jones, 1999).

A análise dos ecocaráteres foi delimitada aos pacotes sedimentares que compreendem até ~9 ms no ecograma, ou seja, até a profundidade média considerada como de sedimentação holocênica global (Walker et al. 2009), e na LP (Toldo et al. 2000; Ivanoff et al. 2020). Considera-se entre 0 e <1 ms, refletores de superfície, com resposta acústica relacionada ao fundo lagunar, e entre 1 e 9 ms, para refletores de subsuperfície.

Os **ecos distintos, classe (A)**, estão relacionados a resposta sísmica que considera qualquer característica de superfície, identificando refletores de subsuperfície. Os **ecos indistintos, Classe (B)**, estão relacionados a resposta sísmica que considera qualquer característica de superfície, não identificando os refletores de subsuperfície. E a **classe (C), anomalia acústica**, está relacionada às anomalias que ocorrem nos pacotes sedimentares mais rasos, mas desconsidera as características dos primeiros refletores (de topo, mais rasos).

A tabela 1 foi construída para sumarizar os tipos das assinaturas dos ecos, levando em consideração as características do refletor superficial, bem como características de subsuperfície. Vale ressaltar que não será identificado os tipos de anomalia acústica e sim a presença delas no perfil, e que nem todos os tipos de ecos propostas nesta tabela foram identificadas neste trabalho. Essa tentativa de sistematizar os tipos de eco visa diminuir a subjetividade da interpretação, determinando elementos chave para aplicabilidade.

Table 1: Tipos e características dos padrões de ecos, definidos entre ($0 \leq 1\text{ms}$) refletores de superfície e ($1 \leq 9\text{ms}$), refletores de subsuperfície.



4.2. DADOS DE INTEGRAÇÃO

A definição do comportamento geoacústico dos sedimentos de fundo e subfundo no interior da LP permitiu a confecção do mapa de distribuição dos ecocaráteres. Esse mapa foi sobreposto a dados prévios de distribuição sedimentar faciológica, distribuição espacial de gás e informações de reservas de mineração.

A distribuição sedimentar foi apresentada nos trabalhos de Vieira et al. (2020) e Bortolin et al. (2020). As características faciológicas da LP permitiu mapear regiões de maiores concentração de sedimentos mais finos, determinados como “depocentros de lama” por Bortolin et al. (2020).

A compilação de áreas de distribuição e maiores concentração de gases na LP estão relacionadas à abordagem realizada por registros sísmicos rasos de 3,5 kHz, de diversas feições gasosas devido aos respectivos ambientes deposicionais na lagoa realizados por Weschenfelder e Corrêa (2018). Esses registros evidenciam a influência do ecossistema local na característica e na distribuição espacial do gás.

Através do Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SigMine, plataforma digital online, vinculada a Agência nacional de mineração – ANM, foram exportados dados poligonais dos processos minerários ativos, os quais estão principalmente associadas a áreas de exploração de jazidas delimitadas para o uso de construção civil. Essas informações contribuíram na integração e correlação das análises do mapa local.

A delimitação dos “**Conglomerados de riscos**” nos setores Central, Norte e Sul na LP, identificados como **A1, A2 e A3**, tem como superfície de controle as linhas sísmicas relacionadas as áreas compostas por sedimentos mais finos (silte e argila) e anomalias acústicas. Agrupando como um todo, os possíveis gatilhos de instabilidade, como os depocentro de lama, regiões com as maiores concentração de gases e as áreas associadas a exploração de jazidas.

5. REFERÊNCIAS

- Aguilera, L., Dos Santos, A. L. F., Rosman, P. C. C., 2020. On characteristic hydraulic times through hydrodynamic modelling: discussion and application in Patos Lagoon (RS). *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v.15, n.2, p. 1 – 20, 2020. SciELO. <http://dx.doi.org/10.4136/ambiagua.2456>.
- Amador, E. S., 1997. Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos – Homem e Natureza. Rio de Janeiro, Retroarte Gráfica e Editora. 539 p.
- Ashley, G. M., 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *J. Sediment. Petrol.*, 60(1): 160-172.
- Ayres Neto, A., 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Rev. Bras. Geof.*, 18:241-255.
- Ayres Neto, A., Falcao, L. C., Amaral, P. J. T., 2009. Caracterização de ecofácies na margem continental norte Brasileira: estado do conhecimento. *Revista Brasileira de Geofísica*. São Paulo, v. 27, supl. 1, p. 097-106, 2009.
- Awad, A. M., Shaikh, S. M. R., Jalab, R., Gulied, M. H., Nasser, A. B., Adham, S. 2019. Adsorption of organic pollutants by natural and modified clays: a comprehensive review. *Separation and Purification Technology* 228, 115719. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115719>.
- Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul., 2021. (<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/vab-da-agropecuaria>), Acessado em 20 de Maio de 2021.
- Barboza, E. G., Dillenburg, S. R., Lopes, R. P., Rosa, M. L. C. C., Caron, F., Abreu, V., Manzolli, R. P., Nunes, J. C., Weschenfelder, J., Tomazelli, L. J., 2021. Geomorphological and stratigraphic evolution of a fluvial incision in the coastal plain and inner continental shelf in southern Brazil. *Marine Geology* 2021.

Bastviken, D., Cole, J., Pace, M., Tranvik, L., 2004. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, (2004), 1-12, 18(4).

Baumgarten, M. G. Z and Niencheski, L. F. H and Veeck, L. 2001. Nutrientes na coluna d'água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica (RS). *Revista Atlântica. FURG. Rio Grande*. v.23, n. 1, p.101-116.

Bexiga, G. M., Weschenfelder, J., Félix, C. A., 2016. Use of High-Resolution Seismic Data (3.5 kHz) to Map Echo-Character: Case Study in Patos Lagoon - RS (Brazil). *Revista Brasileira de Geofísica* (2016).

Blott, S.J., Pye, K. 2012. Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: review and recommended procedures. *Sedimentology* 59 (7), 2071–2096. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01335.x>.

Borges, A., Champenois, W., Gypens, N., Delille B., Harlay, J. 2016. Massive marine methane emissions from near-shore shallow coastal areas *Scientific Reports*, (2016), 6.

Bortolin, E. C., Weschenfelder, J., Fernandes, E. H., Bitencourt, L. P., Möller, O. O., García-Rodríguez, F., Toldo Jr., E. 2020. Reviewing sedimentological and hydrodynamic data of large shallow coastal lagoons for defining mud depocenters as environmental monitoring sites. *Sedimentary Geology*, (2020), 410.

Bortolin, E.C., Weschenfelder, J., Cooper, A., 2019. Holocene evolution of Patos Lagoon, Brazil: the role of antecedent topography. *Journal of Coastal Research* 35, 357–368.

Bueno, C., Alves, F. L., Pinheiro, L. M., Perez, L., Agostini, V. O., Fernandes, E. H. L., Möller, O. O., Weschenfelder, J., Pinho, G. L. L., Wallner-Kersanach, M.,

Moura, R. R., Durán, J. M., Etchevers, I., Costa, L. D. F., Werlang, C. C. ; Bortolin, E., Machado, E., Figueira, R. C. L., Ferreira, P. A. L., Andrade, C. L., Fornaro, L., García-Rodríguez, F. 2021. The effect of agricultural intensification and water-locking on the world's largest coastal lagoonal system. *Science of The Total Environment*, vol. 801, p. 149664. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149664

Burakov, A.E., Galunin, E.V., Burakova, I.V., Kucherova, A.E., Agarwal, S., Tkachev, A.G., Gupta, V.K., Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 148 (2018) 702–712, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>.

Blum, M. D. and Törnqvist, R. E. 2000. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, 47(1):2-48.

Calliari, L.J., Machado, A.A., Marroig, P., Vinzon, S., Gianuca, N., 2020. Mud deposits at Cassino beach: role of dredging. *Geo-Mar. Lett.* <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00619-6>.

Catanzaro, L. F., Baptista Neto, J. A., Guimarães, M. S. D., Silva, C. G. 2004. Distinctive sedimentary processes in Guanabara Bay – SE / Brazil, based on the analysis of echo-character (7.0 kHz). *Revista Brasileira de Geofísica*, v.22 (1), p.69-83.

CIMNE - Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (UPC - Universidad Politécnica de Catalunya), 2021. Computational analyses of Dam I failure at the Corrego de Feijao mine in Brumadinho. Final Report (2021).

Chopra, A.K., Sharma, M.K., Chamoli, S., 2011. Bioaccumulation of organochlorine pesticides in aquatic system-an overview. *Environ. Monit. Assess.* 73, 905e916.

Damuth, J. E. 1975. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*. v. 18 (2), p. 17-45

Damuth, J. E. 1978. Echo character of the Norwegian—Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. *Marine Geology*, v. 28 (1–2), p. 1-36.

Damuth, J. E. 1980. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near- bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, 38 (1-3), p. 51-75.

Damuth, J. E.; Hayes, D. E., 1977. Echo character of the East Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology*, 24 (2), p. 73-95.

DelSontro, T. Kunz, M. J. Kempter, T. Wuest, A. Wehrli, B. David B. Senn, D.B. (2011) Spatial Heterogeneity of Methane Ebullition in a Large Tropical Reservoir. *Environmental science e technology*. pubs.acs.org/est.

Desprez, M., Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel: short and long-term post-dredging restoration, *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57: 1428-1438
DOI: 10.1007/s00367-019-00574-2

Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Caron, F., Cancelli, R., Santos Fischer, C. B., Lopes, R.P., Ritter, M.N., 2020. Sedimentary records of Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3) in southern Brazil. *Geo-Mar. Lett.* 40, 1099–1108. <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00574-2>

Fan, C. X., Zhang, L., Wang, J. J., Zheng, C. H., Gao, G., and Wang, S. M. 2004a Processes and mechanism of effects of sludge dredging on internal source release in lakes Chinese Sci. Bull. 49 1853–9.

Fan, C., Zhang, L., Qin, B. Q., Wang, S. M., Hu, W. P. 2004b "Estimation on dynamic release of phosphorus from wind induced suspended particulate matter in Lake Taihu," 2004b. Science in China Series D, vol. 47, no. 8, pp. 710–719, 2004b.

Félix, C. A. Evolução Quaternária Superior e Formação de Gás Raso em Ambiente Estuarino Tropical: O Caso do Canal de Bertioga, São Paulo. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2012.

Fendinger, N. J.; Adams D. D. and Glotfelty, D. E. (1992), *The role of gas ebullition in the transport of organic contaminants from sediments*, Sci. Total Environ., 112, 189 – 201.

Frazão, E. P. and Vital, H. 2006. Estruturas rasas de gás em sedimentos no estuário Potengi (nordeste do Brasil). Revista Brasileira de Geofísica.

García-García, A.; García-Gil, S.; Vilas, F. 2004. Echo characters and recent sedimentary processes as indicated by high-resolution sub-bottom profiling in Ría de Vigo (NW Spain). Geo-Marine Letters, v.24 (1), p. 32-45.

García-Gil, S.; Vilas, F.; García-García, A. 2002. Shallow gas features in incised-valley fills (Ría de Vigo, NW Spain): a case study. Continental Shelf Research, v.22 (16), p.2303-2315.

Granek, E.F., Polasky, S., Kappel, C.V., Reed, D.J., Stoms, D.M., Koch, E.W., Kennedy, C.J., Cramer, L.A., Hacker, S.D., Barbier, E.B., Aswani, S., Ruckelshaus, M., Perillo, G.M.E., Silliman, B.R., Muthiga, N., Bael, D., Wolanski, E., 2010. Ecosystem services as a common language for coastal ecosystem-based management. Conserv. Biol. 24, 204–217

Héquette A, Ruz MH (1991) Spit and barrier island migration in the southeastern Canadian Beaufort Sea. J Coast Res 7(3):677–698.

Herz, R. 1977. Circulação das Águas de Superfície da Lagoa dos Patos. DSc. Thesis, Universidade Sao Paulo, Brazil.

Hong, E.; Chen, I. S. 2000. Echo characters and sedimentary processes along a rifting continental margin, northeast of Taiwan. *Continental Shelf Research*, v.20 (4-5), p. 599-617.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/central-and-south-america/> (acessado em 14 de Setembro de 2021)).

Iyamu, I. O. K., Asia, I. O., and Egwakhide, F. (2007). Concentrations of residues from organochlorine pesticide in water and fish from some rivers in Edo State Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*, 2(9), 237–241.

Ivanoff, M.D., Toldo Jr., E. E., Figueira, R. C. L., Ferreira, P.A. L. 2020. Use of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs in the assessment of recent sedimentation in Patos Lagoon, southern Brazil. *Geo-Marine Letters* <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00633-8>.

Jing, L. D., Wu, C. X., Liu, J. T., Wang, H. G., Ao, H. Y. 2013. The effects of dredging on nitrogen balance in sediment-water microcosms and implications to dredging projects. *Ecol. Eng.* 52, 167e174.

Jing, L., Bai, S., Li, Y., Peng, Y., Wu, C., Liu, J., Liu, G., Xie, Zhicai., Yu, G. 2019. Dredging project caused 733 short-term positive effects on lake ecosystem health: A five-year follow-up study 734 at the integrated lake ecosystem level. *Sci. Total Environ.* 686, 753–763.

Jones, E.J.W., 1999. *Marine Geophysics*. London: Wiley, 474p.

Kearey P, Brooks M (1991) *An introduction to geophysical exploration*, 2nd edn. Blackwell, Oxford, p 254.

Kenny, A. J., Rees, H. L. 1996. "The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: results 2 years post-dredging," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 32, no. 8-9, pp. 615 –622, 1996.

Kjerfve, B. (1986) *Comparative oceanography of coastal lagoons*. Academic Press, New York.

Kjerfve, B. (1994) Coastal lagoons. In *Coastal Lagoon Processes*, ed. B. Kjerfve, pp, 1-8. Elsevier, Amsterdam.

Klotsko, S., Skakun, M., Maloney J., Gusick , A., Davis , L., Nyers. A., Ball, D. 2021. Geologic controls on paleodrainage incision and morphology during sea level lowstands on the Cascadia shelf in Oregon, USA. February 2021. *Marine Geology* 434(3–4):106444. DOI:10.1016/j.margeo.2021.106444.

Kornijw, R., Vakkilainen, K., Horppila, J., Luokkanen, E., T. Kairesalo, "Impacts of a submerged plant (*Elodea Canadensis*) on interactions between roach (*Rutilus rutilus*) and its invertebrate prey communities in a lake littoral zone," *Freshwater Biology*, vol. 50, pp. 262–276, 2005.

Leal-Alves, D.C., Weschenfelder, J., Gonzaga, B.A., Espinoza, J.M.A., Albuquerque, M.G., Ferreira-Cravo, M., 2022. Seasonal water table dynamics and effects of a rising sea-level in the low-lying sandy coast of Cassino Beach, southern Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 50 (2022) 102157, <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102157>

Lechthaler, S., Waldschläger, K., Stauch, G., Schüttrumpf, H., 2020. The way of macroplastic through the environment. *Environments* 7, 73. <https://doi.org/10.3390/environments7100073>.

