



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

**PALEONÍVEIS MARINHOS E PALEOLINHAS DE COSTA NA  
BACIA DE PELOTAS: reconstruções do nível do mar  
durante o Quaternário Superior a partir de  
sismoestratigrafia e indicadores múltiplos**

ANA RITA OLIVEIRA HAHN

Orientador - Prof. Dr. Jair Weschenfelder

VOLUME ÚNICO

Porto Alegre, 2020

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

**PALEONÍVEIS MARINHOS E PALEOLINHAS DE COSTA NA  
BACIA DE PELOTAS: reconstruções do nível do mar  
durante o Quaternário Superior a partir de  
sismoestratigrafia e indicadores múltiplos**

**ANA RITA OLIVEIRA HAHN**

Orientador - Prof. Dr. Jair Weschenfelder

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carina Petsch – Universidade Federal de Santa Maria

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nina Simone Moura - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Iran Stalliviere Corrêa - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

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

Porto Alegre, 2020

### CIP - Catalogação na Publicação

Hahn, Ana Rita Oliveira  
PALEONÍVEIS MARINHOS E PALEOLINHAS DE COSTA NA  
BACIA DE PELOTAS: reconstruções do nível do mar  
durante o Quaternário Superior a partir de  
sismoestratigrafia e indicadores múltiplos / Ana Rita  
Oliveira Hahn. -- 2020.  
153 f.  
Orientador: Jair Weschenfelder.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de  
Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,  
2020.

1. Zona Costeira. 2. Plataforma Continental. 3.  
Paleogeografia. 4. Transgressão Holocênica. 5. Sísmica  
Rasa. I. Weschenfelder, Jair, orient. II. Título.

**À minha família e às alunas e alunos com quem trabalhei e trabalharei.**

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, primeiramente, às agências de fomento brasileiras e às gestões que tornaram possível a disponibilização de recursos financeiros para bolsas. Por meio dessas bolsas, alguém como eu, filha de um pai caminhoneiro, de uma mãe professora e formada na educação básica pública, tive chances de seguir para além da graduação (e que foram duas, uma licenciatura e um bacharelado!). Consegui um Doutorado!

Meu agradecimento, principalmente, vai para o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o qual concedeu bolsas de Iniciação Científica onde trabalhei por toda a graduação, minha bolsa de Mestrado e a de Doutorado.

Um agradecimento fundamental e especial à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, por toda a estrutura concedida.

Viva a universidade pública! Viva a educação pública!

À Letícia e ao Roberto, do Programa de Pós-Graduação em Geociências, assim como todos que trabalharam/trabalham na secretaria do programa concedendo todo o auxílio e atenção a nós, estudantes.

Ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, onde entrei como bolsista voluntária no segundo ano de graduação em Geografia, encantada com os estudos sobre os ambientes costeiros e marinhos. Às professoras e aos professores que compõem esse ambiente com seus ensinamentos, pesquisas e profissionalismo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jair Weschenfelder, por todo o profissionalismo, ética, confiança e serenidade.

À Maribel, que me deu colo – literalmente – nos dias em que eu achava que não era capaz de seguir estudando.

Ao técnico do Laboratório de Sedimentologia, Gilberto, por incontáveis momentos de transmissão inestimável de conhecimento sobre as ciências da Terra.

Ao Laboratório de Microfósseis Calcários pela acolhida quando eu estava com dúvidas e buscando compreender melhor minha pesquisa, principalmente à prof.<sup>a</sup>

Dr.<sup>a</sup> Maria Pivel, ao prof. Dr. Matias Ritter, ao prof. Dr. Fernando Erthal e ao prof. Dr. Coimbra.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica da Fundação Universidade de Rio Grande por ceder os dados sísmicos usados na presente tese, principalmente à colega que se tornou amiga, Beatriz Melo, ao prof. Dr. Lauro Calliari e ao prof. Dr. Gilberto Griep (*in memoriam*).

Ao prof. Dr. Iran Corrêa, por seu profissionalismo, ética, bom humor, alegria e leveza.

À prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Strohaecker, exemplo de ser humano.

Ao prof. Dr. Nelson Gruber, que me levou àquela reunião no Laboratório de Gerenciamento Costeiro a partir da qual comecei essa trajetória mágica pelos estudos da Planície Costeira e da Plataforma Continental do sul do Brasil. Aos amigos queridos, desde aquela reunião, hoje e sempre, Rafa Mastracusa e Ricardo Franchini.

Ao João Lague, colega querido sem o qual não teria efetuado os trabalhos de processamento sísmico. Incansável em me ajudar! Obrigada, João.

Às colegas e aos colegas de Mestrado e de Doutorado, principalmente Samanta, Inaiê, Carla, Carol, Camila, Sushi, Giu, Pati, Cris, Maiara, Mariah, Narla e Natacha. Em especial, à Samanta, sempre presente. Obrigada, Sâmi.

Às colegas e aos colegas que fiz no mundo das geociências, principalmente minhas amigas Limara, Flávia, Laura, Claudinha, Carina e Fran. Em especial, à Limara, incansável como minha dupla sob toda e qualquer circunstância, e à Laura, pela energia e troca perto ou longe. Obrigada, Lili. Obrigada, Laurinha.

Às amigas e amigos dos demais caminhos da vida, principalmente Desirée, Natália Mergen, Natália Feres e Kaká.

Com as mulheres dos três parágrafos acima, tudo teve mais força, acolhimento e empoderamento.

Ao Francisco e à sua família. Não há palavras que descrevam o que vocês significaram. Obrigada pelos 5 anos de história, Francisco.

Às alunas, alunos e colegas com os quais trabalhei nas escolas por onde passei ao longo dessa caminhada do Mestrado e Doutorado: Instituto Estadual Rio Branco, EEEF Dr. Carlos Barbosa Gonçalves e Colégio La Salle/Esteio. Gratidão

pelo apoio, compreensão e acolhimento em meio à correria de conciliar a docência com um Mestrado e um Doutorado. Valeu e vale a pena tudo!

Finalmente, à minha família: mãe, pai, avós, irmãos, cunhado, sobrinha, cachorros, minha comadre, prima e amiga Daia. Principalmente, nossas crianças Miguel e Maria (doses sem fim de ânimo, força e amor incondicional). Enquanto eu estudava para o vestibular da UFRGS (lá em 2008) e achava que não conseguiria passar, minha irmã Ana Paula dizia: *essa guria vai estar fazendo doutorado daqui uns anos e tá aí achando que não é capaz.*

E eu fiz mesmo.

Obrigada por acreditarem em mim até quando eu mesma não acreditava.

Obrigada!

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1: Compartimentação do prisma praiial (Toldo Jr., 2010, modificado de Short, 1999). .....	7
Figura 2: Localização da área de estudo. Mapa de situação com a fisiografia e as principais estruturas geológicas do embasamento e da bacia de Pelotas (modificado de Carraro <i>et al.</i> , 1974 e Corrêa, 1987). Curvas batimétricas da área oceânica de Corrêa (1996) e da Lagoa dos Patos de Toldo <i>et al.</i> (2000). .....	8

### CAPÍTULO 2

Figura 3: Diferentes tipos de padrões geométricos de terminação entre refletores sísmicos. Fonte: Severiano Ribeiro (2001).....	21
Figura 4: a) Registro sísmico de vales incisos no fundo da laguna dos Patos, no RS. b) Mapeamento sísmico do registro. c) Correlação com os estágios isotópicos do oxigênio de Imbrie <i>et al.</i> (1984). d) Localização da área de estudo. Fonte: Weschenfelder <i>et al.</i> (2008). .....	23
Figura 5: Ciclo de variação do nível de base e o regime sedimentar durante cada fase de desenvolvimento de uma seqüência deposicional. As siglas TSRF, TSNB, TST e TSNA correspondem, respectivamente, aos tratos de sistemas deposicionais de Regressão Forçada, de Nível Baixo, Transgressivo e de Nível Alto, resultantes do regime sedimentar desenvolvido em cada uma das fases do ciclo. Fonte: Holz (2012). .....	25

### CAPÍTULO 3

Figura 1: Mapa de situação com a fisiografia e as principais estruturas geológicas do embasamento e da bacia de Pelotas (modificado de Carraro *et al.*, 1974 e Corrêa, 1987). Mapa geológico simplificado da porção emersa da bacia de Pelotas, mostrando uma barreira costeira holocênica contínua e cronocorrelata que se



estende longitudinalmente entre o Cabo de Santa Marta (Santa Catarina) e *La Coronilla* (Uruguai). O perfil transversal A-A' corresponde à seção geológica esquemática apresentada na porção inferior da figura, a qual mostra a barreira associada ao estágio do isótopo de oxigênio (*Marine Isotope Stage - MIS3*) por Dillenburg *et al.* (2019), identificada em outros setores da PCRGS. Modificado de Bitencourt *et al.* (2020b). .....39