Liu, C., Chen, K.N., Wang, Z.D., Fan, C.X., Gu, X.Z., Huang, W. 2017. Nitrogen exchange across the sediment-water interface after dredging: The influence of contaminated riverine suspended particulate matter, *Environmental Pollution*. 229. (2017) 879-886. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.054>.

Liu, C., Shao, S., Shen, Q., Fan, C., Zhou, Q., Yin, H., Xu, F., 2015. Use of multi-objective dredging for remediation of contaminated sediments: a case study of a typical heavily polluted confluence area in China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 17839e17849.

Long, T. 1989. Le quaternaire littoral du Rio Grande do Sul state temoin des quatres dernieres episodes eustatiques majeurs. *Ge´ologie et e´volution*. DSc. Thesis, Universite´ Bordeaux I, France.

Lv, W., Zhou, W., Lu, S., Huang, W., Yuan, Q., Tian, M., Lv, W., He, D., 2019. Microplastic pollution in rice-fish co-culture system: a report of three farmland stations in Shanghai, China. *Sci. Total Environ.* 652, 1209–1218. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.321>.

Maestro, A., Jané, G., Fernández-Saéz, F., Llave, E., Bohoyo, F., Navas, J., Mink, S., Gómez Ballesteros, M., Martín-Dávila, J., Catalán, M., 2018. Echo-character of the NW Iberian continental margin and the adjacent abyssal plains. *Journal of Maps* 14, 56–67. doi:10.1080/17445647.2018.1424653.

Magrani, F. J. G. *Ecocaracteres Sísmicos e Correlação Sedimentar Na Margem Continental do Arquipélago das Shetland do Sul, Antártica*. 2011. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geofísica, Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ, 2011.

Martelo, A. F.; Trombetta, T. B.; Lopes, B. V.; Marques, W.C.; Möller, O.O. Impacts of dredging on the hydromorphodynamics of the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. *Ocean Eng.* 2019, 188, 106325. [Google Scholar] [CrossRef]

Martins, C. C.; Fillmann, G.; Montone, R. C.; *J. Braz. Chem. Soc.* 2007, 18, 106.

Mattson, M. D., and G. E. Likens (1990), Air pressure and methane fluxes, *Nature*, 347, 718– 719.

Miranda, I. M., Toldo Jr., E. E., Klein, A. H., Strauss, D., Vieira da Silva, G., 2020. The role of cusped spits on wave attenuation and energy redistribution in a coastal lagoon, Lagoa dos Patos, Brazil. *Geo-Marine Letters* <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00632-9>.

Mirlean, N., Calliari, L., Johannesson, K. 2020. Dredging in an estuary causes contamination by fluid mud on a tourist ocean beach. Evidence via REE ratios. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 159, October 2020, 111495

Mirlean, N., Andrus, V. E., Baisch, P. 2003. Mercury pollution sources in sediments of Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 01 Mar 2003, 46(3):331-334 DOI: 10.1016/s0025-326x(02)00404-6 PMID: 12604067.

Möller, O.O., Castaing, P., Salomon, J.C., Lazure, P. 2001. The influence of local and nonlocal forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. *Estuaries* 24 (2), 297–311.

Monte Novo, A. F, 2015. Emissão e produção de metano em um reservatório tropical: Variabilidade especial no reservatório de Juturnaíba. Campos dos Goytacazes. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/ecologia-recursosnaturais/wp-content/uploads/sites/7/2016/06/AndreaFerreira-Monte-Novo_Mestrado_2015.pdf>.

Niencheski, L. F., Windom, H. L., and Smith, R, 1994. Distribution of particulate trace metal in Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 28, 96–102.

Ogawa, H., 1995. Water-purification measures within Lakes in Proceedings of 6th International Conference on the Conservation and Management of Lakes-Kasumigaura' 95 (eds. Hashimoto, M., Yamazaki, K.), Tsukuba: ILEC, 1995,859-863.

Park, J. V., Wells, J. T, 2007. Spit growth and downdrift erosion: results of longshore transport modelling and morphologic analysis at the Cape Lookout cusped foreland. *J Coast Res* 23(3):553–568. <https://doi.org/10.2112/03-0116.1>

Peimin, P; Guoxiang, W; Chunhua, H; Weiping, H; Chengxin, F., 2000. Can we control lake eutrophication by dredging? *Journal of Lake Sciences* (in Chinese with English abstract), 2000, 12(3): 269-279.

Quaresma, V. S., Bastos, A. C., Loureiro, D. V., Paixão, S. 2011. Utilização de métodos geofísicos para mapeamento de lama fluida no porto de Tubarão, Vitória (ES-Brasil). *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 29, n. 3, 2011.

Sebetich, M. J., Ferriero, N., Lake restoration by sediment dredging, *Verh. -Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 1997,26(2): 776-781.

Scottá, F. C., Andrade, M. M., Silva, V. O., Oliveira, N., Weschenfelder, J., Bortolin, E., Nunes, J. C. Geoacoustic patterns of the Guaíba river bottom and subbottom and their relationship with sedimentary and hydrodynamic processes. *Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)*, v. 37, p. 1-16, 2019.

Schock, N.T., Murry, B.A., Uzarski, D.G. 2014. Impacts of agricultural drainage outlets on Great Lakes coastal wetlands. *Wetlands* 34:297–307.

Schulz, R. 2001. Rainfall induced sediment and pesticide input from orchards into the Lourens river, Western Cape, South Africa. *Water Research*, 35(8), 1869–1876.

Souza L. A. P. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo – SP, 311 pp.

Souza, L. A. P e Gandolfo, O. C. B. Geofísica aplicada à geologia de engenharia e meio ambiente: manual de boas práticas. 1. Ed. São Paulo: ABGE, 2021.

Spagnoli, F. and Andresini, A. 2018. Biogeochemistry and sedimentology of Lago di Lesina (Italy). *Science of the Total Environment*, 643, 868–883.

Stephens, L., Fuller, D., Boivin, N., Rick, T., Gauthier, N., Kay, A., Marwick, B., Armstrong, C. G., Barton, M., Denham T., Douglass, K., Driver, J., Janz, L., Roberts, P., Rogers, J. D., Thakar, H., Altaweel, M., Johnson, A. L., Sampietro Vattuone, M. M., Aldenderfer, M., Archila, S., Artioli, G., Bale, M.T., Beach, T., Borrell, F., Braje, T., Buckland, P.I., Jiménez Cano, N. G., Capriles, J. M., Diez Castillo, D., Çilingiroğlu, Ç., Negus Cleary, M., Conolly, J., Coutros, P.R., Covey, A., Cremaschi, M., Crowther, A., Der, L., di Lernia, S., Doershuk, J. F., Doolittle, W. E., Edwards, K. J., Erlandson, J. M., Evans, D., Fairbairn, A., Faulkner, P., Feinman, G., Fernandes, R., Fitzpatrick, S.M., Fyfe, 895 R., Garcea, E., Goldstein, S., Goodman, R. C., D’Alpoim Guedes, J., Herrmann, J., Hiscock, P., Hommel, P., Horsburgh, K. A., Hritz, C., Ives, J. W., Junno, A., Kahn, J. G., Kaufman, B., Kearns, C., Kidder, T.R., Lanoë, F., Lawrence, D., Lee, G-A., Levin, M.J., Lindsoug, H.B., López-Sáez, J.A., Macrae, S., Marchant, R., Marston, J.M., McClure, S., McCoy, M.D., Ventresca Miller, A., Morrison, M., Motuzaite Matuzeviciute, G., Müller, J., Nayak, A., Noerwidi, S., Peres, T. M., Peterson, C. E., Proctor L., Randall, A. R., Renette, S., Robbins Schug, G., Ryzewski, K., Saini, R., Scheinsohn, V., Schmidt, P., Sebillaud, P., Seitsonen, O., Simpson, I. A., Sołtysiak, A., Speakman, R. J., Spengler, R. N., Steffen, M. L., Storzum, M. J., Strickland, K. M., Thompson, J. T., Thurston, T. L., Ulm, S., Ustunkaya, M. C., Welker, M. H., West, C., Williams, P. R., Wright, D. K., Wright, N., Zahir, M., Zerboni, A., Beaudoin, E., Munevar Garcia, S., Powell, J., Thornton, A., Kaplan, O., Gaillard, M. J., Klein Goldewijk, K., Ellis, E. (2019). Archaeological assessment reveals Earth’s early transformation through land use. *Science*, 365: 897–902. DOI: 10.1126/science.aax1192

Talling, P.J. 1998. How and where do incised valley form if sea level remains above the shelf edge? *Geology*, 26(1):87-90.

Toldo Jr., E. E., Almeida, L. E. S. B., Corrêa, I. C. S., Ferreira, E. R., Gruber, N. L. S. 2006. Wave prediction along Lagoa dos Patos coastline, southern Brazil. *Atlântica*, 28(2):87-95, 2006.

Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R.; Corrêa, I.C.S.; Almeida, L.E.S.B.; Weschenfelder, J. 2005. Sedimentação na Lagoa dos Patos e os impactos ambientais. *In*: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2005, Guarapari-ES. Boletim de Resumos, Guarapari, ABEQUA, 1 CD-ROM, 2005.

Toldo Jr., E.E., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C.S., Almeida, L.E.S.B., 2000. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research* 16, 816–822.

Toldo Jr, E. E., 1994. Sedimentação predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos, RS. Ph.D. Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (unpublished).

Toldo Jr, E. E., (1991). Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências* 18(1):58–63. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21362>.

Tomazelli, L. J., Dillenburg, S. R., Villwock, J. A (2000) Late Quaternary history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. *Rev Bras Geocienc* 30(3):470–472.

Tyrrel, D. A.; George, K. J. Finite element modelling of the hydrodynamics and water quality of the Patos Lagoon system, Brazil. *In*: International Coastal Symposium. 2004, Brazil. Anais... Brazil. *Journal of Coastal Research*, 2004.

United Nations Environment Programme (UNEP) <https://www.unep.org/news-and-stories/story/methane-emissions-are-driving-climate-change-heres-how-reduce-them> (accessado em 20 Outubro de 2021).

Vasconcellos, V. E. B. 2009. Mapeamento e caracterização das acumulações de gás raso na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil-RS. Porto Alegre, 117p. Dissertação

de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Vieira, H. M., Weschenfelder, J., Fernandes, E. H., Oliveira, H. A., Möller, O. O., García-Rodríguez, F., 2020. Links between surface sediment composition, morphometry and hydrodynamics in a large shallow coastal lagoon. *Sedimentary Geology* 398. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105591>.

Vieira, E.F, Rangel, S. L. S., 1988. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica. Sagra Editora, Brasil.

Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S.O., Popp, T., Steffensen, J., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L.C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T., L., D.J., Nakagawa, T., Newnham, R., Schwander, J., 2009. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core and selected auxiliary records. *J. Quat. Sci.* 24, 3e17.

Weschenfelder, J., Corrêa, I.C.S., 2018. Shallow gas features and distribution in the Patos Lagoon: a coastal trap for gas-generator sediments. *Pesquisas em Geociências* 25, e683.

Weschenfelder, J., Klein, A. H. F., Green, A. N., Aliotta, S., Mahiques, M. M., Ayres Neto, A., Terra, L. C., Corrêa, I. C. S., Calliari, L. J., Montoya, I., Ginsberg, S. S., Griep, G.H., 2016. The control of palaeo-topography in the preservation of shallow gas accumulation: examples from Brazil, Argentina and South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 172, 93–107.

Weschenfelder, J., Baitelli, R., Corrêa, I. C. S., Bortolin, E. C., Dos Santos, C. B. 2014. Quaternary incised valleys in southern Brazil coastal zone. *Journal of South American Earth Sciences*, 55:83-93.

Wuebbles, D. J., and K. Hayhoe.,2002, Atmospheric methane and global change, *Earth Sci. Rev.*,57(3–4), 177–210.

Yadav, V.B., Gadi, R., Kalra, S., 2019. Clay based nanocomposites for removal of heavy metals from water: A review, *J. Environ. Manage.* 232 (2019) 803–817, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.120>.

Zhong, J., Fan, C., Zhang, L., Edward, H., Ding, S., Li, B., Liu, G., 2010. “Significance of dredging on sediment denitrification in Meiliang Bay, China: a yearlong simulation study,” *Journal of Environmental Sciences*, vol. 22, no. 1, pp. 68–75, 2010.


Zhong, J. C., Yu, J. H., Zheng, X. L., Wen, S. L., Liu, D. H. and Fan, C. X., 2018. Effects of dredging season on sediment properties and nutrient fluxes across the sediment-water interface in Meiliang bay of Lake Taihu, China. *Water* 10: 1606.

CAPÍTULO II

6. ARTIGO

Confirming submission to Ocean and Coastal Management Caixa de entrada x

Ocean and Coastal Management <em@editorialmanager.com> 13:20 (há 3 minutos) ☆
para mim ▾

 inglês ▾ > português ▾ [Traduzir mensagem](#) [Desativar pa](#)

This is an automated message.

Environmental Instability Triggers: Hazard clusters analysis through geoacoustic data in a large coastal lagoon in southern Brazil

Dear Mr Maia,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Ocean and Coastal Management.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/ocma/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Ocean and Coastal Management

Environmental Instability Triggers: Hazard clusters analysis through geoacoustic data in a large coastal lagoon in southern Brazil

Leandro Xavier Maia¹; Jair Weschenfelder²

Abstract

Environmental instability triggers are distinct variables interconnected in a single ecosystem. The implications caused by these triggers take place simultaneously but are less discussed in an integrated way, and anthropic activities are the largest contributors for this scenario. This study aims to characterize and map on high-resolution seismic data (3.5 kHz) the bottom and sub-bottom architectural framework of the Patos Lagoon (LP), southern Brazil, relating it to the many environmental parameters found in this huge coastal lagoon. It is addressed the various sensitive environmental issues such as the chemical adsorption of agrochemicals in areas with large concentrations of clay

minerals, the presence of methane gas in shallow sedimentary layers, and dredging activities that may contribute to the re-availability of these pollutants across the lagoon as well as to the release of methane to the water column and consequently to the atmosphere, also contributing to the global amount of greenhouse effect gases. The holistic analyze conducted indicate environmental stabilities based on the characterization of seismic signatures (echo characters) and the definition of triggers, which contributes to local stress and stimulates the sensitivity found in the Patos Lagoon ecosystem.

Keywords

Geoacoustic survey; Echo-character; Shallow gas; Environmental instability triggers; Environmental vulnerability; Coastal management.

1. INTRODUCTION

Understanding the systematic processes that govern coastal aquatic environments is vital and necessary before any kind of human intervention. Environmental sustainability and the socio-economic benefits for societal well-being depend on the efficiency of the integration of scientific information and a whole set of holistic knowledge, aiming at obtaining an optimal ecosystem-based management (Granek et al. 2010), because the human activities have impacted environmental structures and climate (Stephens et al. 2019), which contributes to the generation of instability triggers and habitat imbalance.