## CAPÍTULO 4

Figure 1: Location map of the study area. <b>Upper panel:</b> main physiographic and geologic structures of the basement and the Pelotas Basin (modified from Carraro <i>et al.</i> , 1974 e Corrêa, 1987). <b>Main panel:</b> bathymetry of the oceanic area from Corrêa (1996) and of the Patos Lagoon from Toldo <i>et al.</i> (2000). <b>Bottom dashed inset</b> is the location of the map of figure 2. ....	73
Figure 2: Location of the seismic profile lines and records showed in the figures 3 to 7. See regional location on figure 1. ....	76
Figure 3: Seismic record of the profile 8 (a), approximately isobaths of 25 m (See position on figure 2), showing a topographic low (b) and the seismo-depositional architectural elements (c) with two different seismic units: Unit I (UI) and II (UII). Vertical scale in two-way traveltime (TWT), in milliseconds. ....	77
Figure 4: Seismic record of the profile 1 (a), approximately isobaths of 100 m, showing the seismo-depositional architectural elements of two incisions (b and c). Vertical scale in two-way traveltime (TWT), in milliseconds. ....	78
Figure 5: Seismic record of the profile 2, approximately isobaths of 90 m, showing the SH1 and the seismo-depositional architectural elements of an identified incision (E-E'). Vertical scale in two-way traveltime (TWT), in milliseconds. ....	79
Figure 6: Seismic record of the profile 3 (a), acquired approximately at 48 m isobaths in the south of RS continental shelf. The record shows a remarkable incision (b) and the main reflectors related to it are indicated (c). Vertical scale in two-way traveltime (TWT), in milliseconds. ....	80
Figure 7: Seismic record of the profile 8, at isobaths of around 50 m, in the south of RS continental shelf, showing the SH1 and the main seismo-depositional	

architectural elements (G-G'). Vertical scale in two-way traveltime (TWT), in milliseconds.....	81
Figure 8: A supposed drainage system scenario of the RS coastal zone (Southern Brazil) during the LGM considering the multisource data presented and discussed in this paper.....	83

## CAPÍTULO 5

Figura 1: Localização da área de estudo. Mapa de situação com a fisiografia e as principais estruturas geológicas do embasamento e da bacia de Pelotas (modificado de Carraro <i>et al.</i> , 1974 e Corrêa, 1987). Imagem do <i>Google Earth</i> , com os perfis sísmicos mostrados nas figuras 2 e 3. ....	102
Figura 2: a) Registro da linha sísmica 3, na isóbata ~48 m. b) Registro de uma incisão e (c) os principais refletores marcados, identificando-se padrões de terminação em <i>onlap</i> . Escala vertical em <i>two way traveltime</i> (TWT), tempo de ida e volta da onda sísmica em milissegundos. Modificado de Hahn <i>et al.</i> (2020, SUBMETIDO).....	106
Figura 3: a) Linha sísmica 6, isóbatas de 50 à 75 m, mostrando o registro sísmico e (b) seus elementos arquiteturais sismo-deposicionais, identificando-se padrões de terminação entre refletores em <i>downlap</i> e em <i>toplap</i> . Escala vertical em <i>two way traveltime</i> (TWT), tempo de ida e volta da onda sísmica em milissegundos. ....	108
Figura 4: Possível cenário da costa do RS, sul do Brasil, durante o UMG. Modificado de Hahn <i>et al.</i> (2020).....	109
Figura 5: Possível cenário da costa do RS, sul do Brasil, há ~15 ka AP.....	109
Figura 6: Possível cenário da costa do RS, sul do Brasil, entre ~12 e ~8,5 ka AP. ....	110
Figura 7: Possível cenário da costa do RS, sul do Brasil, há ~6,5 ka AP.....	110
Figura 8: Altos topográficos de Camargo (2015) e os identificados neste estudo posicionados na curva da variação do nível do mar desde o UMG. O período de ocorrência dos MWPs e sua relação com a batimetria é de Liu e Milliman (2004) e Hijma e Cohen (2010). Terraços abaixo do nível médio do mar e datações são de Corrêa (1996), considerando depósitos sedimentares em superfícies de estabilização temporária do nível marinho. A curva no Holoceno Superior é de	

Angulo e Lessa (1997). As datações de raízes de plantas de Hein *et al.* (2016) são de depósitos sedimentares em Tijucas – SC. O modelo transgressivo é de Milne *et al.* (2005) para a costa do sul do Brasil. Modificado de Cooper *et al.* (2016). .....119

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Indicadores geológico-geomorfológicos de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras abaixo do nível relativo do mar atual na plataforma continental do RS. ....42

Quadro 2: Indicadores biológicos de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras abaixo do nível relativo do mar atual na plataforma continental do RS. ....46

## SUMÁRIO

<b>ESTRUTURA DA TESE:</b> .....	<b>3</b>
<b>PARTE 1: TEXTO INTEGRADOR</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1 Introdução</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3 Justificativa</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 Estado da Arte</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.1 Eustasia e Isostasia</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.2 Deslocamentos da Linha de Costa, Padrões de Empilhamento dos Sedimentos e Barreiras Costeiras</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.3 O Registro Sismoestratigráfico e as Variações no Nível do Mar</b> .....	<b>20</b>
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>25</b>
<b>PARTE 2: ARTIGOS</b> .....	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>34</b>
<b>3 Indicadores da Posição do Nível do Mar e da Linha de Costa Durante o Quaternário na Bacia de Pelotas, Sul do Brasil</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1 Introdução</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2 Área de Estudo</b> .....	<b>38</b>
<b>3.3 Materiais e Métodos</b> .....	<b>40</b>
<b>3.4 Resultados</b> .....	<b>41</b>
<b>3.4.1 Indicadores Geológico-Geomorfológicos</b> .....	<b>41</b>
<b>3.4.2 Indicadores Biológicos</b> .....	<b>45</b>
<b>3.5 Discussão</b> .....	<b>48</b>

<b>3.6 Conclusões .....</b>	<b>54</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>55</b>
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>68</b>
<b>4 Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil .....</b>	<b>69</b>
<b>4.1 Introduction .....</b>	<b>71</b>
<b>4.1.1 Regional Settings .....</b>	<b>72</b>
<b>4.2 Materials and Methods.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3 Results .....</b>	<b>76</b>
<b>4.4 Discussion .....</b>	<b>82</b>
<b>4.5 Conclusion.....</b>	<b>87</b>
<b>References .....</b>	<b>88</b>
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>96</b>
<b>5 Indicadores múltiplos na reconstrução da evolução paleogeográfica do Quaternário costeiro do Sul do Brasil .....</b>	<b>97</b>
<b>5.1 Introdução.....</b>	<b>99</b>
<b>5.2 Área de Estudo .....</b>	<b>101</b>
<b>5.3 Materiais e Métodos .....</b>	<b>103</b>
<b>5.4 Resultados .....</b>	<b>104</b>
<b>5.4.1 Baixos Paleotopográficos .....</b>	<b>105</b>
<b>5.4.2 Altos Paleotopográficos .....</b>	<b>107</b>
<b>5.4.3 Cenários Evolutivos .....</b>	<b>108</b>
<b>5.5 Discussão .....</b>	<b>111</b>
<b>5.5.1 UMG .....</b>	<b>112</b>
<b>5.5.2 Últimos 15 ka AP .....</b>	<b>113</b>
<b>5.5.3 Entre 12 e 8,5 ka AP .....</b>	<b>115</b>

5.5.4 Últimos 6,5 ka AP .....	119
5.6 Conclusões .....	121
Referências Bibliográficas .....	122
PARTE 3: CONCLUSÕES DA TESE .....	130
Considerações Finais .....	131
ANEXOS .....	136
I) Comprovante de Submissão do Artigo <i>Indicadores da posição do nível do mar e da linha de costa durante o Quaternário na bacia de Pelotas, Sul do Brasil</i> , à Revista Caminhos de Geografia.....	137
II) Comprovante de Submissão do Artigo <i>Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil</i> , ao periódico <i>Brazilian Journal of Geology</i> . .....	138
III) Comprovante de Submissão do Artigo <i>Indicadores múltiplos na reconstrução da evolução paleogeográfica do Quaternário costeiro do Sul do Brasil</i> , à Revista Brasileira de Geomorfologia.....	139

## RESUMO

Esta Tese aborda a integração entre a sismoestratigrafia rasa da plataforma continental do Rio Grande do Sul (RS) e os indicadores múltiplos de variação do nível do mar, reconstruindo-se o comportamento do nível marinho e a paleogeografia da bacia sedimentar de Pelotas no Quaternário Superior. Por meio do uso de registros sísmicos de alta frequência (3,5 kHz) e resolução, efetuou-se um mapeamento de elementos arquiteturais sísmicos equivalentes a sistemas deposicionais. Através de uma revisão bibliográfica crítica, constatou-se que há um maior número de pesquisas que tiveram como base indicadores de níveis regressivos cuja resolução espacial é horizontal, os quais têm como análogos os sistemas laguna-barreira e de paleodrenagens existentes na Planície Costeira do RS (PCRGS). Nos registros sísmicos, foram identificados sistemas de drenagem e de barreiras costeiras pretéritos. A espacialização das incisões fluviais e das paleobarreiras e sua associação aos indicadores de paleoníveis marinhos levantados na bibliografia resultou na reconstrução de cenários geográficos desde o Último Máximo Glacial. Durante a elevação das médias térmicas globais e a consequente transgressão, o clima global oscilou entre períodos de maior resfriamento e de maior aquecimento, resultando em fases de estabilização do nível marinho e de retomada e aceleração da transgressão. Nas estabilizações, sistemas costeiros foram desenvolvidos, enquanto que nas retomadas e aceleração da subida do nível marinho, esses sistemas foram afogados *in situ* e parcialmente preservados na plataforma continental do RS. A área de estudo, em função de ser uma margem continental passiva não-glacial, acomoda o desenvolvimento de incisões fluviais e de barreiras costeiras. As incisões associam-se a essas altas taxas de acomodação, possibilitando maior deposição ao serem inundadas e, sob cenários de maior velocidade da transgressão, maiores potenciais de preservação. Essa característica, somada à transgressão por meio de pulsos de redução e/ou aceleração da velocidade, resultou no afogamento *in situ* e preservação das feições analisadas.

**Palavras-Chave:** Zona Costeira; Plataforma Continental; Paleogeografia; Evolução Costeira; Transgressão Holocênica; Sísmica Rasa.

## ABSTRACT

This thesis analyzes the integration between the shallow seismic stratigraphy of the continental shelf of Rio Grande do Sul State (RS), Brazil, and the multiple indicators of sea level variation, reconstructing the sea level behavior and the paleogeography of the Pelotas sedimentary basin in Upper Quaternary. The methodology included the use of high frequency and high resolution seismic records (3.5 kHz) as well as the mapping of architectural elements related to depositional systems. Through a critical background analysis, it was found that the majority of studies used regressive sea level indicators with horizontal spatial resolution. These indicators have as analogues the lagoon-barrier and the paleodrainage systems in the RS coastal plain. In the seismic records, paleodrainages and coastal paleobarrriers were identified. The spatialization of the fluvial incisions and paleobarrriers and their association to indicators of marine paleolevels and paleoshorelines, resulted in the reconstruction of geographic scenarios since the Last Glacial Maximum. During the global thermal averages rise and the consequent transgression, the global climate fluctuated between greater cooling and greater warming. This climatic oscillation resulted in phases of sea level stabilization and in phases of resumption and acceleration of transgression. In the stabilizations, coastal systems were developed, while in the resumptions and acceleration of sea level rise, these systems were drowned *in situ* and partially preserved in the current RS continental shelf. The study area is enabled to the development of fluvial incisions and coastal barriers because it has a non-glacial and passive continental margin character. The incisions are associated to high accommodation rates, resulting in greater deposition during their flooding as well as greater preservation under scenarios of greater speed of the transgression. This characteristic – associated to the transgression through pulses of speed reduction and/or acceleration – resulted in the drowning *in situ* and in the preservation of the analyzed features.

**Key-Words:** Coastal Zone; Continental Shelf; Paleogeography; Coastal Evolution; Holocene Transgression; Shallow Seismic.



## **ESTRUTURA DA TESE:**

Esta Tese de Doutorado está estruturada conforme a Norma 118 do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS, em torno de três artigos submetidos em periódicos. A organização compreende as seguintes partes:

### **PARTE 1 - TEXTO INTEGRADOR**

Compreende o **Capítulo 1** (Introdução, Objetivos, Premissas, Hipóteses e Justificativa do estudo) e o **Capítulo 2** (Estado da Arte).

### **PARTE 2 – ARTIGOS**

Compreende os seguintes capítulos, escritos na forma de artigos:

**Capítulo 3:** *Indicadores da posição do nível do mar e da linha de costa durante o Quaternário na bacia de Pelotas, Sul do Brasil*, submetido à Revista Caminhos de Geografia.

**Capítulo 4:** *Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil*, submetido ao periódico *Brazilian Journal of Geology*.

**Capítulo 5:** *Indicadores múltiplos na reconstrução da evolução paleogeográfica do Quaternário costeiro do Sul do Brasil*, submetido à Revista Brasileira de Geomorfologia.

### **PARTE 3 – CONCLUSÕES DA TESE**

Considerações Finais

#### **Obs.:**

- No final da Parte 1 e dos capítulos que compõem a Parte 2, encontram-se as referências bibliográficas correspondentes.
- Em **Anexos**, encontram-se os comprovantes de submissão dos artigos.

**PARTE 1**

**TEXTO INTEGRADOR**

# CAPÍTULO 1

## 1.1 Introdução

As mudanças do nível do mar despertam interesse na população desde seus primórdios, assim como o tema referente às glaciações que ocorrem no planeta e que afetam o seu clima, afetando o nível do mar por conseguinte. De acordo com a retrospectiva da história das pesquisas sobre o nível do mar, Angulo e Souza (2014) explanaram acerca das hipóteses formuladas por Heródoto (484-425 antes de Cristo - a.C.) a respeito da variação da extensão do Mediterrâneo com base em depósitos de conchas encontrados nas montanhas, como o fez Xenófanos de Cólofon (570-480 a.C.), também, ao reconhecer a dinamicidade do nível do mar a partir de fósseis marinhos encontrados longe do oceano (Cailleux, 1964 citado por Angulo e Souza, 2014).

As evidências de antigos níveis marinhos chamaram a atenção, também, daquele que calculou a circunferência terrestre, entre outros experimentos. Eratóstenes (276-194 a.C.) atribuiu a ocorrência de conchas encontradas longe do mar à variação dos níveis marinhos (Angulo e Souza, 2014). Após muitos séculos, Charles Darwin (1841) identificou arenitos calcíferos com fragmentos de conchas encontrados no Nordeste (NE) brasileiro como produto de deslocamentos da linha de praia, sendo proposta por Branner (1904) esse processo genético para a formação das *beach rocks* posteriormente (Ferreira Jr. *et al.*, 2013).

A discussão referente às variações do nível do mar na costa brasileira tornaram-se mais comuns no século XX, havendo constatações destas oscilações a partir da identificação de locas de ouriço-do-mar em locais acima do nível de vida atual destes animais por Lamego na década de 1940 e ocorrendo as primeiras publicações de datações em 1964 por Van-Andel e Laborel (Angulo e Souza, 2014). As sínteses desses estudos foram sendo desenvolvidas posteriormente e o debate acerca dos máximos transgressivos e regressivos em diferentes setores costeiros do Brasil tornou-se cada vez mais frequente, realizando-se pesquisas cada vez mais precisas sobre o tema.

As variações do nível do mar são estudadas através de indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas de costa situados nas zonas costeiras atualmente emersas e nos depósitos que estão submersos. Nesse contexto deposicional, segundo Hesp (1999) e Hesp e Short (1999), tem-se o perfil praiial

composto pela porção subaérea ou pós-praia (*beyond*), a face de praia ou setor intermarés (*foreshore*), a zona de surfe e a antepraia (*shoreface*), como é ilustrado na figura 1, enquanto que os depósitos submersos - nas margens passivas ou do tipo atlântico - abrangem a plataforma continental, o talude continental e o sopé ou elevação continental, que se limita junto à planície abissal (Garrison, 2010).

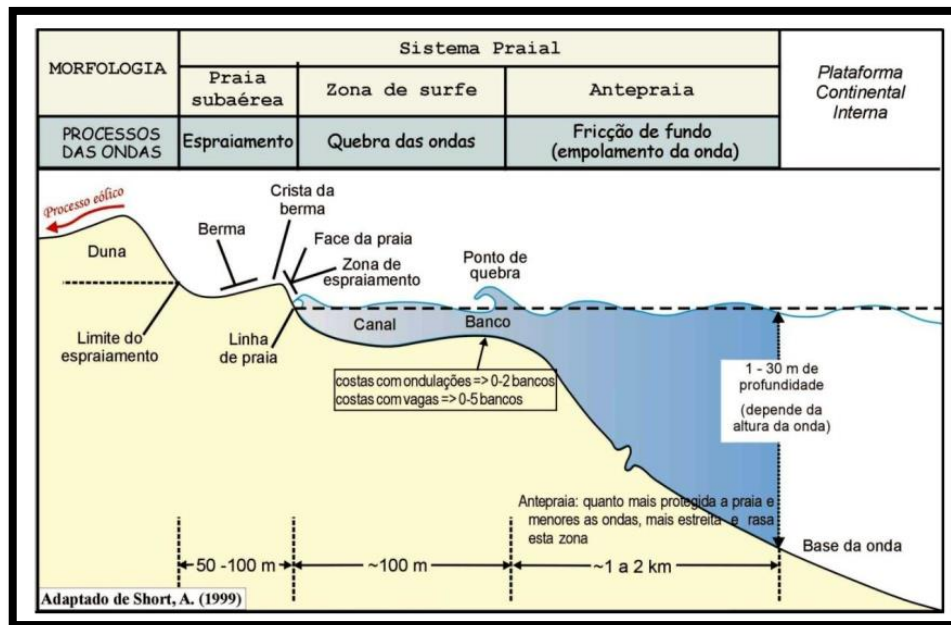


Figura 1: Compartimentação do prisma praial (Toldo Jr., 2010, modificado de Short, 1999).

A presente Tese de Doutorado desenvolve um estudo acerca da evolução do nível do mar face às mudanças globais no nível dos oceanos durante o Quaternário Superior na bacia sedimentar de Pelotas, mais precisamente na costa do RS, sul do Brasil (figura 2). O período Quaternário corresponde aos últimos 2,58 milhões de anos Antes do Presente (AP) e divide-se entre as épocas Pleistocênica e Holocênica (Comissão Internacional de Estratigrafia, 2019), sendo o intervalo temporal analisado na presente tese os estágios correspondentes ao Pleistoceno Superior e ao Holoceno, dos quais indicadores diversos de paleoníveis marinhos e de paleolinhas de costa abaixo do nível marinho atual serão analisados, reconstruindo-se paleoambientes costeiros.