Coastal lagoons receive inputs originating from the continent, most of which pollutants, which arrive, interact and settle, resulting in subsequent disturbances regarding water columns as well as sedimentary surfaces (Niencheski et al. 1994; Baumgarten et al. 2001; Mirlean et al. 2003; Martins et al. 2007; Lv et al. 2019; Bueno et al. 2021). Anthropogenic activities such as navigation and dredging also have direct and indirect impacts, changing and destabilizing bottom and sub-bottom sediments such as in areas with shallow gas in their sediments, with the release of such gas to the water column and subsequently to the atmosphere. Any environment is subject to the accumulation

of anthropogenic actions that are oftentimes inappropriate, as was the case in 2019 in the B1-SM-13 drilling, a potential liquefaction trigger that led to the rupture of Dam I built in the Feijão stream in Brumadinho, central Brazil (CIMNE, 2021).

The environmental instability triggers are distinct variables interconnected in a single ecosystem. The implications generated by these stimuli occur simultaneously but are little discussed in an integrated way. There is still truly little knowledge about the short- and long-term consequences caused by these combinations of pressure events imposed by anthropogenic activities on coastal aquatic environments. The negligence regarding these actions may end up causing the onset of countless adversities caused by a simple trigger.

These countless environmental instability triggers occurring in lagoon environments include the presence of methane, a greenhouse gas that contributes to global warming (Bastviken et al. 2004; Borges et al. 2016), sediment handling activities such as dredging, carried out for navigation and civil construction purposes, and agricultural activities, such as the use of agrochemicals, which contributes to the increase in environmental toxicity, chemical adsorption and bioaccumulation (Chopra et al. 2011; Schock et al. 2014; Awad et al. 2019).

Geophysical and geoacoustic methods are consistently used in the characterization of coastal aquatic ecosystems (Quaresma et al. 2011; Scottá et al. 2019; Souza and Gandolfo, 2021). Through the interaction of sound waves in the areas where they are propagated, it is possible to detail the roughness, continuity, thickness and many other characteristics of submerged areas by means of echo characters (Damuth, 1975, 1978, 1980; García-Gil et al. 2002; Catanzaro et al. 2004; García-García et al. 2004; Maestro et al. 2013).

The integration of analyses concerning direct and indirect data such as sedimentology, hydrodynamics and morphology contribute to the interpretation and characterization of environments, thus enabling researchers to fill in gaps and defining possible sensitivities occurring due to pressure factors to which an ecosystem is submitted.

This study, by contributing to the holistic understanding described so far, aims at identifying, characterizing and mapping (based on high-resolution

geoacoustic data) the bottom and sub-bottom architectural elements of the Patos Lagoon in southern Brazil. The acoustic response, or echo character, is related to the various environmental parameters of the lagoon. An integrated analysis of geo-environmental data allowed for the definition of “Hazard clusters” as well as for the indication of potential environmental instabilities, based on the definition of triggers that contribute to local stress and stimulates the sensitivities found in this lagoon environment.

2. REGIONAL SETTING

The study area is the coastal plain of the State of Rio Grande do Sul (RS), southern Brazil. This coastal plain consists of four barrier-lagoon systems (I to IV), formed in response to eustatic oscillations occurred during the Quaternary period (Tomazelli et al. 2000). However, recent studies already indicate a smaller-scale intermediate system around 42,000 years BP (Dillenburg et al. 2020; Barboza et al. 2021).

The Patos Lagoon (PL) is one of the most striking aspects of the RS coastal physiography due to its size and morphology parallel to the coastline (Figure 1). It is part of the largest lagoon complex in South America and also the world’s largest choked lagoon (Kjerfve 1986). The lagoon has a NE-SW orientation and is 240 km long, with an average width of 40 km and an average depth of 6 m, covering an area totaling ~10,360 km² (Weschenfelder and Corrêa, 2018). Its tributaries rivers belong to the Atlantic basin and are divided into two large complexes that drain a total area of ~200,000 km². The Patos Lagoon complex drains an area of approximately 150,432 km², while the Mirim Lagoon complex drains an area corresponding to 51,194 km² (Vieira and Rangel, 1988). On its banks there are important morphologies called sandy spits, features that actively influence to the local hydrodynamics (Toldo Jr., 1991; Miranda et al. 2020).

Due to the physiography and extension of the Patos Lagoon, wind has a significant role in its dynamics. Winds are predominant from the northeast and southwest, in alignment with the lagoon major axis (Moller et al. 2001). The

northeast and southwest winds in the area have an average speed ranging from 3 to 5 m/s (Herz, 1977; Long, 1989). However, Toldo Jr. et al. (2006) obtained measurements of wind frequencies with speeds ranging from 0 to 2 m/s, which is a limiting factor in terms of wave growth.

As for its sedimentary distribution, the Patos Lagoon can be divided into two main sedimentological bottom types: a sandy type, which is characteristic of shallow submerged margins, acting as substrates for the formation of spits, and a muddy type with finer sediments, which is characteristic of deeper areas (Toldo Jr., 1991; Bortolin et al. 2020). In the eastern lagoon side, which has a steeper gradient, there are predominantly fine and very well selected sands; conversely, the western side has relatively coarser sands and a lower degree of selection (Martins et al. 1989; Toldo Jr. et al. 2005; Bortolin et al. 2020).

The Patos Lagoon has a significant role in generating products and benefits for the area in several socio-economic activities (Tyrrel and George, 2004). It is regionally the most significant water body and is directly and indirectly connected to several municipalities, being thus subject to severe anthropogenic pressure from urban, rural and industrial activities (Niencheski et al. 1994; Martins et al. 2007). Its connection to the ocean provides good waterway logistics, being used as a commercial maritime route, which results in activities such as dredging for maintenance and other purposes.

3. MATERIAL AND METHODS

3.1. ECHO CHARACTERS: CHARACTERIZATION AND MAPPING

Characterization and mapping of echo characters were conducted on high-resolution seismic records from the Patos Lagoon. The seismic profiles cover an area of approximately 1,000 km² and were acquired aboard the Oceanographic Research Vessel LARUS of the Federal University of Rio Grande (FURG). This dataset has already been considered in other studies (Bexiga et al. 2016; Weschenfelder et al. 2016; Weschenfelder e Corrêa, 2018; Bortolin et al. 2019)

and are revisited herein, with a fresh outlook related to current and future anthropic environmental impacts in low-lying coasts (Leal-Alves et al. 2022).

The seismic records were positioned through DGPS (Differential Global Positioning System) and acquired with a Geopulse Subbottom Profiler, from GeoAcoustics™, an analog and digital system that can operate within a frequency range from 2 to 12 kHz. This seismic acquisition system consisted of a Geopulse receiver (5210A), a Geopulse transmitter (5430A), and a transducer (132B, with four elements). After few tests in place to assess the geoacoustic seismic response, a 3.5 kHz frequency acquisition was selected. The seismic data acquiring, and processing were performed using software SonarWiz (Chesapeake Technology), and the data was stored in SEG-Y digital format. The speed of sound in water is considered 1,500 m/s, while a velocity of 1,650 m/s is used to evaluate the thickness of the sedimentary layers (Jones, 1999).

The analysis of the echo characters was limited to the sedimentary packages comprising up to ~9 ms on the echogram, that is, up to the mean depth considered as Holocene sedimentation in the Patos Lagoon (Toldo Jr. et al. 2000; Walker et al. 2009; Ivanoff et al. 2020). A depth up to 1 m is considered for surface reflectors, with acoustic response related to the bottom of the lagoon, and between 1 and 9 m for subsurface reflectors.

The ***distinct echoes, class (A)***, are related to a seismic response that considers any surface characteristic, identifying subsurface reflectors. The ***indistinct echoes, class (B)***, are related to a seismic response that considers any surface characteristic, not identifying the subsurface reflectors. And ***class (C), acoustic anomaly***, is related to anomalies occurring in shallower sedimentary packages, but does not consider the characteristics of the first reflectors (on the top, which are shallower).

Table 1 was prepared to summarize the types of echo signatures, considering the characteristics of the surface and subsurface reflectors. It is worth highlighting that not all echoes found in this table have been identified in the study area. This effort attempt at systematizing the types of echoes aims to reduce the risk of subjective interpretations, determining the key elements for applicability.

Table 1: Types and characteristics of echo patterns, set between (0 and 1 m) surface reflectors and (1 to 9 m) subsurface reflectors.

	Primary Reflector	Secondary Reflector
<i>Distinct Echo (A)</i>	Flat, well defined, Continuous (1)	Parallel (p)
	Plan, Discontinue (2)	Hyperbolic (h)
	Irregular (3)	Wavy (o)
	Wavy (4)	Wavy with reflected plane (or)
	Hyperbolic (5)	Dipping (me)
	Semi-transparent (6)	Multiples (m)
<i>Indistinct Echo (B)</i>		Diffuse (d)
		No apparent subsurface Reflections
<i>Acoustic Anomaly (C)</i>	Black shadow (I)	
	Acoustic Curtain (II)	
	Acoustic Blank (III)	
	Acoustic turbidity (IV)	

3.2 DATA INTEGRATION

Analyze of the geoaoustic behavior of bottom and sub bottom sediments allowed the elaboration of the echo character distribution map. This map was superimposed on previous data on the sedimentary distribution of facies, spatial distribution of gas and information on mineral reserves in the Patos Lagoon.

Sedimentary distribution in the Mirim and Patos lagoons was presented by Vieira et al. (2020) and Bortolin et al. (2020). The features of the sedimentary facies at these both lagoons allowed mapping of areas with higher concentrations of finer sediments, defined as “mud depocenters” by Bortolin et al. (2020).

The compilation of distribution areas and areas with higher gas concentration in the Patos Lagoon is related to the approach based on shallow seismic records (3.5 kHz) of various gas features due to the respective deposition environments in the lagoon, as carried out by Weschenfelder and Corrêa (2018). These records clearly show the influence of the local ecosystem in the characteristics and spatial distribution of gas.

Through the Mining Geographic Information System – SigMine, an on-line digital platform of the Brazilian Government, linked to the National Mining Agency - ANM, polygonal data of active mining processes were accessed, which are mainly associated with deposit exploration areas for the civil construction segment. These data contributed to the integration and correlation of the analyses of the local map.

The delimitation of “**Hazard clusters**” in the Central, Northern and Southern sectors of the Patos Lagoon, identified as **A1, A2 e A3**, has as a control surface the seismic lines related to areas composed mainly of finer sediments (silt and clay) and acoustic anomaly features in the echograms. The ‘hazard clusters’ areas combine the whole potential instability triggers, such as mud depocenters, areas with higher concentrations of gases and areas associated to the exploration of deposits.

4. RESULTS

The systematic analysis of the seismic records allowed to determine and characterize the types of echo characters (Table 1 and 2) occurring in the echograms from the Central, Northern and Southern sectors of the Patos Lagoon. By adding related data, previously cited, it was possible to delimit the areas with greatest potential for environmental issues, the “Hazard clusters” (Figure 1), as well as discuss the potential triggers of environmental instability.

The scheme in table 1 shows three classes of echo characters identified as ***Distinct (A)***, ***Indistinct (B)*** and ***Acoustic Anomaly (C)***. For these classes, seven kinds of echo patterns are identified and described below.

Class **A**, ***Distinct Echoes***, is characterized by being able to distinguish a good part of the sedimentary deposition at the bottom of the lagoon, due to an optimal penetration of the acoustic wave. The distinct echo ***Type A1p*** satisfactorily represents and details these characteristics which are related to areas of low hydrodynamics. The sediments are clayey silt and sandy silt, which allows for greater penetration of the acoustic signal and enabling a high-resolution picture of the first deposition layers, as well as for the identification and characterization of the shallow sub floor reflectors (Figure 3-D).

In the surroundings of the sandy spits, a morphology that stands out in the Patos Lagoon, echo patterns of ***Type A1me*** and ***A4o*** were identified (Figure 1). The ***A1me*** consists of dipping reflectors, the seismic signature of which shows in the first meters of sedimentary deposits (Table 2) the migratory behavior of these reflectors, identified in the most distal regions of the submerged spits in reference to the shores of the lagoon and in points on the eastern side of the lagoon, thus corroborating the analysis of their development. In the central sector, this characteristic is identified in profiles 4 and 6 next to the São Cristóvão Pereira and São Simão spits, respectively. In profile 4 it is possible to observe the characteristic of this reflector for ~11 km long, with its dip orientation directed towards North/Northeast. As for profile 6, this record extends for ~5 km long, its dip orientation directed towards East. In the southern sector, the characteristic of such echo is observed in profiles 2 and 11 in the surroundings of the Bojurú and

Vitoriano spits, respectively (Figure 1). In profile 2, the characteristic of this echo is observed for ~5 km long, with its dip orientation directed towards North/Northeast parallel to the Bojurú spit; as for profile 11, ~4 km long of dipping reflector directed towards Southeast. The **Tipo A4o** echoes (Table 2) are in areas near the submerged spits, referring to the margins of the lagoon and in points on the western side of the lagoon, between the southern and central sectors (Figure 1). In turn, this echo presents its surface and subsurface reflectors, with wavy characteristics, identified in areas where dynamic processes remain active and related to erosion, due to high-energy moments as well as deposition processes, when this conditions hydrodynamically less energetic moments. These are also recorded in areas close to the mouth of the Guaíba River, with wavy marks with lengths up to 100 m and heights up to 5 m (Figure 2-A).

The diffusivity in the seismic signatures recorded in the profiles acquired through the **Type A1d** and **A6d** echo characters (Table 2) is interspersed in environments where the sediments are sandy to silty and clayey, with good distribution in the three sectors (Figure 1). Even though the western side of the lagoon has higher concentrations of coarser sands, the **B1m** echo character has a good representativeness in profile 24, located on the eastern areas of the Patos Lagoon, next to the São Simão spit (Figure 2-B). The **Type C** echo, a characteristic defined by the presence of shallow gas in the sediments, show records interspersed with almost all other echo characters identified in the Patos Lagoon, although internal sectors show higher concentrations (Figure 1).

In general, the **A1p** echo is predominant in the southern sector, while the **C** echo is predominant in the central and northern sectors. The distribution percentages of classes and types of echoes in the seismic records of the lagoon are shown in Table 3.

Table 2: Classification of types of echo characters established according to the integration of the sedimentary and dynamic processes of the Patos Lagoon.