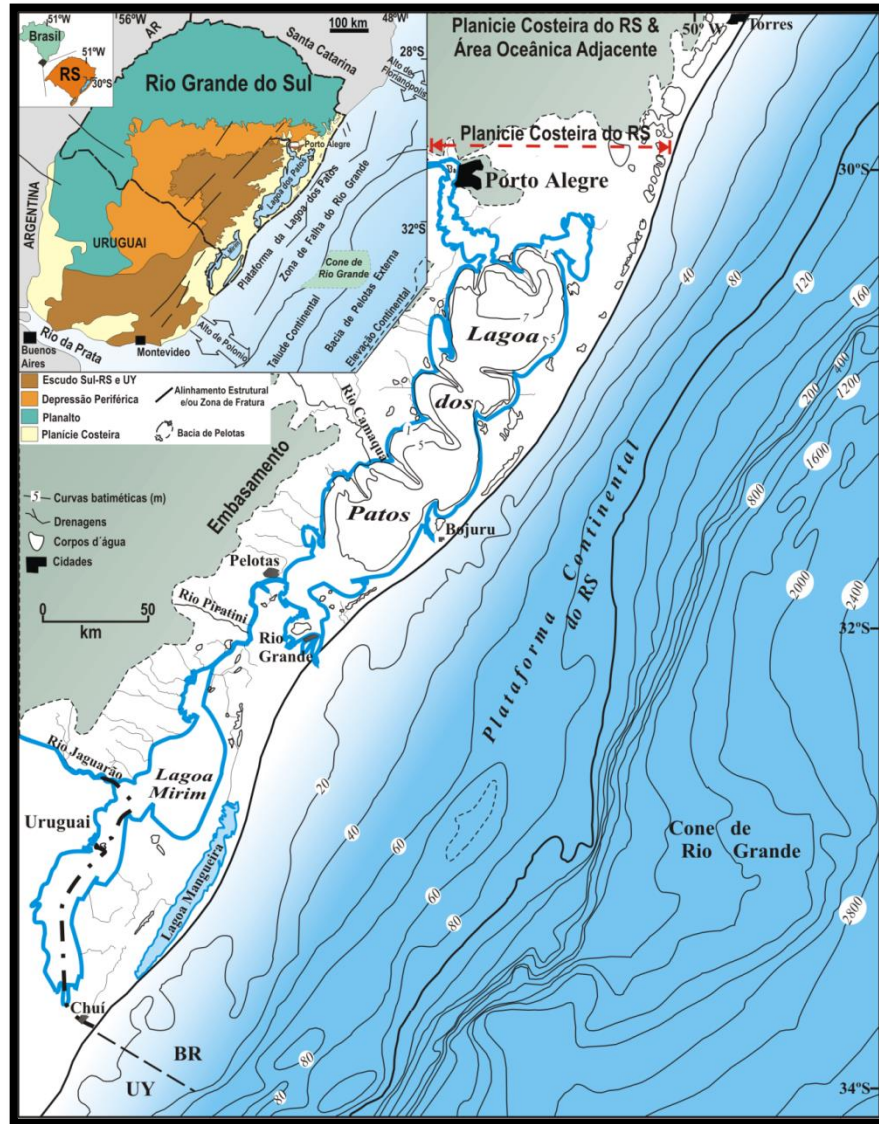


Figura 2: Localização da área de estudo. Mapa de situação com a fisiografia e as principais estruturas geológicas do embasamento e da bacia de Pelotas (modificado de Carraro *et al.*, 1974 e Corrêa, 1987). Curvas batimétricas da área oceânica de Corrêa (1996) e da Lagoa dos Patos de Toldo *et al.* (2000).

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral do estudo é a identificação, mapeamento e análise de indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas de costa na região costeira do sul do Brasil, reconstruindo-se os cenários ambientais que se desenvolveram durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno na costa sul-brasileira.

Para que o objetivo geral seja alcançado, têm-se os seguintes **objetivos específicos**:

- Reconstruir as variações do nível do mar na porção submersa da Bacia de Pelotas, com ênfase na plataforma continental, ao longo do Pleistoceno Superior e Holoceno.

- Efetuar reconstruções paleoambientais, sob o contexto das variações globais do nível do mar no Pleistoceno Superior e Holoceno, para a área que, atualmente, concerne à plataforma continental do RS.

- Identificar a dinâmica do comportamento regional dessas variações, como a velocidade das transgressões e regressões do nível do mar, a existência de pulsos de aceleração da subida do nível marinho, a ocorrência de períodos de estabilizações durante a transgressão holocênica e o desenvolvimento de paleolinhas de praia.

#### **Premissas:**

Uma ampla gama de indicadores de variação do nível do mar pode ser reconhecida em registros sísmicos de alta resolução da plataforma continental do RS, os quais podem ser associados a outros indicadores de fontes múltiplas e, conseqüentemente, auxiliar na reconstrução da evolução da zona costeira do Sul do Brasil. Essas variações regionais do nível marinho refletem os eventos globais de variação do nível de base, sendo possível estabelecer correlações não apenas entre indicadores identificados na plataforma continental do RS e na planície costeira adjacente, mas também correlacioná-los àqueles identificados em outras regiões costeiras do Brasil e no mundo.

#### **Hipóteses:**

Diversos estudos efetuados na Planície Costeira do RS (PCRGs) e na plataforma continental adjacente identificaram elementos associados a cenários ambientais sob condições de nível do mar abaixo do atual, como os estudos de Corrêa (1996), Corrêa *et al.* (2008, 2013 e 2014), Abreu e Calliari (2005), Weschenfelder *et al.* (2005, 2006, 2008a, 2008b, 2010, 2014 e 2016), Bortolin *et al.*

(2018 e 2019), entre outros. Nesses estudos, os indicadores identificados correspondem a sistemas associados a redes de paleodrenagem que percorriam a atual plataforma continental do RS, a qual se encontrava sob exposição subaérea decorrente da regressão imposta no Último Máximo Glacial (UMG) (Corrêa, 1996).

As hipóteses desta Tese de Doutorado são de que elementos associados a cenários ambientais desenvolvidos no UMG e durante a transgressão holocênica, indicando paleoníveis marinhos e paleolinhas de costa, sejam passíveis de identificação na atual plataforma continental do RS. Por meio da perfilagem sísmica de alta resolução e da correlação com indicadores de variação do nível do mar de múltiplas fontes, tem-se a segunda hipótese de que esses cenários e a dinâmica transgressiva posterior à deglaciação possam ser reconstruídos, identificando-se como o nível marinho oscilou ao longo do Pleistoceno Superior e do Holoceno na área de estudo.

### **1.3 Justificativa**

No atual cenário internacional, onde relações entre países economicamente centrais, emergentes e periféricos estão sendo pautadas com base em políticas voltadas à mitigação de mudanças ambientais globais, a compreensão acerca do comportamento do oceano torna-se um dos focos de interesse mundial. Essa dinâmica dos mares e oceanos do planeta, imprescindível nos estudos das ciências naturais, demanda ser analisada sob uma escala temporal de dezenas, centenas e milhares de anos.

A ocorrência de mudanças ambientais globais é visualizada como um cenário futuro para distintas regiões do planeta à medida que estudos corroboram o cenário atual de mudanças climáticas. As pesquisas de Simões (1997), Simões *et al.* (2004) Mayewski *et al.* (2013), Schwanck *et al.* (2016), direcionadas à variabilidade química no manto de gelo antártico ao longo do tempo, são exemplos de estudos que evidenciam esse cenário, entre outras pesquisas que também abordam a temática de mudanças ambientais mas com enfoques distintos.

No início da última década do século XX, o estudo de Schnack e Pirazzoli (1990), previu que ocorresse uma elevação global do nível dos oceanos se o cenário de aquecimento global permanecesse o mesmo, ou seja, se o incremento



desenfreado dos índices de gases estufa na atmosfera continuasse ocorrendo. Mesmo que a pesquisa supracitada possa parecer antiga, os relatórios de avaliação atualmente divulgados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) da Organização das Nações Unidas (ONU) mostram à comunidade internacional os riscos que as regiões costeiras do globo correm em face desse cenário.

Logo, estudos que analisam o comportamento do nível do mar em escalas global e regional consideram essa demanda de compreensão da dinâmica de elevação e de rebaixamento do nível eustático e isostático. A necessidade tanto de elucidação acerca da maneira com que essas oscilações do nível do mar ocorrem, quanto sobre a velocidade com que o nível do mar eleva-se num determinado período de tempo, contemplam essa demanda científica.

Ao longo do tempo, tentativas de formulação de um modelo único de flutuações do nível do mar mundial foram efetuadas, como o modelo de variação eustática de Fairbridge (1962). Contudo, apesar de terem ocorrido essas tentativas de elaboração de modelos únicos, a inviabilidade de modelos únicos diante da dinamicidade do comportamento do nível do mar no mundo é inerente (Suguio *et al.*, 1985).

Diante disso, inúmeros estudos com ênfase na dinâmica isostática foram efetuados em diferentes setores costeiros do Brasil e do mundo, mostrando dinâmicas regionais diferenciadas umas das outras no comportamento do nível do mar em costas de gênese e evolução distintas. No entanto, mesmo que haja a necessidade de se efetuarem análises isostáticas a partir de escalas regionais, devem-se elaborar conexões entre a dinâmica regional observada no setor costeiro analisado e entre eventos paleoclimáticos e eustáticos de escala continental e, até mesmo, global (Green *et al.*, 2013a, 2013b e 2014; Cooper e Green, 2016).

Eventos globais, como o UMG, ocorrido entre 26 e 19 mil anos (ka) Antes do Presente (AP) aproximadamente (~), ou como os pulsos de degelo que se seguiram ao final dessa última glaciação, denominados *MeltWater Pulses* (MWP), impactaram reconhecidamente o nível dos oceanos em diversas partes do mundo (Fairbanks, 1989; Stanford *et al.*, 2011; Gornitz, 2012). De acordo com os estudos de Fairbridge (1962), Fairbanks (1989) e Schnack e Pirazzoli (1990), entre outras pesquisas que se seguiram a essas precursoras, o nível global dos oceanos esteve

fortemente submetido a esses e a outros episódios paleoclimáticos de resfriamento e de aquecimento da atmosfera do planeta.