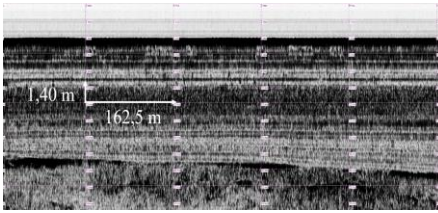
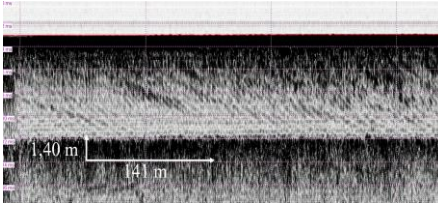
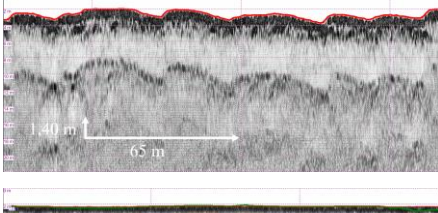
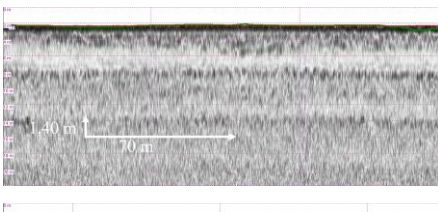
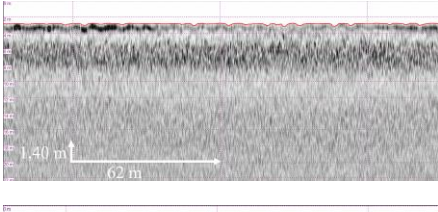
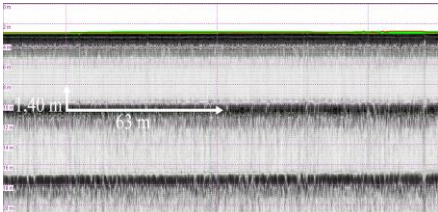
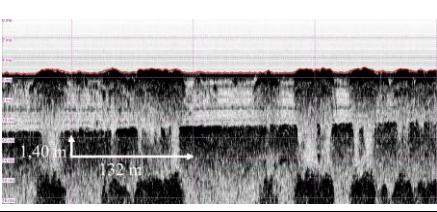
Class	Type	Seismic Signature	Description	Faciology	Main Process
Echo Distinct (A)	A1p		Primary reflector ($0 \leq 1\text{ms}$) with flat, well-defined and very continuous, followed by secondary reflectors ($1 \leq 9\text{ms}$) parallel to its subsurface.	Silt Clay/ Silt Sand	Deposition
	A1me		Primary reflector ($0 \leq 1\text{ms}$) of well-defined surface, flat and continuous, overlying dipping reflectors ($1 \leq 9\text{ms}$).	Sand/ Silt Sand	Erosion/Deposition
	A4o		Primary ($0 \leq 1\text{ms}$) and secondary reflectors with wave morphology ($1 \leq 9\text{ms}$).	Sand	Erosion/Deposition
	A1d		Surface primary reflector ($0 \leq 1\text{ms}$) well-defined, flat, and continuous, overlying diffuse ones ($1 \leq 9\text{ms}$).	Sand/Sand Silt	Deposition
	A6d		Semi-transparent primary ($0 \leq 1\text{ms}$) reflector, followed by diffused secondary reflectors ($1 \leq 9\text{ms}$).	Silt/ Silt Clay	Deposition
	Echo Indistinct (B)	B1m		Primary reflector ($0 \leq 1\text{ms}$) with flat, well-defined, continuous characteristics, having as subsurface characteristics ($1 \leq 9\text{ms}$) high reflectivity, followed by multiple	Sand
Acoustic Anomaly (C)		C		Acoustic anomalies caused by gas within the sediment layers.	Silt/ Silt Clay

Table 3: Distribution (in %) of echo characters in relation to the 3 sectors in the Patos Lagoon. N= Northern; C = Central; S = Southern.

Types	N Sector	C Sector	S Sector	Class %
Distinct	Representativeness - %			Class A
A1p	25	12.5	34	55
A1me	1	9	8.5	
A4o	1	5	7	
A1d	15	16	23	
A6d	6	3.5	4.5	
Total	48	46	77	
Indistinct				Class B
B1m	13	15	4.5	11
Total	13	15	4.5	
Acoustic Anomaly				Class C
C	39	39	18.5	
Total	39	39	18.5	34

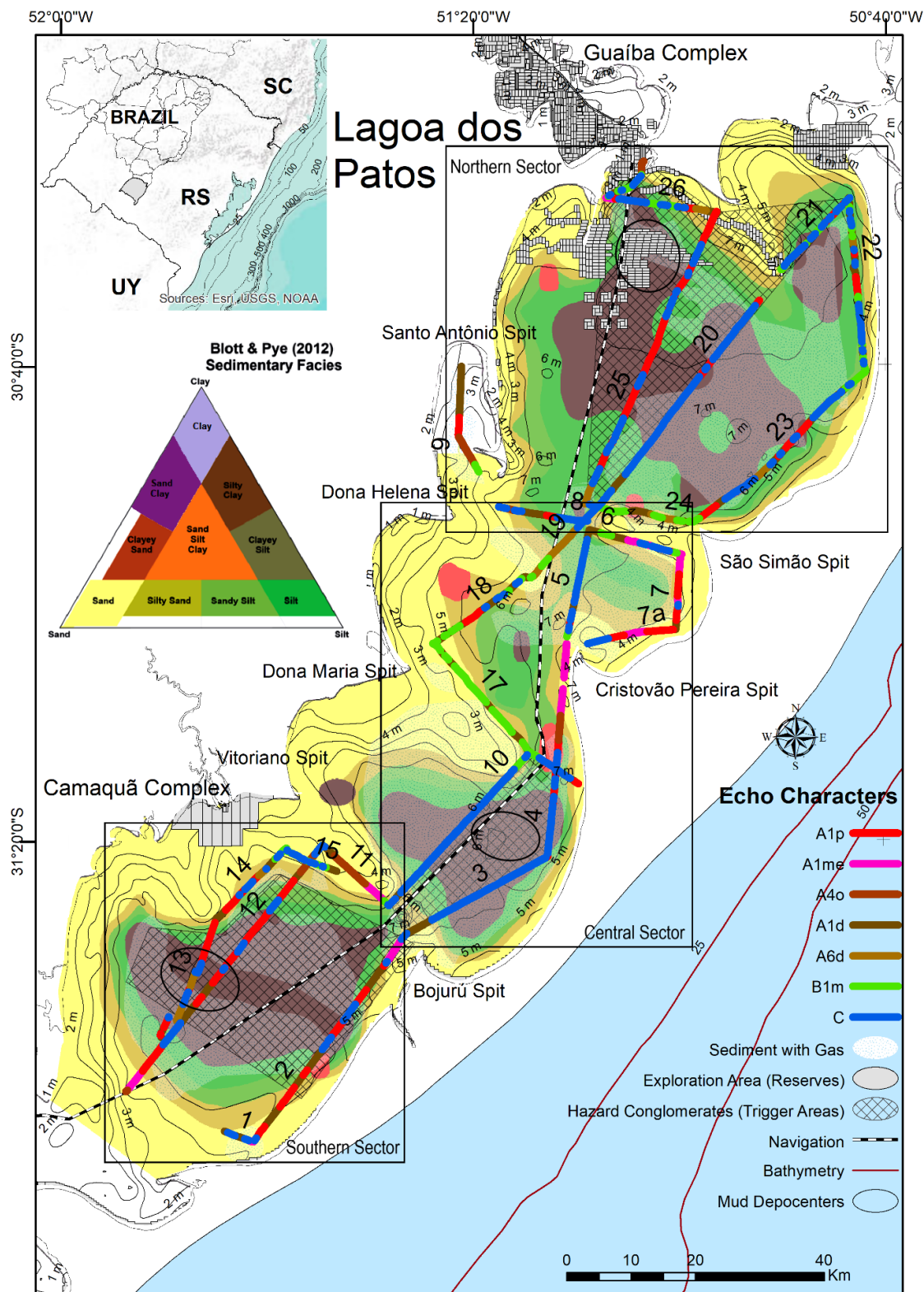


Figure 1: Location map of the study area integrated with the distribution of echo facies, sediments with gas (Weschenfelder and Corrêa, 2018), mud depocenters (Bortolin et al. 2020), and deposit exploration areas for the civil construction segment (SigMine). In the Central, Northern and Southern Sectors, delimitations of combination junction of environmental issues as “Hazard clusters” favorable regions for environmental instability triggers.

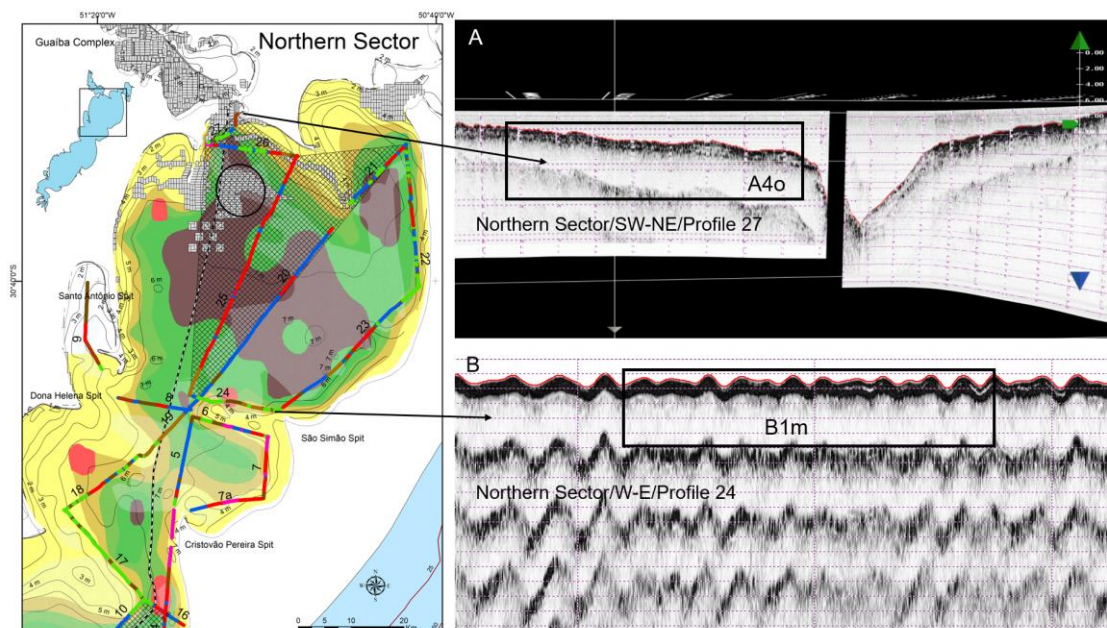


Figure 2: Northern Sector A2, area of hazard clusters where the mud depocenter, areas of sediment extraction and acoustic anomalies are grouped together. A – Profile 27 located near the mouth of the Guaíba, with the presence of A4o echoes, wavy marks with lengths less than 100 m and height less than 5 m, the presence of a channel also being identified; B – Profile 24 with the presence of B1m echoes and multiples.

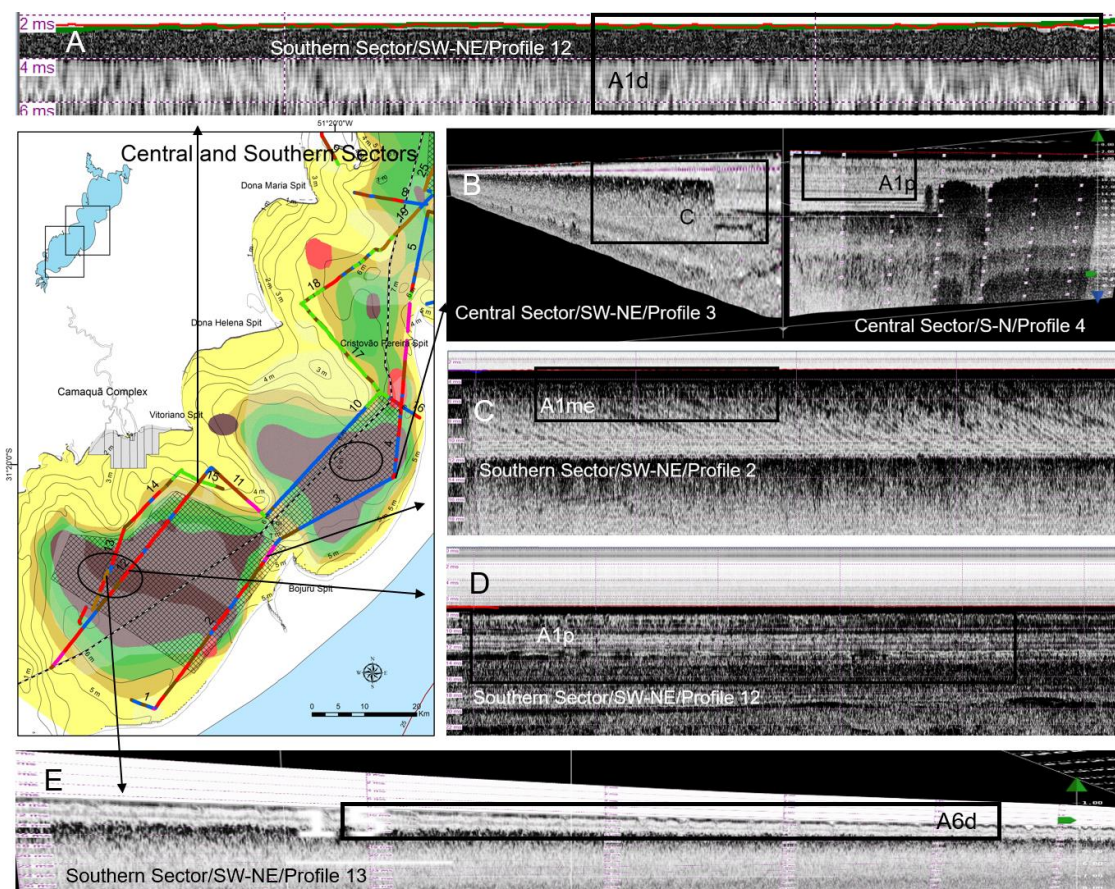


Figure 3: Central (A1) and Southern (A3) sectors; A – Profile 12 with the presence of the A1d echo; B – Profile 3 and 4 with C and A1p echo segments; C – Profile 12 with the presence of the A1p echo; D – Dipping records of the A1me echo in profile 2; E – Presence of the A6d echo in profile 13.

5. DISCUSSION

5.1 ECHOCHARACTERS IN THE MORPHODYNAMIC CONTEXT

The sediment distribution of the area and the characterization obtained through the echo characters is coherent with the interaction of the acoustic response and the propagating medium. Regions composed of finer-grained sediments provide good penetration and better acoustic detailing of the first subsurface layers. However, in areas with coarser-grained sediments, the surface reflection is greater, and the shallow penetration of the acoustic signal oftentimes does not allow for the characterization of the subsurface deposit (Damuth, 1975, 1978, 1980; Damuth and Hayes, 1977; Hong et al. 2000; García-Gil et al. 2002; García-García et al. 2004; Catanzaro et al. 2004; Felix, 2012; Maestro et al. 2013).

Local winds dynamics is one of the conditioning elements in the distribution of sediments and contributes to the suspension of finer sediments (Möller et al. 2001; Bortolin et al. 2020). Finer sediments, such as silt and clay, are deposited in hydrodynamically less energetic environments. Therefore, the central and deeper areas are ideal for the deposition of muddy sediments, which may be observed by the distribution of facies and by the acoustic signature identified in the environment through the **type 1Ap** echo.

Variation of deposition layers in the shallow sedimentary package, between 0 and 9 m, recorded through the **A1p echo**, indicates oscillations in the hydrodynamic energy of the lagoon environment during the formation process and the establishment of the current coastal plain configuration. A well-marked sequence boundary reflector marks the transition Pleistocene-Holocene in the Patos Lagoon (Weschenfelder et al. 2014). Specific points of **A1p echo** segments in the northern and central sectors show remnants of these boundary feature, highlighting the paleodrainage systems of the Jacuí River, whereas for the southern sector these indicate the possible connection of the former inlet of the Camaquã River (Weschenfelder et al. 2014).

The characteristic recorded by the seismic signature as the **A1p** echo, in conjunction with the integrated analysis of other data, indicates how much these coastal environments were shaped and dissected in moments of marine regression and contribute to the action of fluvial incision and filling in continental shelves in Brazil and around the world (Amador, 1997; Talling, 1998; Blum and Törnqvist, 2000; Catanzaro et al. 2004; Weschenfelder et al. 2014; Klotsko et al. 2021).

The central sector of the Patos Lagoon acts as a bypass for the southern and northern sectors and the alternation of wind direction acts as a nodal line, dividing the lagoon surface into two parts when they vibrate in the opposite direction (Möller et al. 2001). The alternation of the direction of the winds predominantly from NE and SW contribute to distinct behaviors seen on the margins and consequently on the spits (Toldo Jr., 1991; Miranda et al. 2020).

Sandy spits are morphological structures that have been developed through the supply of sediments and the incidence of waves. These variables contribute to make this morphology one of the most dynamic ones found in coastal areas (Héquette and Ruz, 1991; Park and Wells, 2007; Miranda et al. 2020). The development of these spits in the Patos Lagoon is related to changes that took place during the Holocene due to local hydrodynamic conditions, and its submerged spits are features caused by sea level fluctuations (Toldo Jr., 1994).

The **A1me** echo is identified close to the spits and is related to erosion, due to the migration characteristics of the secondary reflectors in the past, and to deposition provided by the current low hydrodynamic local conditions, identified through the parallel plane behavior of the primary reflector. The observed progradation features contribute to the combination and reconstruction of geological paleostructures such as the “Barra falsa” near Bojurú.

Currently, the submerged spits are features unrelated to the dynamics that caused their development (Toldo Jr., 1994; Bortolin et al. 2019). This can be observed by the location and behavior of the seismic signatures recorded in the **A1me** and **A4o** echoes.

The **A1me** echoes are in areas that do not directly receive sediment input or hydraulic flow. The presence of plane primary reflector corroborates a low hydrodynamic environment, influenced by an increase in depth that contributes and enables the type of bottom deposition (Figure 1). However, the secondary reflectors show in detail the high progradation activity of these submerged spits in the past, through dipping reflector features (Figure 3-C). These characteristics differ from the **A4o echoes** identified in more narrow areas in relation to wider areas of the lagoon, which conditions the increase in the speed of surface currents (Bortolin et al. 2020). The active role in the attenuation and refraction of waves occurring close to the Vitoriano spit, as described by Toldo Jr. (1991) and Miranda et al. (2020), and the seismic signatures recorded by the **A4o** echoes, corroborate that despite these features indicate former oscillatory stages of sea level, they are currently influenced by local hydrodynamics and anthropogenic activities, such as the construction of navigation channels through dredging.

Located near the mouth of the Guaíba complex, the identification of the **A4o Echo** shows a strong correlation with the records described by García-García et al. (2004) and Scottá et al. (2019). Environments such as the mouths have narrowing and massive dynamics involving environmental elements related to hydraulic flow and anthropogenic activities, such as navigation and dredging, making them ideal for the development of increased bottom disturbance, such as the wavy marks found in profile 27, which, according to the classification proposed by Ashley (1990), are characteristics that are consistent with large- to small-sized underwater dunes (Figure 2-A).

The diffusivity in **Type A1d** seismic signatures may be related to the dispersion of sandy sediments in the silty matrix, as it is in consonance with the local facies location and is correlated with characteristics recorded in studies conducted in the Bertioga channel, in the State of São Paulo (Felix, 2012).

The location of the **A6d** echo identified in the southern part of profile 13 contradicts the behavior described in studies such as the ones by García-García et al. (2004) and Ayres Neto et al. (2009), which correlate the semi-transparent seismic signature according to the relationship between the acoustic interaction and the presence of sands and very fine sands on the surface. According to the local facies distribution, profile 13 is in an area covered by silt and clay. However,

this area received a direct influence from the Camaquã river complex, which contributes to the local sediment (Figure 1). This sediment contribution may favor the formation of a small thin cover composed of sand and mud, causing the identified geoaoustic behavior to have this semi-transparent feature in its primary reflector.

Hydric and sedimentary contribution of the Guaíba and Camaquã rivers to the Patos Lagoon collaborates with the presence of shallower isobaths on the western side and in the sedimentary facies distribution (Toldo Jr. et al. 2005), with the alternation of NE and SW winds causing a depression and/or elevation gradient when water is removed and/or accumulated at the extremes of the lagoon, respectively (Möller et al. 2001). Extreme SW winds also influence the Patos Lagoon by inhibiting the waterflow from the Guaíba River (Bortolin et al. 2020). This kind of hydrodynamic behavior, in conjunction with the morphological aspects of the lagoon, can favor the distribution of sandy sediments through its margins, with the shallowest regions acting as an escape area for movement.

Even though the western side of the lagoon has higher concentrations of sandier sediments, the **B1m** echo character has a good representation in profile 24 (Figure 2) and is correlated with the geoaoustic characteristics obtained in other studies (Hong et al. 2000; García-García et al. 2004; Felix, 2012). However, the record of a well-defined and continuous primary reflector indicates a possible surface layer of silt and clay, a remnant of fine material in suspension caused after higher hydrodynamic events.

The dispersion of the **type C** echo across the lagoon contributes to the idea that the Patos Lagoon is a large environment of gas accumulation. Hinterland environments, such as lagoons, are ideal for the formation and accumulation of gases, such as methane, due to the deposition of organic matter trapped in the back barrier lagoons, formed as a result of sea level fluctuations during the Pleistocene and Holocene, turning sandy and muddy packages into reservoirs and gas-trapping environments, respectively (Garcia-Gil et al. 2002; Weschenfelder et al. 2016). The presence of gas-related acoustic anomalies identified in **Type C** echo is consistent with such environments and corroborates studies already conducted in the Patos Lagoon (Vasconcelos, 2009; Weschenfelder et al. 2016; Weschenfelder and Corrêa, 2018).

In coastal environments, geological control significantly contributes to the spatial distribution of gases (Frazão and Vital, 2006; Weschenfelder et al. 2016; Weschenfelder and Corrêa, 2018). For instance, in the Potengi estuary (NE Brazil), studies suggest that the sedimentary facies that act as seals and the level of porosity of these facies are the main controlling elements when it comes to determining the diverse kinds of gas accumulation (Frazão and Vital, 2006).

It is possible to observe between profiles 3 and 4, in the central sector, that through the integration of echoes and local morphodynamics, potential geological controls occur. Profiles 3 and 4 (Figure 3-B) intersect in an environment of paleotopographic lows which, according to the facies map, transit between silty and clayey sediments. The A1p parallel plane primary and secondary reflectors are consistent with low local hydrodynamic levels in the past and in the present, which are based on a strong acoustic reflector that limits two seismic-deposition units, the occurrence of which has been related to a limit of a Holocene sequence (Weschenfelder et al. 2014). It is also observed the presence of acoustic anomalies of the **Type C** echo, which is possibly related to the accumulation of organic matter trapped by sedimentary deposition sequences originating from remnants of paleoenvironments, related to sea level fluctuations.

5.2 TRIGGER WARNINGS AND CONSEQUENCES IN THE ECOSYSTEM

Geoacoustic and sedimentary data integration allows the identification of the Echo-sedimentary Facies for the Patos Lagoon (Tables 1 and 2). An integrated map was prepared, providing a technical analysis of the local morphodynamics and the identification of areas with greater environmental pressure, the "Hazard clusters", as well as possible triggers that may destabilize the environment.

The holistic understanding described so far, together with elements such as the processes of local dynamics that condition the formation of mud depocenters (Bortolin et al. 2020), allows inferences on the decantation of agricultural pollutants that can accumulate in the surface layers, adsorbed by clay minerals. The surface of the Patos Lagoon, due to its conditions and sedimentary

type, also allows the trapping of shallow gas, turning these areas into actual “Hazard clusters” (Figure 4).

The result of the increasing socio-economic demands that overloads these ecosystems generates both internal and external pressures, causing certain instabilities. Anthropogenic activities, sometimes inappropriate, causes stress to the environment and make it more sensitive due to “triggering” stimuli, such as dredging activities for various purposes, which may contribute to the re-availability and the dispersion of pollutants all over the lagoon, due to the agrochemicals contained in the sediments as a result of adsorption, as well as contribute to the release of the shallow gas methane to the water column and subsequently to the atmosphere (Figure 4).

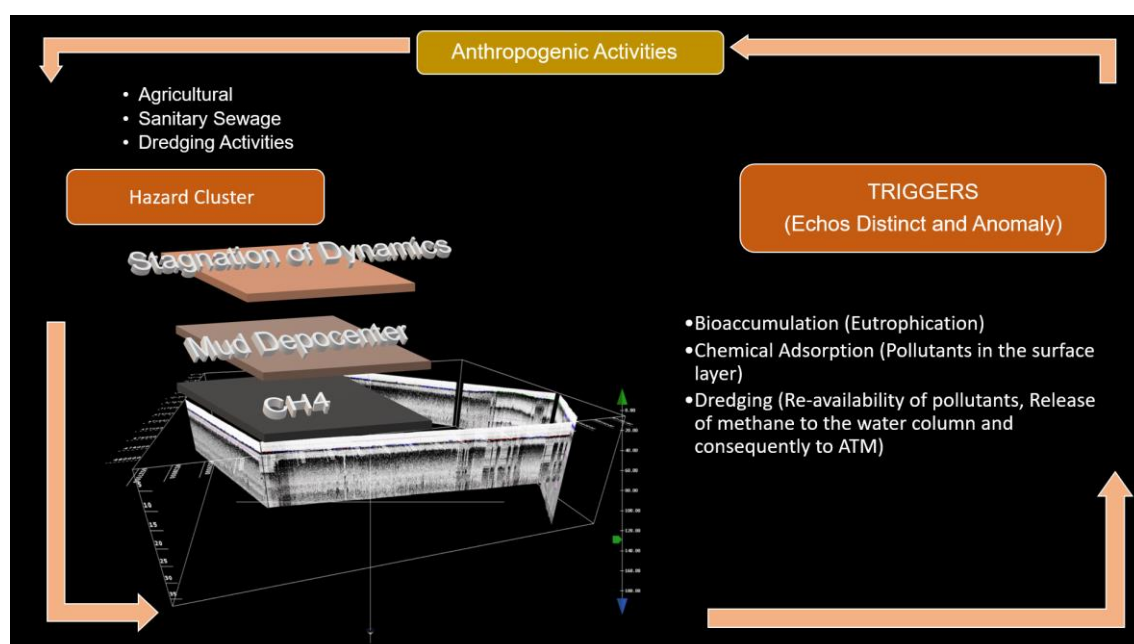


Figure 4: Scheme of the sequence of issues and their triggers.

Regarding the kinds of anthropogenic interventions in the Patos Lagoon, three issue areas - the “Hazard clusters” - can be highlight. Within this context, it is addressed the current as well as the potential environmental instability triggers in the central sector (**A1**), with an area of ~303 km², the northern sector (**A2**), with ~963 km², and southern sector (**A3**), with ~810 km² (Figure 1). In these sectors, the echo predominance has characteristics that intersperse with the **distinct and anomalies classes**, related to finer sediments such as silt and clay and the presence of gas, respectively. Even though the two extreme sectors of the Patos Lagoon have more evidence of environmental instability (Niencheski et al. 1994;

Baumgarten et al. 2001; Mirlean et al. 2003; Martins et al. 2007; Aguilera et al. 2020), the central sector is also subject to possible environmental pressures.

In the central sector (**A1**), despite being characterized with significant predominance of **Type C echo** acoustic anomalies, it has **distinct** characteristics in its first deposition layer. The alternation of wind patterns that turns this area into a nodal line (Möller et al. 2001), in conjunction with the morphology of the lagoon, which favors the development of concentric circulation cells on the surface, not only contributes to the formation of mud depocenters (Bortolin et al. 2020), a region that indicates dynamic stagnation, with strong evidence for eutrophication, but is also consistent with the same route and decantation by local pollutants, which can favor the bioaccumulation and chemical adsorption of agrochemicals that flow into the Patos Lagoon.

The dynamic stagnation in some areas of the Patos Lagoon shown by the decantation and accommodation of finer sediments (silt and clay) recorded by the **distinct class** indicates suitable areas for chemical adsorption. Processes such as chemical adsorption retain liquid or gas compounds in the surface layer of a solid, with clay minerals, due to its physicochemical characteristics, excellent adsorbents of substances (Awad et al. 2019).

Along the Patos Lagoon, risks and impacts to the ecosystem as a result of pollution have already been subject to studies, such as the one carried out by Martins et al. (2007), which showed the presence of coprostanol, as well as the excess of heavy metals in the southern sector of the Patos Lagoon, which may be compared to highly industrialized regions (Niencheski et al. 1994). The concentration levels of heavy metals and the presence of plastic in the Mirim Lagoon (Bueno et al. 2021) corroborates the classification as a hazard cluster and reinforces concerns about the instability of these environments, since they are part of a single large lagoon complex.

The strong participation of the State of Rio Grande do Sul in Brazilian agriculture, with a 12.1% share of the agricultural GVA (<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/vab-da-agropecuaria>), makes it, as a

result, a major consumer of agrochemicals. The common use of these agrochemicals in the areas surrounding the Patos Lagoon makes this body that receives local waters in some way possibly harmed by such agrochemicals.

Agricultural crops near water bodies are significant agents that cause damages to ecosystems. In the Mirim Lagoon there have been many side effects, ranging from disturbances in sedimentation levels to an increase in nitrogen and carbon levels, because of anthropogenic interventions in the limnic system (Bueno et al. 2021). On-site analyses also highlight the presence of microplastics as a particulate material found in the sediments (Bueno et al. 2021), an input the global production of which is strongly stimulated by agribusiness activities (Lechthaler et al. 2020). The influence of agriculture and livestock activities also resulted in severe toxic effects on nectonic organisms in the Lourens River, Western Cape, South Africa (Schulz, 2001), and in some rivers in Edo, Nigeria, agrochemicals have been detected not only in the water but also in fish, higher concentrations of organochlorines (OCPs) (Iyamu et al. 2007).

Agrochemicals do not completely dissipate in the environment, they are bioaccumulated in organisms and are adsorbed on the surface layers composed of silt-clayey sediments, a surface characteristic demonstrated by the ***distinct class***, which, despite having characteristics to contain and determine polluted areas, has increasingly attracted attention for its positive use in some applications (Awad et al. 2019). The adsorption of chemical and organic compounds on the surface layer of clay minerals facilitates their containment, and they can be used to isolate hazardous waste from the environment (Yadav et al. 2019), such as when it comes to wastewater treatment, contributing to the adsorption of harmful heavy metal ions from effluents (Burakov et al. 2018). A question that must be asked is: how will such material be removed within the context of mapped hazard clusters and prioritizing an ecosystem-based management?