O recuo do nível do mar durante o UMG é constatado em inúmeros estudos ao redor do mundo, assim como a transgressão marinha que se seguiu após o início da deglaciação, entre ~14 ka AP e ~10 ka AP (Crowley e North, 1991; O'Brien *et al.*, 1995; Peltier, 2002; Liakka e Lofverstrom, 2018). Durante a deglaciação, entretanto, o aquecimento da atmosfera durante esse período não foi linear, apresentando intensa variação (Ruddiman, 2008; Peltier, 2002; Mayewski *et al.*, 2004 e 2013; Stanford *et al.*, 2011; Gornitz, 2012; Green *et al.*, 2013a, 2013b e 2014).

Enquanto os mantos de gelo ao redor do planeta derretiam, como o Antártico, da Groenlândia, o Laurenciano (América do Norte), o Europeu e o Escandinavo, os quais haviam atingido sua máxima extensão durante o UMG (Clark *et al.*, 2009; Arendt *et al.*, 2018), a circulação atmosférica e oceânica oscilavam consideravelmente, ocorrendo episódios menores de maior resfriamento e de maior aquecimento do clima global (Fairbanks, 1989; O'Brien *et al.*, 1995; Mayewski *et al.*, 2004 e 2013; Ruddiman, 2008). Esses episódios, como os eventos *Heinrich*, Oscilação de *Allerød*, *Younger Dryas* e os pulsos de degelo referentes aos MWP, refletiram no comportamento do nível dos oceanos em distintos pontos do planeta (Stanford *et al.*, 2006 e 2011; Gornitz, 2012).

As áreas costeiras configuram a interface entre os ambientes marinho e terrestre e estão entre os ambientes mais frágeis do globo, pois integram ecossistemas complexos que demandam específicos métodos e ferramentas de gestão. Segundo explanação de Masselink *et al.* (2016), as regiões costeiras são compostas por mosaicos de recursos abióticos e bióticos, proporcionando incontestáveis benefícios para os seres humanos, como alimento (pesca), lazer e, por último mas não menos importante, a proteção contra eventos meteorológico-oceanográficos extremos de elevação do nível relativo do mar, sendo as regiões primeiramente afetadas em cenários de elevação marinha a médio e/ou a longo prazo.

No que se refere ao ambiente costeiro e à ampla gama de ecossistemas e subambientes complexos que o compõem, as linhas de costa oceânicas, especialmente as praias, são particularmente muito vulneráveis aos efeitos das mudanças no nível dos mares, tanto daquelas referentes à elevação global de longo

período (de décadas a séculos e/ou milênios), quanto daquelas correspondentes a elevações de curto prazo, como eventos meteorológico-oceanográficos extremos. Portanto, não apenas o primeiro cenário de elevação marinha de longo período do nível marinho global e local evidencia os riscos aos quais as praias estão submetidas, mas também o cenário de mudanças regionais em curto prazo, como aumento na frequência e na intensidade de tempestades e de ressacas do mar, expõe a necessidade de atenção que demandam as linhas de costa (Nicholls *et al.*, 2011; Masselink *et al.*, 2016).

Logo, demanda-se que políticas públicas que objetivem conservar os serviços naturais costeiros sejam elaboradas com urgência, sendo o estudo do comportamento do nível dos mares não apenas global, como também local, imprescindível para a elucidação da dinâmica costeira e marinha e, por conseguinte, para a formulação de ferramentas e de mecanismos para a sua gestão. A reconstrução paleoambiental durante o Pleistoceno Superior e Holoceno da plataforma continental de um setor costeiro de um país, como é o caso da presente pesquisa sobre a costa sul do Brasil, possibilitará que o comportamento do nível do mar ao longo do Quaternário, em nível local e nível global, seja compreendido e, conseqüentemente, auxilie na elaboração de prognósticos e de planejamentos mais confiáveis.

## **CAPÍTULO 2**

## 2.1 Estado da Arte

A seguir, será desenvolvido o estado atual de conhecimento acerca do tópico de estudo da presente Tese.

### 2.1.1 Eustasia e Isostasia

No decorrer dos anos, uma ampla gama de estudos buscou formular modelos de variação do nível dos oceanos que se aplicassem a todo o planeta, sendo o modelo proposto por Fairbridge (1962) e os apontamentos de Peltier (2002) exemplos dessas tentativas. Soube-se que, de fato, há um componente que contribui com variações do nível marinho numa escala global, sendo essa componente denominada *eustasia* por Edward Suess (1831-1914) para definir esse fenômeno da variação global do nível do mar, resultante da alteração no volume de água e/ou no volume das bacias oceânicas (Milne *et al.*, 2005; Holz, 2012).

Essa alteração no volume de água presente nas bacias oceânicas é resultante da retração ou da expansão dos mantos de gelo que cobrem as massas continentais adjacentes ou sobre os pólos terrestres, retração ou expansão essas relacionadas à ocorrência de glaciações ou de deglaciações, configurando a *glacioeustasia* (Milne *et al.*, 2005; Holz, 2012). O volume das bacias oceânicas, por sua vez, corresponde às taxas de espalhamento do fundo oceânico, a qual é denominada de *tectonoeustasia* e também configura como um fator de controle do nível global dos oceanos, assim como a *eustasia termohalina* – variação na densidade das águas devido a mudanças na temperatura e na salinidade – e a *hidroeustasia* – variação no volume de águas aprisionado nos aquíferos (Holz, 2012).

Apesar das tentativas de formulação de curvas globais de variação eustática, verificou-se, contudo, que o comportamento do nível do mar varia localmente em função da atuação conjunta tanto de uma série de variáveis, quanto do componente eustático, esse último, no caso da área de estudo, decorrente da *glacioeustasia* (Milne *et al.*, 2005). O aumento das médias térmicas globais após o UMG, o qual se estendeu de ~26,5 à ~19 ka AP e no qual o nível eustático atingiu seu máximo regressivo devido à máxima expansão dos mantos de gelo ao redor do globo,

resultou na retração desses mantos de gelo, como o da Groenlândia, o Laurenciano (da América do Norte), o Europeu, o Escandinavo e o Antártico, elevando o nível eustático (Clark *et al.*, 2009; Arendt *et al.*, 2018).

Diante da variação do nível eustático, ou seja, das modificações em escala global do nível dos oceanos, os ambientes ajustam-se ao nível marinho imposto, sendo esses ajustamentos do ambiente às variações eustáticas ocorridos em função do espaço disponível para o preenchimento sedimentar. De acordo com Van Wagoner *et al.* (1990) e Zaitlin *et al.* (1994), esse espaço é denominado de espaço de acomodação e resulta da relação entre a variação global do nível do mar e o aporte sedimentar local, correspondendo essa configuração pontual ao nível relativo do mar ou *isostasia*.

Segundo Dillenburg e Hesp (2009), o comportamento isostático é o principal fator de controle da evolução costeira se o nível marinho estiver variando em taxas altas, especialmente em margens continentais passivas com costas dominadas por ondas, como é o caso da área de estudo. Entretanto, conforme Dillenburg *et al.* (2006), o nível relativo do mar pode perder o controle principal da evolução costeira e dar lugar ao balanço de sedimentos sob situações de nível marinho global estável ou elevando-se a taxas mais lentas. Em face de qualquer um desses cenários eustáticos, ou seja, nível do mar elevando-se rapidamente ou lentamente/estável, os ambientes reajustam-se às novas condições impostas em função do espaço de acomodação disponível ou indisponível e do aporte sedimentar para seu preenchimento (Van Wagoner *et al.*, 1990; Zaitlin *et al.*, 1994).

### **2.1.2 Deslocamentos da Linha de Costa, Padrões de Empilhamento dos Sedimentos e Barreiras Costeiras**

De acordo com Catuneanu *et al.* (2011), a posição da linha de costa é efêmera, deslocando-se espacialmente através do tempo, sendo determinado os conceitos *transgressão* e *regressão* para definir, respectivamente, o deslocamento da linha de costa em direção ao continente e em direção à bacia (Curry, 1964; Mitchum, 1977; Bokuniewicz, 2005). No entanto, quando se refere ao preenchimento sedimentar e à arquitetura deposicional da bacia, ou seja, ao padrão de empilhamento dos sedimentos de acordo com o espaço de acomodação dessa

bacia e ao seu suprimento sedimentar, são utilizados os termos *progradação*, *retrogradação* e *agradiação* (Curry, 1964; Mitchum, 1977; Bertram, 2012).

A *progradação* refere-se ao deslocamento dos ambientes e sistemas deposicionais em direção à bacia, enquanto que a *retrogradação* corresponde ao deslocamento desses ambientes e sistemas em direção ao continente e a *agradiação*, por sua vez, ao empilhamento vertical de fácies e estabilização do sistema deposicional (Curry, 1964; Mitchum, 1977; Bertram, 2012). De acordo com Curry (1964) e Catuneanu *et al.* (2011), as mudanças no nível do mar acarretam mudanças no nível de base, o qual se refere à superfície teórica de referência abaixo da qual ocorre deposição e, acima da qual, erosão, visto que o nível do mar equivale ao nível mais baixo até onde a denudação do relevo continental pode ocorrer (Payton, 1977; Blum *et al.*, 2013). Logo, variações no nível do mar resultam em alterações na quantidade de espaço disponível para ser preenchido por sedimento e água, resultando em distintas respostas da linha de costa e dos ambientes e sistemas deposicionais (Curry, 1964; Catuneanu *et al.*, 2011).