The use of sediment dredging and its effectiveness present certain obstacles, which are related to the available technology, operating time, hydrodynamic conditions, and dredging depth (Liu et al. 2015, 2017; Fan et al. 2004a, 2004b; Jing et al. 2013, 2019). They influence natural biogeochemical processes ranging from the decrease in denitrification processes by activities carried out by bacteria when these are removed along with the surface sediments

(Zhong et al. 2010) to the decrease in zoobenthos diversity as a result of sediment alterations, the influence of which is directly observed in nutrient cycling and the food chain (Kornijw et al. 2005; Kenny and Reels, 1996).

The possible use of dredging areas **A1**, **A2** and **A3** of the Patos Lagoon to allocate these materials could not only cause their dispersion, but also trigger the intensification and acceleration of other issues that already occur in the area, such as rapid silting, changes in salinity (Martelo et al. 2019) as well as contribute to the presence of fluid mud in the region (Mirlean et al. 2020).

Several projects already use dredging as an efficient tool to control water pollution (Ogawa et al. 1995; Desprez, 2000). However, it has been observed in some environments that, after dredging, there has not been an improvement of local water quality for a long time, and in some places this activity has led to a worse scenario (Sebetich and Ferriero, 1997). Studies such as the one conducted by Peimin et al. (2000) and Fan (2004a) discuss the implications and limitations of cargo control through dredging and whether this activity contributes to the reversal of internal pollution or not.

Among the countless instability triggers that already take place in the Patos Lagoon (Martelo et al. 2019; Mirlean et al. 2020), it is also possible that methane is released, an anomaly identified through the **Type C echo**. This gas is found in the first deposition layers and an eventual dredging activity can result in their release to the water column and subsequently to the atmosphere.

Methane corresponds to 32% of the global human-cause emissions of greenhouse gases (GHGs) (Borges et al. 2016). The sediments of lagoon areas are true methane concentration points, and the identification and estimation of how much these environments can favor and trigger the accelerated contribution to processes leading to the aggravation of the greenhouse effect on a regional and global scale are still unknown (Bastviken et al. 2004).

The significant presence of methane highlighted in **type C echoes** is related to the layers below 1 ms (~70 cm sediment thickness) and the difference in terms of annual sedimentary rates between the three sectors of the Patos Lagoon (Ivanoff et al. 2020) would likely influence the determination of threshold and consequently different depths for dredging for each sector.

Determining the threshold depth for contaminated sediment allocation activities (considering the type of dredging and maintenance times) is important to obtain more positive effects (Liu et al. 2015). However, even though the experiments carried out in Lake Chaohu, China, have a positive character in terms of the allocation of contaminated sediments (Liu et al. 2015), local annual sedimentation rates were not considered.

In some Chinese lakes, such as Chaohu and Taihu, at a depth of 30 cm, positive results were obtained for improved control of polluted sediments (Liu et al. 2015; Zhong et al. 2018). Nevertheless, dredging activities at depths of more than 30 cm in the Patos Lagoon can, as a result, influence nearby areas with the presence of gas, hence accelerating - with greater proportion - the amount of methane released to the water column and the atmosphere. The lack of minimal control when it comes dredging activities, both at the threshold depths and in the region where these materials are dumped in the Patos Lagoon, can result in - through the release of gas into the environment - possible disturbances caused by this type of lack of planning, which are already being observed due to the presence of fluid mud in the area, a phenomenon that increased in frequency after the 1970s, a decade which had the largest volumes dredged in the region, possibly contributing to these repercussions until today (Calliari et al. 2020).

Dredging in these lagoon environments would cause turbulence in the first deposition layers and allow for the release of methane to the water column, as in the boiling processes occurring naturally in the ecosystem through the generation of turbulence, consequently contributing to the release of methane to the environment (Ferdinger et al. 1992; Matson and Likens, 1990; Bastviken et al. 2004). Studies indicate that boiling processes are quantitatively important for methane emissions to the environment on a regional to global scale, representing from 40% to 60% in open water in medium-sized lakes (larger than 1 km²) (Bastviken et al. 2004). Additionally, these authors call the attention to the lack of measurements and data in lakes with a larger size (over 100 km²).

The point is that boiling flows occur naturally through turbulence in the sedimentary layers, and some studies have already quantified these processes

(Bastviken et al. 2004; DeISontro et al. 2011), unlike dredging activities, which do not have any control or quantification, accelerating processes such as boiling and resulting more significant figures that aggravate the greenhouse effect, without further monitoring.

In a hypothetical scenario of allocating polluted sediments from the central sector (A1) (Figure 5), negative effects related to triggers that destabilize the location could become worse. In the northern sector (A2) (Figure 6), the allocation of a wide area of sediments is already remarkably close to taking place. However, these allocations of sediments are not related to pollution control, but rather to the exploration of sand for the civil construction segment. A relevant element that must be highlighted is that this sector is interconnected with all these instability triggers due to strong local anthropogenic pressure.

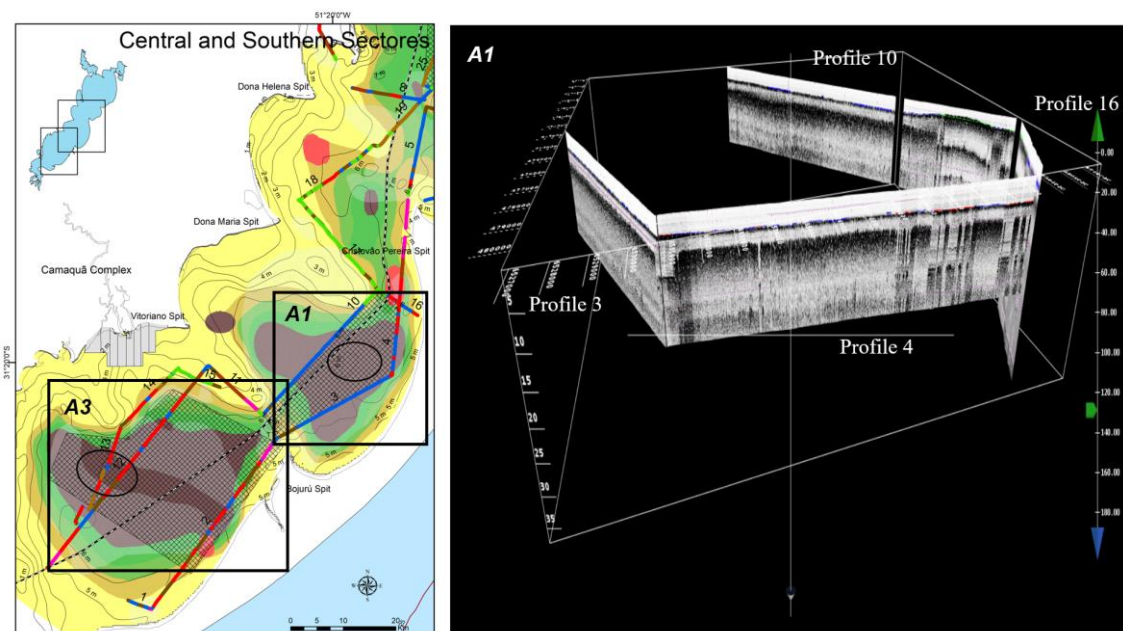


Figure 5: Areas of "hazard clusters": highlighting the central sector A1, a region with a high concentration of finer sediments (silt and clay), ideal for the chemical adsorption of pollutants and with large concentrations of shallow gas as seen in seismic records.

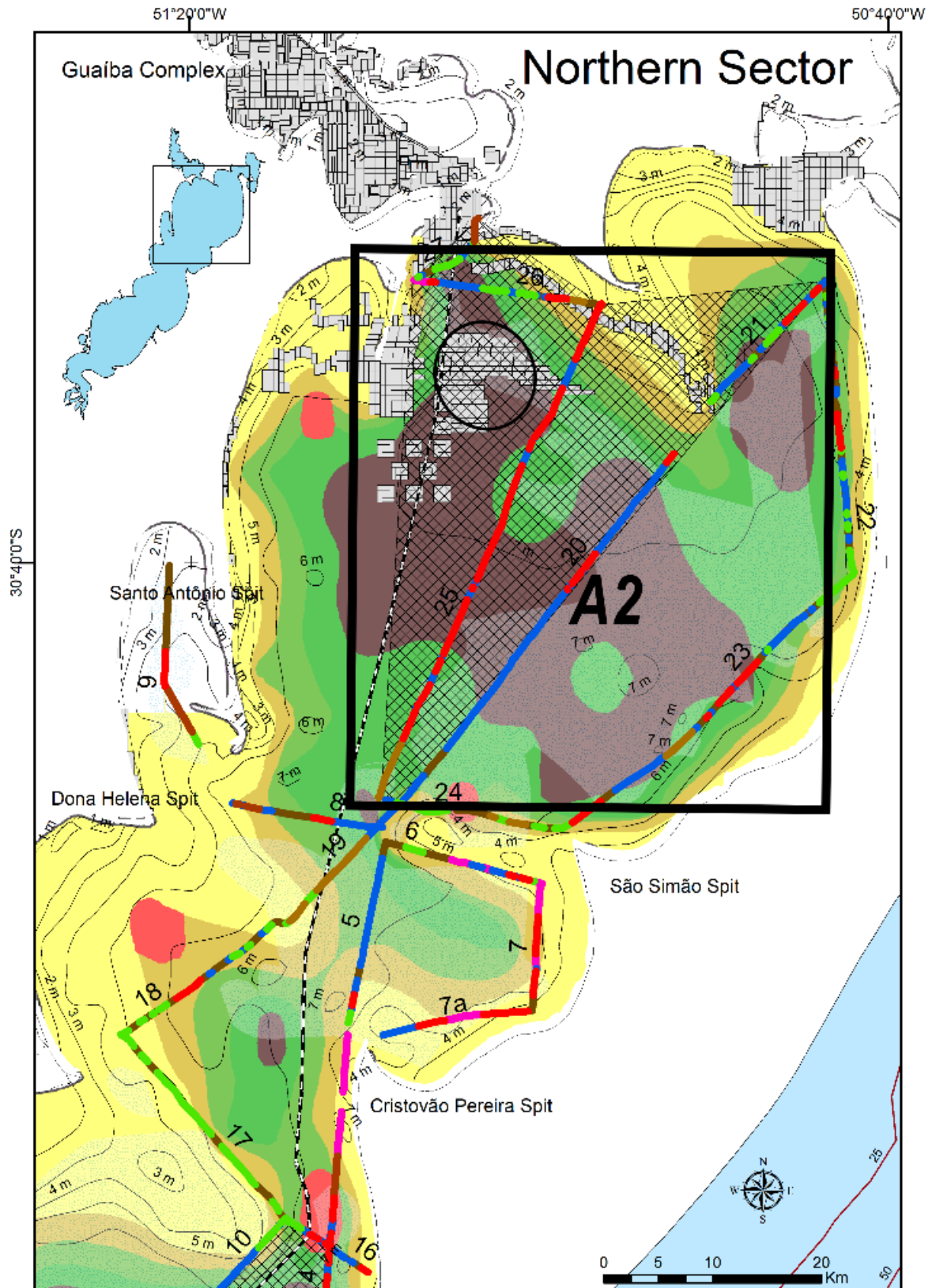


Figure 6: Hazard clusters A2: a wide area made up of large concentrations of gas, with accumulation of muddy sediments and demarcations for the extraction of sediments for the civil construction segment.

The areas demarcated for the extraction of sediments (Figures 1 and 6) are composed of several blocks measuring $\sim 0.5 \text{ km}^2$ close to the mouth of the Guaíba and marginal environments, and directly influenced by the river flows. These areas contribute with significant amounts of methane emissions due to boiling processes, given the fact that these are more turbulent environments (Monte Novo, 2015). In this sector lies the largest area in the Patos Lagoon, which has a greater amount of fine sediments and is directly influenced by inputs originating from industries and sewage from the city of Porto Alegre and nearby areas, as well as further south of the lagoon, which is directly influenced by its proximity to the municipality of Rio Grande (Baumgarten et al. 2001; Mirlean et al. 2003). Regarding the processes related to water storage times, renewal and age, the northern sector (A2) is the most favorable region for any eutrophication process to spread (Aguilera et al. 2020). In terms of logistics, this is an area that is in fact more economically suitable for carrying out sediment extraction activities, but the recognition of ***distinct and anomalous echoes***, along with the integration of past data of the area (Figures 1 and 6) corroborates that the removal of these sands is most likely already contributing or will contribute to the dispersion of unwanted materials and to the release of methane to the water column and consequently to the atmosphere, thus accelerating processes related to the greenhouse effect.

Hinterland areas such as lagoons are environments that contribute more to the release of methane to the atmosphere when compared to the ocean (Bastviken et al. 2004). Nowadays, prompts active responses in certain regions of the planet (<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/central-and-south-america/>), and according to 2021 report of the United Nations Environment Program – UNEP, discussed during COP26, methane could potentially contribute 80 times more to global warming than carbon dioxide over a 20-year period (<https://www.unep.org/>). Nonetheless, little is known about the consequences of the dredging activities taking place in these natural reservoirs.

6. CONCLUSION

Seismic data is an excellent tool for an integrated analysis of the environmental aspects of shallow-water coastal ecosystems. The recognition, mapping, and characterization of echo characters in echograms from the Patos Lagoon made it possible to recognize instability triggers, thus contributing to a greater understanding of the processes that govern the environment and filling in some gaps related to issues that may interfere with good local coastal management plans.

Central, North and South sectors of the Patos Lagoon are vulnerable as well as subject to instabilities. The A1p and C echo characters, respectively linked to muddy (silt and clay) sedimentary facies and gassy sediments, are useful in recognizing more sensitive sectors. The Northern A2 and Southern A3 sectors contribute to this thanks to having the largest area and the largest human activities. However, Central A1 sector, as it is located at a nodal point, is identified as a region of great dynamic stagnation, enabling the emergence of massive hazard clusters such as chemical adsorption of pollutants, eutrophication, bioaccumulation, and gas instability due to anthropogenic activities.

The large amount of gas mapped in muddy sediments demonstrates that in environments such as coastal lagoons, which suffer from anthropogenic interventions, are susceptible to a set of hazard clusters with a chain reaction, resulting in great instabilities. The lack of studies aimed at the preservation and understanding of these lagoon ecosystems can lead future disturbances for these areas, since they are true natural gas reservoirs and human interventions can influence the dispersion of gases such as methane to the environment and consequently to the atmosphere as well. Unfortunately, these environments still have less influence in terms of decision-making processes when it comes to socio-economic and environmental issues within coastal zones, despite contributing as much to local development as coastal environments.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

Funding: This work was supported by the CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior.