De acordo com Curry (1964), Payton (1977), Catuneanu *et al.* (2011) e Blum *et al.* (2013), as transgressões ocorrem quando a taxa de elevação do nível do mar excede a taxa de sedimentação, ocasionando um aumento no espaço de acomodação; isto é, há uma tendência deposicional de retrogradação. As regressões, por sua vez, ocorrem associadas a uma queda no nível do mar (*regressão forçada*), na qual há tendência deposicional de progradação com degradação, ou associadas a uma superação da taxa de sedimentação face à elevação do nível do mar (*regressão normal*), onde ocorre progradação com agradiação. A linha de costa estacionária, por sua vez, não apresenta grandes deslocamentos ao longo do tempo, configurando intercalações de deslocamento sem uma resultante líquida (Curry, 1964; Payton, 1977; Catuneanu *et al.*, 2011; Blum *et al.*, 2013).

Segundo Catuneanu *et al.* (2011), a ocorrência de uma transgressão marinha pode não ser devido, necessariamente, ao aumento do nível do mar, podendo ser resultante de um balanço negativo de sedimento também, aplicando-se o mesmo para uma regressão, que pode ocorrer mesmo com o nível do mar subindo em função de um expressivo suprimento de sedimento. No caso das barreiras costeiras, por exemplo, a sua morfologia e o seu comportamento são primariamente

controlados pela relação entre o nível do mar (taxa de criação do espaço de acomodação) e o balanço de sedimentos (taxa de sedimentação ou de preenchimento desse espaço de acomodação), sendo o sistema praiial resultante dessa relação entre disponibilidade de sedimento e a subida ou descida do nível do mar (Roy *et al.*, 1994).

As barreiras costeiras correspondem ao principal elemento deposicional ou feição morfológica de costas dominadas por ondas com baixo gradiente de declividade, como é o caso da área de estudo, constituindo-se de depósitos lineares de sedimento inconsolidado (areia, cascalho, fragmentos de conchas e pequenas quantidades de matéria orgânica) paralelos à costa e constituídas a partir do retrabalhamento de sedimentos atuais e palimpséticos da plataforma continental (Dillenburg e Hesp, 2009). De acordo com Hesp e Short (1999), as barreiras costeiras são fundamentalmente formadas a partir de um substrato com declividade apropriadamente suave (entre  $0,05^\circ$  e  $0,8^\circ$ , com um ótimo em  $0,1^\circ$  segundo Roy *et al.*, 1994), sedimento disponível e ondas, oferecendo as margens continentais passivas (*Trailing edge coasts*) de Inman e Nordstrom (1971), situação da área de estudo também, abundante suprimento sedimentar e substrato com declividade suavizada (Dillenburg e Hesp, 2009).

Segundo Hesp e Short (1999) e Dillenburg e Hesp (2009), as barreiras costeiras possuem uma porção submersa (antepraia), uma porção parcialmente submersa-emersa de acordo com ondas e marés (no caso da área de estudo, dominada por ondas, há a praia e a zona de estirâncio que se encaixam nessa porção) e uma porção emersa (pós-praia e dunas). A morfologia e a extensão desses setores da barreira variam conforme o comportamento da linha de costa e da tendência do padrão de empilhamento sedimentar, ou seja, se a linha de costa é transgressiva e o padrão de empilhamento é retrogradante, se a linha de costa é regressiva e o padrão de empilhamento é progradante ou se a linha de costa é estacionária e o padrão de empilhamento é agradacional (Roy *et al.*, 1994; Dillenburg e Hesp, 2009).

De acordo com Roy *et al.* (1994), Hesp e Short (1999) e Dillenburg e Hesp (2009), é um consenso entre a comunidade científica internacional que a maior parte das barreiras costeiras modernas iniciou seu desenvolvimento durante a transgressão do Holoceno, sendo suas existência e suas posições atuais resultantes



da translação de outras barreiras pretéritas sobre a plataforma continental, a qual na época do UMG e subsequente a ele estava exposta e configurava-se como uma planície costeira. O modelo de deslocamento das barreiras sob esse cenário é de que a subida do nível do mar faz com que sedimentos da parte praias e marinhas sejam transferidos para a retaguarda da barreira, essa última localizando-se na porção terrestre desse sistema e agindo, por meio desses sedimentos transferidos, como uma base por onde os depósitos eólicos pudessem migrar (Roy *et al.*, 1994).

Conforme Carter (2013), Cooper *et al.* (2016b) e Cooper, Green e Loureiro (2018), as respostas morfológicas das barreiras arenosas à transgressão marinha correspondem à erosão da barreira, à agradação ou progradação da barreira (quando o suprimento sedimentar é maior do que a elevação marinha, característica da *regressão normal*), *rollover* ou rolamento da barreira (quando há manutenção do seu volume sedimentar) e *overstepping* ou afogamento da barreira (quando a feição é ultrapassada pela transgressão). No *overstepping*, o sistema de paleobarreira afogado é significativamente preservado na plataforma continental sobre a qual o mar transgrediu, ocorrendo esse tipo de resposta morfológica da barreira em função de uma combinação de fatores, como velocidade rápida na subida do nível do mar, suficiente cimentação da barreira antes de sua ultrapassagem pelo mar e granulometria mais grossa dos depósitos (Cooper *et al.*, 2016b; Cooper, Green e Loureiro, 2018).

No RS, as inúmeras variações do nível eustático e isostático ocorridas ao longo do Quaternário deixaram preservados quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira, afirmando Suguio *et al.* (2005) que o registro mais completo de eventos transgressivos anteriores a 120 ka AP está no RS com os sistemas Laguna-Barreira I e II, possuindo ambos ~400 e ~325 ka AP respectivamente conforme Villwock (1984), Villwock *et al.* (1986), Villwock e Tomazelli (1995) e Tomazelli e Villwock (2000). Segundo Lopes (2013), Lopes *et al.* (2010a, 2010b, 2010c, 2010d, 2013, 2014a e 2014b) e Rosa *et al.* (2017), as idades para esses dois sistemas Laguna-Barreira mais antigos correspondem a cerca de 325 ka AP para o sistema I e cerca de 200 ka AP para o sistema II, referindo-se aos estágios do isótopo de oxigênio 9 e 7e respectivamente (*Marine Isotope Stage - MIS9 e MIS7e*).

Os outros dois sistemas Laguna-Barreira do RS, Sistema III e Sistema IV, foram datados como pertencentes aos estágios do isótopo de oxigênio MIS5e e

MIS1 respectivamente, os quais correspondem aos eventos transgressivos de ~125 ka AP, no caso do Sistema III, e de ~7 ka AP, no caso do Sistema IV (Villwock, 1984; Villwock *et al.*, 1986; Villwock e Tomazelli, 1995; Tomazelli e Villwock, 2000; Lopes, 2013; Lopes *et al.*, 2010a, 2010b, 2010c, 2010d, 2013, 2014a e 2014b; Rosa *et al.*, 2017). O estudo de Dillenburg *et al.* (2019) identificou registros subsuperficiais de uma feição situada na região entre os sistemas Laguna-Barreira III e IV, da qual amostras foram coletadas e datadas em ~42 ka AP, sendo associada a um evento transgressivo referente, portanto, ao estágio do isótopo de oxigênio correspondente ao MIS3.

### **2.1.3 O Registro Sismoestratigráfico e as Variações no Nível do Mar**

O método sísmico é uma das formas de investigação geofísica, ou seja, indireta de um terreno, seja ele submerso ou não, através da propagação de ondas sísmicas (elásticas) geradas por meio de uma fonte acústica (Ayres Neto, 2000). A velocidade de propagação das ondas emitidas no pacote sedimentar analisado varia de acordo com o meio em que a onda acústica é propagada, ocorrendo a variação do comportamento dessa onda em função da variação da densidade dos meios onde ocorre a propagação, configurando-se uma diferença de impedância acústica (Blondel, 2009).

Esse contraste entre meios com diferenças de impedância acústica é registrado através da reflexão dessas interações que retornam à superfície da qual partiram as ondas sonoras, configurando a sísmica de reflexão o método que analisa essa interação, na qual quanto maior o contraste de impedância, maior o retorno do sinal, não ocorrendo reflexão das ondas acústicas em corpos extremamente homogêneos até que essas ondas encontrem obstáculos ou interfaces acústicas (Souza, 2006). Essas ondas operam em um espectro de frequência estipulado, o qual é determinado de acordo com a finalidade de estudo: frequências mais altas (de 500 Hz a 12 kHz), como a utilizada neste estudo (3,5 kHz), produzem registros de alta resolução e penetram as camadas rasas abaixo do fundo; frequências mais baixas apresentam comprimento de onda maior e, por conseguinte, a penetração chega a maiores profundidades no sedimento, diminuindo a resolução do registro e,

em ambos os tipos de frequência, gerando um sismograma com feições do fundo e subfundo (Judd e Hovland, 1992).

Na década de 1970, o advento da sismoestratigrafia foi proporcionado através de publicações de pesquisadores vinculados à *Exxon Production Research Company*, como em Payton (1977), onde tanto o paradigma da estratigrafia de seqüências, direcionado à compreensão dos estratos no que se refere à sua gênese deposicional, quanto o método sísmico aplicado a esse paradigma foram sistematizados. A metodologia sismoestratigráfica, por conseguinte, consiste no mapeamento subsuperficial de elementos arquiteturais equivalentes a sistemas deposicionais pretéritos, os quais são identificados através de padrões geométricos de terminação entre refletores, de discontinuidades entre eles - interrupções da impedância acústica e/ou das relações geométricas entre os estratos do pacote sedimentar - e de superfícies de inconformidades. Essas inconformidades referem-se a superfícies de descontinuidade representativas de hiatos deposicionais ou erosão entre uma seqüência sedimentar e outra, como ocorre com a discordância subaérea (Vail *et al.*, 1977; Mitchum *et al.*, 1977).

As seqüências sedimentares geneticamente relacionadas normalmente compreendem um conjunto de estratos concordantes que apresentam discordância com as seqüências subjacentes e sobrepostas, ou seja, elas são tipicamente delimitadas por inconformidades representadas por *onlap*, *downlap*, *toplap* ou *truncamento erosivo* (Kearey *et al.*, 2002), conforme é ilustrado na figura 3. Essa configuração entre as terminações dos refletores reflete os estágios evolutivos pelos quais o pacote sedimentar passou e preservou – ou não – o registro.

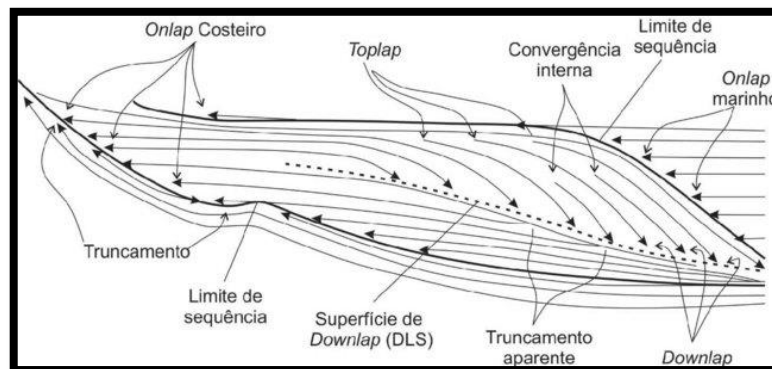


Figura 3: Diferentes tipos de padrões geométricos de terminação entre refletores sísmicos. Fonte: Severiano Ribeiro (2001).

Segundo Vail *et al.* (1977) e Mitchum *et al.* (1977), o padrão geométrico correspondente ao *onlap* é registrado, normalmente, nas terminações mais proximais dos depósitos, ou seja, para o lado do continente, refletindo retrogradações, enquanto que o padrão em *offlap* corresponde a cunhas progradaçãoais que acompanham a regressão forçada. De acordo com essas mesmas sistematizações conceituais, as terminações em *downlap* marcam progradações na base de unidades sedimentares para a direção distal, ou seja, para o lado contrário ao continente, enquanto que terminações em *toplap* correspondem a estratos inclinados contra superfícies sobrepostas em função de progradações também. Os *truncamentos erosivos*, por fim, representam terminações estratais contra superfícies erosivas sobrepostas, comumente refletindo um relevo irregular, cheio de vales e elevações (Vail *et al.*, 1977; Mitchum *et al.*, 1977).

O arcabouço teórico-metodológico da sismoestratigrafia contempla o paradigma da estratigrafia de sequências, no qual o ciclo de variação do nível de base configura-se como uma premissa básica, correspondendo esse último ao nível do mar (Payton, 1977; Blum *et al.*, 2013). De acordo com Vail *et al.* (1977), o preenchimento de uma bacia sedimentar é composto de diversas sequências deposicionais resultantes de ciclos completos de variação do nível de base, ou seja, de deslocamentos da linha de costa e/ou modificações nos padrões de empilhamento dos sedimentos dessa bacia. A figura 4 é um exemplo de mapeamento de sequências deposicionais nas quais foi verificada essa variação do nível do mar ao longo do tempo e correlacionada aos estágios isotópicos de Imbrie *et al.* (1984).

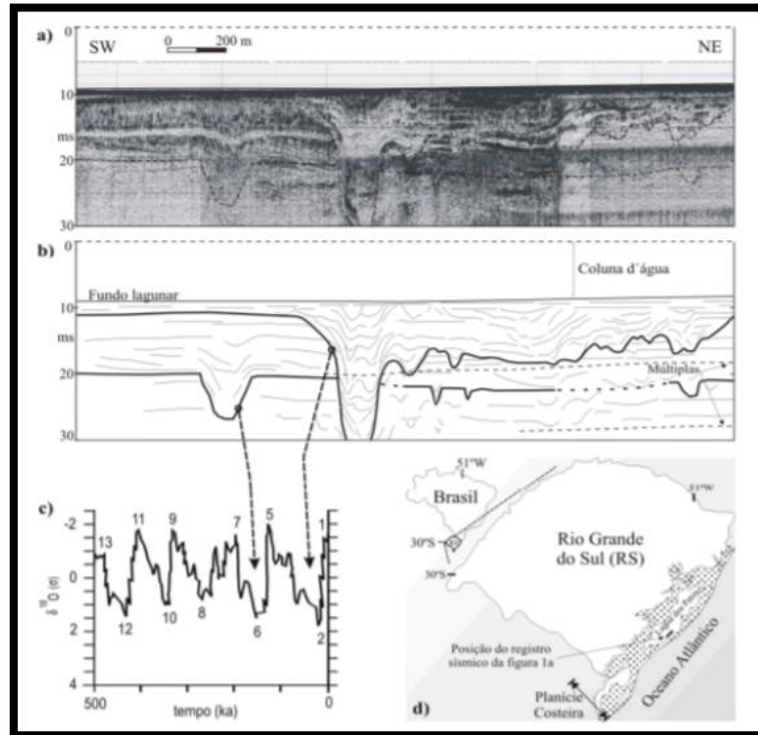


Figura 4: a) Registro sísmico de vales incisos no fundo da laguna dos Patos, no RS. b) Mapeamento sísmico do registro. c) Correlação com os estágios isotópicos do oxigênio de Imbrie *et al.* (1984). d) Localização da área de estudo. Fonte: Weschenfelder *et al.* (2008).

Em um ciclo completo de variação do nível de base, com base no registro composto por padrões geométricos de empilhamento dos depósitos sedimentares da bacia, ocorrem as fases deposicionais referentes à *regressão forçada*, à *regressão normal de nível baixo*, à *estabilização do nível eustático/isostático*, à *transgressão* e à *regressão normal de nível alto* (Vail *et al.*, 1977; Mitchum *et al.*, 1977). No decorrer de cada uma dessas fases, a relação entre as variações no nível do mar, a quantidade de espaço disponível e o suprimento sedimentar resultou em um determinado cenário ambiental, o qual pode ter sido ou não preservado por meio de padrões de empilhamento deposicional na bacia (Curry, 1964; Catuneanu *et al.*, 2011).

No estágio referente à *regressão forçada*, também denominado *estágio de queda*, os modelos de Mitchum *et al.* (1977), Vail *et al.* (1977) e Posamentier *et al.* (1992) mostram que há uma queda do nível eustático que supera as taxas de sedimentação na bacia, resultando na formação de superfícies de erosão ou de não deposição – denominadas de discordância subaérea – e em incisões fluviais

contínuas e profundas que truncam erosivamente os depósitos subjacentes. No caso da plataforma continental da bacia em questão, plataforma essa sob condições subaéreas, apresentar declividade suave ou se o nível marinho não desceu até o talude continental, a erosão fluvial não ocorrerá sob a forma de incisões, configurando-se uma erosão mais ampla e espalhada, sob a forma de escavações irregulares no terreno, denominada *bypass sedimentar* (Mitchum *et al.*, 1977; Vail *et al.*, 1977; Posamentier *et al.*, 1992).

Após esse estágio, o nível de base atinge sua posição mínima e configura-se a fase denominada de *regressão normal de nível baixo*, na qual ocorre um aumento na progradação iniciada durante a *regressão forçada*, aumento esse ocorrido pouco antes do início da criação de um novo espaço de acomodação (Mitchum *et al.*, 1977; Vail *et al.*, 1977; Posamentier *et al.*, 1992; Catuneanu *et al.*, 2011; Blum *et al.*, 2013). A criação desse novo espaço para acomodar a sedimentação ocorrerá até haver uma breve estabilização do nível de base e das taxas de deposição, configurando uma fase de *stillstand*, a qual antecederá a fase de *transgressão* e elevação do nível de base (Mitchum *et al.*, 1977; Vail *et al.*, 1977; Posamentier *et al.*, 1992).

A *transgressão* e consequente retrogradação dos sistemas deposicionais corresponde a essa subida do nível de base em função do aumento do espaço de acomodação em relação ao aporte sedimentar, tendo esse último estabilizado durante o *stillstand* seguinte à progradação da *regressão normal de nível baixo* (Curry, 1964; Mitchum *et al.*, 1977; Vail *et al.*, 1977; Posamentier *et al.*, 1992). Conforme Mitchum *et al.* (1977), Vail *et al.* (1977) e Posamentier *et al.* (1992), os vales incisivos formados na *regressão forçada* são afogados durante esse estágio transgressivo, tornando-se estuários até serem preenchidos por depósitos marinhos rasos, constituindo-se os seguintes cenários de *estabilização eustática/isostática* denominados *stillstand* e, posteriormente, iniciando-se a *regressão normal de nível alto*. Nesta última fase, é iniciada a progradação dos sistemas deposicionais em função de um aumento no suprimento sedimentar e que é sucedida pela *regressão forçada* ou *estágio de queda*, dando continuidade ao ciclo (figura 5).