8. REFERENCES

1. Aguilera, L., Dos Santos, A. L. F., Rosman, P. C. C., 2020. On characteristic hydraulic times through hydrodynamic modelling: discussion and application in Patos Lagoon (RS). *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v.15, n.2, p. 1 – 20, 2020. SciELO. <http://dx.doi.org/10.4136/ambiagua.2456>.
2. Amador, E. S., 1997. *Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos – Homem e Natureza*. Rio de Janeiro, Retroarte Gráfica e Editora. 539 p.
3. Ashley, G. M., 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *J. Sediment. Petrol.*, 60(1): 160-172.
4. Ayres Neto, A., Falcao, L. C., Amaral, P. J. T., 2009. Caracterização de ecofácies na margem continental norte Brasileira: estado do conhecimento. *Revista Brasileira de Geofísica*. São Paulo, v. 27, supl. 1, p. 097-106, 2009.
5. Awad, A. M., Shaikh, S. M. R., Jalab, R., Gulied, M. H., Nasser, A. B., Adham, S., 2019. Adsorption of organic pollutants by natural and modified clays: a comprehensive review. *Separation and Purification Technology* 228, 115719. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115719>.
6. Barboza, E.G., Dillenburg, S.R., Lopes, R. P., Rosa, M.L.C.C., Caron, F., Abreu, V., Manzolli, R.P., Nunes, J.C., Weschenfelder, J., Tomazelli, L. J., 2021. Geomorphological and stratigraphic evolution of a fluvial incision in

- the coastal plain and inner continental shelf in southern Brazil. *Marine Geology* 2021.
7. Bastviken, D., Cole, J., Pace, M., Tranvik, L., 2004. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, (2004), 1-12, 18(4).
 8. Baumgarten, M. G. Z and Niencheski, L. F. H and Veeck, L., 2001. Nutrientes na coluna d'água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica (RS). *Revista Atlântica. FURG. Rio Grande. v.23, n. 1, p.101-116.*
 9. Bexiga, G. M., Weschenfelder, J., Félix, C. A., 2016. Use of High-Resolution Seismic Data (3.5 kHz) to Map Echo-Character: Case Study in Patos Lagoon - RS (Brazil). *Revista Brasileira de Geofísica* (2016).
 10. Blott, S.J., Pye, K., 2012. Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: review and recommended procedures. *Sedimentology* 59 (7), 2071–2096. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01335.x>.
 11. Borges, A., Champenois, W., Gypens, N., Delille B., Harlay, J., 2016. Massive marine methane emissions from near-shore shallow coastal areas *Scientific Reports*, (2016), 6.
 12. Bortolin, E. C., Weschenfelder, J., Fernandes, E. H., Bitencourt, L. P., Möller, O. O., García-Rodríguez, F., Toldo Jr., E., 2020. Reviewing sedimentological and hydrodynamic data of large shallow coastal lagoons for defining mud depocenters as environmental monitoring sites. *Sedimentary Geology*, (2020), 410.

13. Bortolin, E.C., Weschenfelder, J., Cooper, A., 2019. Holocene evolution of Patos Lagoon, Brazil: the role of antecedent topography. *Journal of Coastal Research* 35, 357–368.
14. Bueno, C., Alves, F. L., Pinheiro, L. M., Perez, L., Agostini, V. O., Fernandes, E. H. L., Möller, O. O., Weschenfelder, J., Pinho, G. L. L., Wallner-Kersanach, M., Moura, R. R., Durán, J. M., Etchevers, I., Costa, L. D. F., Werlang, C. C. ; Bortolin, E., Machado, E., Figueira, R. C. L., Ferreira, P. A. L., Andrade, C. L., Fornaro, L., García-Rodríguez, F., 2021. The effect of agricultural intensification and water-locking on the world's largest coastal lagoonal system. *Science of The Total Environment*, vol. 801, p. 149664. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149664.
15. Burakov, A.E., Galunin, E.V., Burakova, I.V., Kucherova, A.E., Agarwal, S., Tkachev, A.G., Gupta, V.K., 2018. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 148 (2018) 702–712, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>.
16. Blum, M. D. and Törnqvist, R. E., 2000. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, 47(1):2-48.
17. Calliari, L.J., Machado, A.A., Marroig, P., Vinzon, S., Gianuca, N., 2020. Mud deposits at Cassino beach: role of dredging. *Geo-Mar. Lett.* <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00619-6>.
18. Catanzaro, L. F., Baptista Neto, J. A., Guimarães, M. S. D., Silva, C. G., 2004. Distinctive sedimentary processes in Guanabara Bay – SE / Brazil, based on the analysis of echo-character (7.0 kHz). *Revista Brasileira de Geofísica*, v.22 (1), p.69-83.
19. CIMNE - Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (UPC - Universidad Politécnica de Catalunya), 2021. Computational analyses

- of Dam I failure at the Corrego de Feijao mine in Brumadinho. Final Report (2021).
20. Chopra, A.K., Sharma, M.K., Chamoli, S., 2011. Bioaccumulation of organochlorine pesticides in aquatic system-an overview. *Environ. Monit. Assess.* 73, 905e916.
21. Damuth, J. E., 1975. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*. v. 18 (2), p. 17-45.
22. Damuth, J. E., 1978. Echo character of the Norwegian—Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. *Marine Geology*, v. 28 (1–2), p. 1-36.
23. Damuth, J. E., 1980. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near- bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, 38 (1-3), p. 51-75.
24. Damuth, J. E.; Hayes, D. E., 1977. Echo character of the East Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology*, 24 (2), p. 73-95.
25. DelSontro, T., Kunz, M. J., Kempter, T., Wuest, A., Wehrli, B., David, B., Senn, D. B., 2011. Spatial Heterogeneity of Methane Ebullition in a Large Tropical Reservoir. *Environmental science e technology*. pubs.acs.org/est.
26. Desprez, M., 2000. Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel: short and long-term post-dredging restoration, *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57: 1428-1438JDOI

27. Dillenburg, S. R., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Caron, F., Cancelli, R., Santos Fischer, C. B., Lopes, R. P., Ritter, M. N., 2020. Sedimentary records of Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3) in southern Brazil. *Geo-Mar. Lett.* 40, 1099–1108. <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00574-2>
28. Fan, C. X., Zhang, L., Wang, J. J., Zheng, C. H., Gao, G., and Wang, S. M., 2004a. Processes and mechanism of effects of sludge dredging on internal source release in lakes Chinese *Sci. Bull.* 49 1853–9.
29. Fan, C., Zhang, L., Qin, B. Q., Wang, S. M., Hu, W. P., 2004b. “Estimation on dynamic release of phosphorus from wind induced suspended particulate matter in Lake Taihu. *Science in China Series D*, vol. 47, no. 8, pp. 710–719, 2004b.
30. Félix, C. A., 2012. *Evolução Quaternária Superior e Formação de Gás Raso em Ambiente Estuarino Tropical: O Caso do Canal de Bertiooga, São Paulo*. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2012.
31. Fendinger, N. J.; Adams D. D., Glotfelty, D. E., 1992. The role of gas ebullition in the transport of organic contaminants from sediments, *Sci. Total Environ.*, 112, 189 – 201.
32. Frazão, E. P. and Vital, H., 2006. Estruturas rasas de gás em sedimentos no estuário Potengi (nordeste do Brasil). *Revista Brasileira de Geofísica*.
33. García-García, A.; García-Gil, S.; Vilas, F., 2004. Echo characters and recent sedimentary processes as indicated by high-resolution sub-bottom profiling in Ría de Vigo (NW Spain). *Geo-Marine Letters*, v.24 (1), p. 32-45.
34. García-Gil, S., Vilas, F.; García-García, A., 2002. Shallow gas features in incised-valley fills (Ría de Vigo, NW Spain): a case study. *Continental Shelf Research*, v.22 (16), p.2303-2315.

35. Granek, E. F., Polasky, S., Kappel, C. V., Reed, D. J., Stoms, D. M., Koch, E. W., Kennedy, C. J., Cramer, L. A., Hacker, S. D., Barbier, E. B., Aswani, S., Ruckelshaus, M., Perillo, G. M. E., Silliman, B. R., Muthiga, N., Bael, D., Wolanski, E., 2010. Ecosystem services as a common language for coastal ecosystem-based management. *Conserv. Biol.* 24, 204–217
36. Héquette A., Ruz, M. H., 1991. Spit and barrier island migration in the southeastern Canadian Beaufort Sea. *J Coast Res* 7(3):677–698.
37. Herz, R., 1977. Circulação das Águas de Superfície da Lagoa dos Patos. DSc. Thesis, Universidade Sao Paulo, Brazil.
38. Hong, E., Chen, I. S., 2000. Echo characters and sedimentary processes along a rifting continental margin, northeast of Taiwan. *Continental Shelf Research*, v.20 (4-5), p. 599-617.
39. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/central-and-south-america/> (accessed 14 September 2021)).
40. Iyamu, I. O. K., Asia, I. O., and Egwakhide, F., 2007. Concentrations of residues from organochlorine pesticide in water and fish from some rivers in Edo State Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*, 2(9), 237–241.
41. Ivanoff, M. D., Toldo Jr., E. E., Figueira, R. C. L., Ferreira, P.A. L., 2020. Use of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs in the assessment of recent sedimentation in Patos Lagoon, southern Brazil. *Geo-Marine Letters* <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00633-8>.
42. Jing, L. D., Wu, C. X., Liu, J. T., Wang, H. G., Ao, H. Y., 2013. The effects of dredging on nitrogen balance in sediment-water microcosms and implications to dredging projects. *Ecol. Eng.* 52, 167e174.

43. Jing, L., Bai, S., Li, Y., Peng, Y., Wu, C., Liu, J., Liu, G., Xie, Zhicai., Yu, G., 2019. Dredging project caused 733 short-term positive effects on lake ecosystem health: A five-year follow-up study 734 at the integrated lake ecosystem level. *Sci. Total Environ.* 686, 753–763.
44. Jones, E.J.W., 1999. *Marine Geophysics*. London: Wiley, 474p.
45. Kenny, A. J., Rees, H. L., 1996. “The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: results 2 years post-dredging,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 32, no. 8-9, pp. 615 –622, 1996.
46. Kjerfve, B., 1986. *Comparative oceanography of coastal lagoons*. Academic Press, New York.
47. Klotsko, S., Skakun, M., Maloney J., Gusick , A., Davis , L., Nyers. A., Ball, D., 2021. Geologic controls on paleodrainage incision and morphology during sea level lowstands on the Cascadia shelf in Oregon, USA. February 2021. *Marine Geology* 434(3–4):106444. DOI:10.1016/j.margeo.2021.106444.
48. Kornijw, R., Vakkilainen, K., Horppila, J., Luokkanen, E., T. Kairesalo., 2005. “Impacts of a submerged plant (*Elodea Canadensis*) on interactions between roach (*Rutilus rutilus*) and its invertebrate prey communities in a lake littoral zone,” *Freshwater Biology*, vol. 50, pp. 262–276, 2005.
49. Leal-Alves, D.C., Weschenfelder, J., Gonzaga, B.A., Espinoza, J.M.A., Albuquerque, M.G., Ferreira-Cravo, M., 2022. Seasonal water table dynamics and effects of a rising sea-level in the low-lying sandy coast of Cassino Beach, southern Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 50 (2022) 102157, <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102157>

50. Lechthaler, S., Waldschläger, K., Stauch, G., Schüttrumpf, H., 2020. The way of macroplastic through the environment. *Environments* 7, 73. <https://doi.org/10.3390/environments7100073>.
51. Liu, C., Chen, K.N., Wang, Z.D., Fan, C.X., Gu, X.Z., Huang, W., 2017. Nitrogen exchange across the sediment-water interface after dredging: The influence of contaminated riverine suspended particulate matter, *Environmental Pollution*. 229. (2017) 879-886. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.054>.
52. Liu, C., Shao, S., Shen, Q., Fan, C., Zhou, Q., Yin, H., Xu, F., 2015. Use of multi-objective dredging for remediation of contaminated sediments: a case study of a typical heavily polluted confluence area in China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 17839e17849.
53. Long, T., 1989. Le quaternaire littoral du Rio Grande do Sul state témoin des quatres dernieres episodes eustatiques majeurs. *Geologie et évolution*. DSc. Thesis, Université Bordeaux I, France.
54. Lv, W., Zhou, W., Lu, S., Huang, W., Yuan, Q., Tian, M., Lv, W., He, D., 2019. Microplastic pollution in rice-fish co-culture system: a report of three farmland stations in Shanghai, China. *Sci. Total Environ.* 652, 1209–1218. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.321>.
55. Maestro, A., López-Martínez, J., Llave, E., Bohoyo, F., Acosta, J., Hernández-Molina, F.J., Muñoz, A., Jané, G., 2013. Geomorphology of the Iberian Continental Margin. *Geomorphology* 196, 13– 35. [doi:10.1016/j.geomorph.2012.08.022](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.022)
56. Martelo, A. F., Trombetta, T. B., Lopes, B. V., Marques, W.C.; Möller, O.O., 2019. Impacts of dredging on the hydromorphodynamics of the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. *Ocean Eng.* 2019, 188, 106325. [Google Scholar] [CrossRef]

57. Martins I. R., Villwock J. A., Martins L. R and Benvenuti, C. E., 1989. The Lagoa dos Patos Estuarine Ecosystem. *Pesquisas*, (22), 5-44.
58. Martins, C. C., Fillmann, G., Montone, R. C., 2007. *Journal Brazil Chemistry. Soc.* 2007, 18, 106.
59. Mattson, M. D., and G. E. Likens., 1990. Air pressure and methane fluxes, *Nature*, 347, 718– 719.
60. Miranda, I. M., Toldo Jr., E. E., Klein, A. H., Strauss, D., Vieira da Silva, G., 2020. The role of cusped spits on wave attenuation and energy redistribution in a coastal lagoon, Lagoa dos Patos, Brazil. *Geo-Marine Letters* <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00632-9>.
61. Mirlean, N., Calliari, L., Johannesson, K., 2020. Dredging in an estuary causes contamination by fluid mud on a tourist ocean beach. Evidence via REE ratios. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 159, October 2020, 111495.
62. Mirlean, N., Andrus, V. E., Baisch, P., 2003. Mercury pollution sources in sediments of Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 01 Mar 2003, 46(3):331-334 DOI: 10.1016/s0025-326x(02)00404-6 PMID: 12604067.
63. Möller, O.O., Castaing, P., Salomon, J.C., Lazure, P., 2001. The influence of local and nonlocal forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. *Estuaries* 24 (2), 297–311.
64. Monte Novo, A. F., 2015. Emissão e produção de metano em um reservatório tropical: Variabilidade especial no reservatório de Juturnaíba. Campos dos Goytacazes. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/ecologia-recursosnaturais/wp-content/uploads/sites/7/2016/06/AndreaFerreira-MonteNovo_Mestrado_2015.pdf>.

65. Niencheski, L. F., Windom, H. L., and Smith, R., 1994. Distribution of particulate trace metal in Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 28, 96–102.
66. Ogawa, H., 1995. Water-purification measures within Lakes, in Proceedings of 6th International Conference on the Conservation and Management of Lakes-Kasumigaura' 95 (eds. Hashimoto, M., Yamazaki, K.), Tsukuba: ILEC, 1995, 859-863.
67. Park, J. V., Wells, J. T., 2007. Spit growth and downdrift erosion: results of longshore transport modelling and morphologic analysis at the Cape Lookout cusped foreland. *J Coast Res* 23(3):553–568. <https://doi.org/10.2112/03-0116.1>
68. Peimin, P; Guoxiang, W; Chunhua, H; Weiping, H; Chengxin, F., 2000. Can we control lake eutrophication by dredging? *Journal of Lake Sciences* (in Chinese with English abstract), 2000, 12(3): 269-279.
69. Quaresma, V. S., Bastos, A. C., Loureiro, D. V., Paixão, S., 2011. Utilização de métodos geofísicos para mapeamento de lama fluida no porto de Tubarão, Vitória (ES-Brasil). *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 29, n. 3, 2011.
70. Sebetich, M. J., Ferriero, N., 1997. Lake restoration by sediment dredging, *Verh. -Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 1997, 26(2): 776-781.
71. Scottá, F. C., Andrade, M. M., Silva, V. O., Oliveira, N., Weschenfelder, J., Bortolin, E., Nunes, J. C., 2019. Geoacoustic patterns of the Guaíba river bottom and subbottom and their relationship with sedimentary and hydrodynamic processes. *Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)*, v. 37, p. 1-16, 2019.

72. Schock, N.T., Murry, B.A., Uzarski, D.G., 2014. Impacts of agricultural drainage outlets on Great Lakes coastal wetlands. *Wetlands* 34:297–307.
73. Schulz, R., 2001. Rainfall induced sediment and pesticide input from orchards into the Lourens river, Western Cape, South Africa. *Water Research*, 35(8), 1869–1876.
74. Souza, L. A. P and Gandolfo, O. C. B., 2021. Geofísica aplicada à geologia de engenharia e meio ambiente: manual de boas práticas. 1. Ed. São Paulo: ABGE, 2021.
75. Stephens, L., Fuller, D., Boivin, N., Rick, T., Gauthier, N., Kay, A., Marwick, B., Armstrong, C. G., Barton, M., Denham T., Douglass, K., Driver, J., Janz, L., Roberts, P., Rogers, J. D., Thakar, H., Altaweel, M., Johnson, A. L., Sampietro Vattuone, M. M., Aldenderfer, M., Archila, S., Artioli, G., Bale, M.T., Beach, T., Borrell, F., Braje, T., Buckland, P.I., Jiménez Cano, N.G., Capriles, J.M., Diez Castillo, D., Çilingiroğlu, Ç., Negus Cleary, M., Conolly, J., Coutros, P. R., Covey, A., Cremaschi, M., Crowther, A., Der, L., di Lernia, S., Doershuk, J. F., Doolittle, W. E., Edwards, K. J., Erlandson, J. M., Evans, D., Fairbairn, A., Faulkner, P., Feinman, G., Fernandes, R., Fitzpatrick, S.M., Fyfe, 895 R., Garcea, E., Goldstein, S., Goodman, R. C., D'Alpoim Guedes, J., Herrmann, J., Hiscock, P., Hommel, P., Horsburgh, K.A., Hritz, C., Ives, J.W., Junno, A., Kahn, J. G., Kaufman, B., Kearns, C., Kidder, T. R., Lanoë, F., Lawrence, D., Lee, G-A., Levin, M. J., Lindskoug, H. B., López-Sáez, J. A., Macrae, S., Marchant, R., Marston, J. M., McClure, S., McCoy, M. D., Ventresca Miller, A., Morrison, M., Motuzaitė Matuzeviciute, G., Müller, J., Nayak, A., Noerwidi, S., Peres, T. M., Peterson, C. E., Proctor L., Randall, A. R., Renette, S., Robbins Schug, G., Ryzewski, K., Saini, R., Scheinsohn, V., Schmidt, P., Sebillaud, P., Seitsonen, O., Simpson, I. A., Sołtysiak, A., Speakman, R. J., Spengler, R. N., Steffen, M. L., Storzum, M. J., Strickland, K. M., Thompson, J. T., Thurston, T. L., Ulm, S., Ustunkaya, M.C., Welker, M. H., West, C., Williams, P. R., Wright, D. K., Wright, N., Zahir, M., Zerboni, A., Beaudoin, E., Munevar Garcia, S., Powell, J.,

- Thornton, A., Kaplan, O., Gaillard, M.J., Klein Goldewijk, K., Ellis, E., 2019. Archaeological assessment reveals Earth's early transformation through land use. *Science*, 365: 897–902. DOI: 10.1126/science.aax1192
76. Talling, P.J., 1998. How and where do incised valley form if sea level remains above the shelf edge? *Geology*, 26(1):87-90.
77. Toldo Jr., E. E., Almeida, L. E. S. B., Corrêa, I. C. S., Ferreira, E. R., Gruber, N. L. S., 2006. Wave prediction along Lagoa dos Patos coastline, southern Brazil. *Atlântica*, 28(2):87-95, 2006.
78. Toldo Jr., E. E., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C.S., Almeida, L.E.S.B., Weschenfelder, J., 2005. Sedimentação na Lagoa dos Patos e os impactos ambientais. *In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, 2005, Guarapari-ES. Boletim de Resumos, Guarapari, ABEQUA, 1 CD-ROM, 2005.
79. Toldo Jr., E. E., Dillenburg, S. R., Corrêa, I. C. S., Almeida, L. E. S. B., 2000. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research* 16, 816–822.
80. Toldo Jr., E. E., 1994. Sedimentação predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos, RS. Ph.D. Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (unpublished).
81. Toldo Jr., E. E., 1991. Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências* 18(1):58–63. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21362>.

82. Tomazelli, L. J., Dillenburg, S. R., Villwock, J. A., 2000. Late Quaternary history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. *Rev Bras Geocienc* 30(3):470–472.
83. Tyrrel, D. A., George, K. J., 2004. Finite element modelling of the hydrodynamics and water quality of the Patos Lagoon system, Brazil. In: *International Coastal Symposium. 2004, Brazil. Anais... Brazil. Journal of Coastal Research*, 2004.
84. United Nations Environment Programme (UNEP) <https://www.unep.org/news-and-stories/story/methane-emissions-are-driving-climate-change-heres-how-reduce-them> (accessed 20 October 2021).
85. Vasconcellos, V. E. B., 2009. Mapeamento e caracterização das acumulações de gás raso na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil-RS. Porto Alegre, 117p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
86. Vieira, H. M., Weschenfelder, J., Fernandes, E. H., Oliveira, H. A., Möller, O. O., García-Rodríguez, F., 2020. Links between surface sediment composition, morphometry and hydrodynamics in a large shallow coastal lagoon. *Sedimentary Geology* 398. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105591>.
87. Vieira, E. F., Rangel, S. L. S., 1988. *Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica*. Sagra Editora, Brasil.
88. Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S.O., Popp, T., Steffensen, J., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L.C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T. L. D. J., Nakagawa, T., Newnham, R., Schwander, J., 2009. Formal definition and dating of the

- GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core and selected auxiliary records. *J. Quat. Sci.* 24, 3e17.
89. Weschenfelder, J., Corrêa, I. C. S., 2018. Shallow gas features and distribution in the Patos Lagoon: a coastal trap for gas-generator sediments. *Pesquisas em Geociências* 25, e683.
90. Weschenfelder, J., Klein, A. H. F., Green, A. N., Aliotta, S., Mahiques, M. M., Ayres Neto, A., Terra, L. C., Corrêa, I. C. S., Calliari, L. J., Montoya, I., Ginsberg, S. S., Griep, G. H., 2016. The control of palaeo-topography in the preservation of shallow gas accumulation: examples from Brazil, Argentina and South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 172, 93–107.
91. Weschenfelder, J., Baitelli, R., Corrêa, I. C. S., Bortolin, E. C., Dos Santos, C. B. 2014. Quaternary incised valleys in southern Brazil coastal zone. *Journal of South American Earth Sciences*, 55:83-93.
92. Yadav, V.B., Gadi, R., Kalra, S., 2019. Clay based nanocomposites for removal of heavy metals from water: A review, *J. Environ. Manage.* 232 (2019) 803–817, [https:// doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.120](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.120).
93. Zhong, J., Fan, C., Zhang, L., Edward, H., Ding, S., Li, B., Liu, G., 2010. “Significance of dredging on sediment denitrification in Meiliang Bay, China: a yearlong simulation study,” *Journal of Environmental Sciences*, vol. 22, no. 1, pp. 68–75, 2010.
94. Zhong, J. C., Yu, J. H., Zheng, X. L., Wen, S. L., Liu, D. H. and Fan, C. X., 2018. Effects of dredging season on sediment properties and nutrient fluxes across the sediment-water interface in Meiliang bay of Lake Taihu, China. *Water* 10: 1606.

CAPÍTULO III

7. CONCLUSÃO

A utilização da sísmica se mostra como ótima ferramenta de análise conjunta dos aspectos ambientais dos ecossistemas costeiros de águas rasas. O reconhecimento, mapeamento e a caracterização dos ecocarateres em ecogramas da LP possibilitou reconhecer gatilhos de instabilidades contribuindo com maior entendimento aos processos que regem o ambiente e com fechamento de algumas lacunas, relacionadas as problemáticas que possam interferir em um bom planejamento de gerenciamento costeiro local.

Os três setores na Lagoa dos Patos são vulneráveis e estão sujeitas a instabilidade. Os ecocarateres A1p e C vinculados as fácies sedimentares de silte/argila e de gás respectivamente, mostram-se uteis na construção do reconhecimento de setores mais sensíveis. O setor Norte A2 e Sul A3 contribui com a área mais ampla e com maiores atividades antrópicas. Entretanto, o setor Central A1 por se localizar em um ponto nodal se identifica como uma região de grande estagnação de dinâmica proporcionando grandes aglomerações de risco como a adsorção química de poluentes, eutrofização, bioacumulação e instabilidade do gás por atividades antrópicas.

A grande quantidade de gás mapeadas em sedimentos finos, demonstra que em ambientes como lagoas costeiras que sofrem intervenções antrópicas estão susceptíveis a um conjunto de aglomeração de risco e que reagem em cadeia causando grandes instabilidades. O estudo também chama a atenção para carência em dados relacionados a quantificação e controle de liberação de metano presentes nos sedimentos, que ocorrem através das atividades de dragagem em áreas de interiores costeiro, como lagunas, sendo estes, ambientes com menores rigores nos monitoramentos em relação as praias/litoral. A quantificação e controle do metano que é liberado para coluna d'água e conseqüentemente para a atmosfera, acelerando processos relacionados ao efeito estufa é tão importante e necessária como qualquer outra

condição relevante antes das atividades de dragagem, como a análise de poluentes nos sedimentos.

A carência de estudos para a preservação e entendimento desses ecossistemas lagunares podem ocasionar futuros transtornos para a região, visto que são verdadeiros reservatórios naturais de gás. Intervenções antrópicas podem influenciar na contribuição da dispersão desses gases como metano para o meio e conseqüentemente para atmosfera. Infelizmente, esses ambientes ainda tem menos influência nas tomadas de decisões quando se trata de questões socioeconômico e ambiental dentre as zonas costeiras, apesar de contribuírem tanto como o litoral para o desenvolvimento de uma região.

ANEXO I
Título da Dissertação:
“MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO GEOACÚSTICA NA IDENTIFICAÇÃO DE GATILHOS DE INSTABILIDADE AMBIENTAL DE UM GRANDE SISTEMA LAGUNAR COSTEIRO NO SUL DO BRASIL”
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autor: Leandro Xavier Maia
Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder
Examinador: Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber
Data: 14/07/2022
Conceito: Excelente - A
PARECER:
<p>O trabalho <i>Mapeamento e Caracterização Geoacústica na Identificação de Gatilhos de Instabilidade Ambiental de um Grande Sistema Lagunar Costeiro no Sul Do Brasil</i> traz um tema relevante com uma ferramenta inovadora:</p> <p>A sísmica a serviço de análises ambientais e identificação de gatilhos de instabilidade ambiental, em ecossistemas.</p> <p>Trabalhando através de uma análise e mapeamento de dados geoacústicos de alta resolução, 3,5 kHz, caracteriza, entre outros, os elementos arquiteturais de fundo e sub fundo da Lagoa dos Patos (LP) e relaciona aos diversos parâmetros do ambiente lagunar, associando ao acúmulo de situações problema.</p> <p>Algumas delas tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • a adsorção química por agrotóxicos em regiões de maiores concentrações de argilo-minerais; • presença de metano em camadas sedimentares rasas e; • atividades de dragagem que podem contribuir tanto para a disponibilização desses poluentes ao longo da lagoa; • quanto para a liberação do metano na coluna d'água e; • conseqüentemente, para atmosfera, contribuindo com o efeito estufa. <p>Tais situações são de difícil avaliação e importantes às questões ambientais e recuperação de áreas e armazenamento o CO₂, uma perspectiva que cresce hoje, como alternativa para conter o efeito estufa.</p> <p>O trabalho é bem estruturado, texto no geral bem escrito, embora por vezes com idéias cortadas, como na pg 23 (no final de Dados de Integração) quando termina sem fechar a idéia do capítulo e da 1ª parte da Dissertação.</p>

O artigo em inglês bem escrito e com figuras bem resolvidas e sendo o centro da Dissertação com resultados relevantes.

Consideramos o trabalho aprovado pela objetividade e relevância do tema e inovação do uso da ferramenta para estudos ambientais.

Assinatura:

Data: 14/07/2022

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Dissertação:

“MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO GEOACÚSTICA NA IDENTIFICAÇÃO DE GATILHOS DE INSTABILIDADE AMBIENTAL DE UM GRANDE SISTEMA LAGUNAR COSTEIRO NO SUL DO BRASIL”

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autor: **Leandro Xavier Maia**

Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Examinador: Dr. Fernando Scottá


Data: 15/07/2022

Conceito: A

PARECER:

A dissertação está bem construída e o trabalho de uma exigência de mestrado foi de fato realizado.

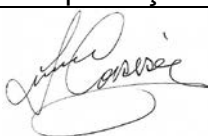
Contudo, faltaram referências bibliográficas para justificar (premissas) e incrementar qualidade na discussão da dissertação.

Assinatura: 

Data: 15/07/2022

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Dissertação:	
“MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO GEOACÚSTICA NA IDENTIFICAÇÃO DE GATILHOS DE INSTABILIDADE AMBIENTAL DE UM GRANDE SISTEMA LAGUNAR COSTEIRO NO SUL DO BRASIL”	
Área de Concentração: Geologia Marinha	
Autor: Leandro Xavier Maia	
Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder	
Examinador: Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa	
Data: 06/07/2022	
Conceito: A	
PARECER:	
<p>O trabalho encontra-se bem desenvolvido e trata de assunto de interesse na interpretação e na determinação dos processos de disparam o gatilho da instabilidade ambiental.</p> <p>O texto é compreensível e de fácil entendimento, entretanto necessita de uma revisão da ortografia e da gramática.</p> <p>A Bibliografia apresentada na apresenta um padrão genérico nem o da solicitada pela Biblioteca do Instituto de Geociências e nem mesmo o da revista proposta para a publicação do trabalho.</p> <p>Sugere-se que o autor consulte as normas ou solicite ajuda das bibliotecárias do IGEO.</p> <p>Em relação aos objetivos proposto, estes foram atingidos. A discussão e interpretação encontram-se bem elaboradas.</p> <p>Sugestões encontram-se sobre a própria dissertação.</p> <p>Sou favorável a aprovação da referida Dissertação com conceito “A”.</p>	
Assinatura: 	Data: 06/07/2022
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	