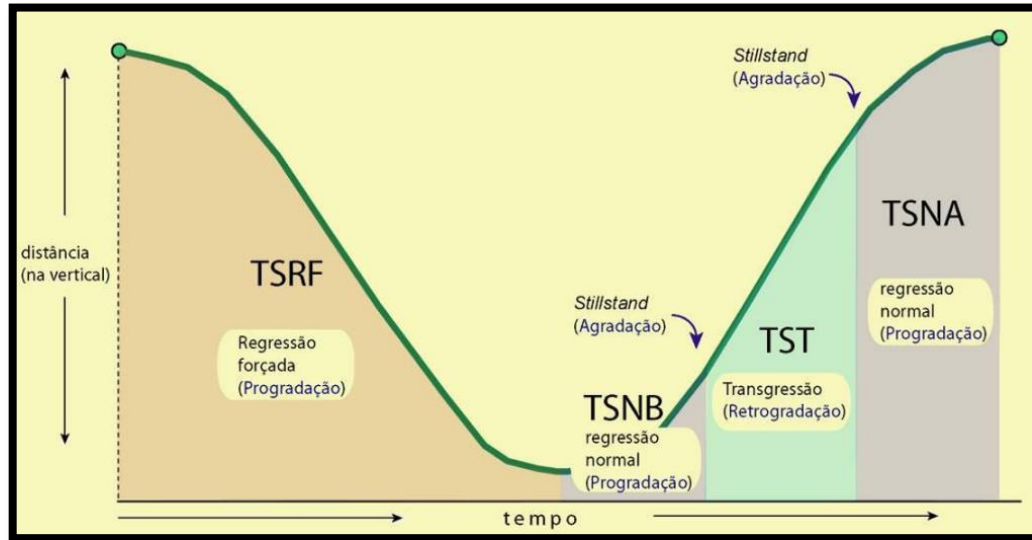


Figura 5: Ciclo de variação do nível de base e o regime sedimentar durante cada fase de desenvolvimento de uma seqüência deposicional. As siglas TSRF, TSNB, TST e TSNA correspondem, respectivamente, aos tratos de sistemas deposicionais de Regressão Forçada, de Nível Baixo, Transgressivo e de Nível Alto, resultantes do regime sedimentar desenvolvido em cada uma das fases do ciclo. Fonte: Holz (2012).

## Referências Bibliográficas

- Abreu, J. G. N.; Calliari, L. J. 2005. Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23(2), p. 123-132.
- Angulo, R. J. & Souza, M. C. 2014. Revisão Conceitual de Indicadores Costeiros de Paleoníveis Marinheiros Quaternários no Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 05(2): p. 01-32.
- Arendt, C. A.; Aciego, S. M.; Sims, K. W.; Das, S. B.; Sheik, C.; Stevenson, E. I. 2018. Influence of glacial meltwater on global seawater  $\delta^{234}\text{U}$ . *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 225, p. 102-115.
- Ayres Neto, A. 2000. Uso da Sísmica de Reflexão de alta resolução e da Sonografia na Exploração Mineral Submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18: p. 241-256.
- Bertram, G.T. 2012. Seismic and sequence stratigraphy analysis. In: Roberts, D.G. & Bally, A.W. (Eds.), *Regional Geology and Tectonics: Principles of Geologic Analysis*, Elsevier, Amsterdam, p. 345-375.

Bitencourt, V. J. B. D. 2019. *Fatores de controle na formação e evolução da barreira costeira holocênica no litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Blondel, P. 2009. *The Handbook of Sidescan Sonar*. Berlim: Springer. 354 p.

Blum, M.; Martin, J.; Milliken, K.; Garvin, M. 2013. Paleovalley systems: insights from Quaternary analogs and experiments. *Earth-Science Reviews*, 116, p. 128-169.

Bokuniewicz, H. 2005. Ingression, regression, and transgression. In: Schwartz, M.L. (Ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, p. 64-65.

Bortolin, E. C.; Weschenfelder, J.; Cooper, A. 2018. Incised valley paleoenvironments interpreted by seismic stratigraphic approach in Patos Lagoon, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 48(3), p. 533-551.

Bortolin, E.; Weschenfelder, J.; Cooper, A. 2019. Holocene Evolution of Patos Lagoon, Brazil: The Role of Antecedent Topography. *Journal of Coastal Research*, v. 35(2), p. 357-368.

Branner, J. C. 1904. The stone reef of Brazil, their geological and geographical relations, with a chapter on the coral reefs. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, v. 44, Geological Series, v. 7. Cambridge, Massachusetts, 285 p.

Cailleux, A. 1964. *Historia de la geologia*. Buenos Aires: Editorial Universitária de Buenos Aires.

Carraro, C. C.; Gamermann, N.; Eick, N. C.; Bortoluzzi, C. A.; Jost, H.; Pinto, J. F. 1974. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Série Mapas, n. 8.

Carter, R. W. G. 2013. *Coastal environments: an introduction to the physical, ecological, and cultural systems of coastlines*. Elsevier. 617 p.

Catuneanu, O.; Galloway, W. E.; Kendall, C. G.S T. C.; Miall, A. D.; Posamentier, H. W.; Strasser, A.; Tucker, M. E. 2011. Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy*, 44(3): p. 173-245.

Clark, P. U.; Dyke, A. S.; Shakun, J. D.; Carlson, A. E.; Clark, J.; Wohlfarth, B.; Mitrovica, J. X.; Hostetler, S. W.; McCabe, A. M. 2009. The last glacial maximum. *Science*, 325(5941), p. 710-714.

Comissão Internacional de Estratigrafia. 2020. *Tabela Cronoestratigráfica Internacional*. Volume 2017/02. Disponível em: [WWW.stratigraphy.org](http://WWW.stratigraphy.org). Acesso em 2020.



- Cooper, J. A. & Green, A. N. 2016a. Geomorphology and Preservation Potential of Coastal and Submerged Aeolianite: examples from Kwazulu-Natal, South Africa. *Geomorphology*, 271: p. 1-12.
- Cooper, J. A.; Green, A. N. Meirelles, R. P.; Klein, A. H.; Souza, J. & Toldo Jr., E. E. 2016b. Sandy barrier overstepping and preservation linked to rapid sea level rise and geological setting. *Marine Geology*, 382, p. 80-91.
- Cooper, J. A. G.; Green, A. N.; Loureiro, C. 2018. Geological constraints on mesoscale coastal barrier behaviour. *Global and Planetary Change*, 168, p. 15-34.
- Corrêa, I. C. S. 1987. Sedimentos superficiais da plataforma e talude continental do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 19(19): p. 95-104.
- Corrêa, I. C. S. 1996. Les variations du niveau de la mer Durant lês derniers 17.500 B.P.: l'exemple de la plateforme continentale du Rio Grande do Sul – Brésil. *Marine Geology*, 130, p. 163-178.
- Corrêa, I. C. S.; Ayup-Zouain, R. N.; Weschenfelder, J.; Tomazelli, L. J. 2008. Áreas fontes dos minerais pesados e sua distribuição sobre a plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina. *Pesquisas em Geociências*. v. 35, n. 1, p. 137-150.
- Corrêa, I. C. S.; Medeanic, S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Nunes, J. C.; Baitelli, R.; Santos-Fischer, C. B. 2013. Registro sedimentario del antiguo canal de desembocadura del Río de La Plata en la plataforma continental del sur de Brasil. *Revista Mexicana de Ciências Geológicas*, v. 30, n. 1, p. 51-64.
- Corrêa, I. C. S.; Medeanic, S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Nunes, J. C.; Baitelli, R. 2014. The Paleo-Drainage of the La Plata River in Southern Brazil Continental Shelf. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 32(2), p. 259-271.
- Crowley, T. J. & North, G. R. 1991. *Paleoclimatology*. Nova Iorque: Oxford University Press.
- Curry, J.R. 1964. Transgressions and Regressions. Miller, R. L. (Ed.), *Papers in Marine Geology*, New York, p. 175-203.
- Darwin, C. 1841. On a remarkable bar of sandstone off Pernambuco, on the coast of Brazil. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 19 (124): p. 257-260.
- Dillenburg, S. R.; Tomazelli, L. J.; Hesp, P. A.; Barboza, E. G.; Clerot, L. C. P.; Silva, D. B. 2006. Stratigraphy and evolution of a prograded, transgressive dunefield barrier in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39 (1): p. 132-135.
- Dillenburg, S. R. & Hesp, P. 2009. *Geology and Geomorphology Coastal Barriers of Brazil*. Springer. Lecture Notes in Earth Sciences. 398 p.

Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C.; Caron, F.; Cancelli, R.; Santos-Fischer, C. B.; Lopes, R. P.; Ritter, M. 2019. Sedimentary records of Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3) in southern Brazil. *Geo-Marine Letters*, p. 1-10.

Fairbanks, R. G. 1989. A 17.000 Year Glacio-Eustatic Sea Level Record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*. 342.6250: p. 637-642.

Fairbridge, R. W. 1962. World Sea Level and climatic changes. *Quaternaria*. 6: p. 111-134.

Ferreira Jr., A. V.; De Araújo, T. C. M.; Sial, A. N. 2013. Gênese dos arenitos de praia no litoral de Pernambuco interpretada através de estudos isotópicos. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 4, n, p. 1-2.

Garrison, T. 2010. *Fundamentos de oceanografia*. Tradução da 4ª. Ed. Norte-Americana, 1942. São Paulo: Cengage Learning. 480 p.

Gornitz, V. 2012. The Great Ice Meltdown and Rising Seas: lessons for tomorrow. *Science Briefs of NASA*. Disponível em: <https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/>. Acesso em agosto de 2019.

Green, A.; Cooper, A. G.; Leuci, R.; Thackeray, Z. 2013a. Formation and Preservation of an Overstepped Segmentd Lagoon Complex on a High Energy Continental Shelf. *Sedimentology*. 60, p. 1755-1768.

Green, A.; Dladla, N.; Garlick, L. 2013b. Spatial and Temporal Variations in Incised Valley Systems from the Durban Continental Shelf, Kwazulu-Natal, South Africa. *Marine Geology*. 335: p. 148-161.

Green, A.; Cooper, A; Salzmann, L. 2014. Geomorphic and Stratigraphic Signals of Postglacial Meltwater Pulses on Continental Shelves. *Geology*. 42.2: p. 151-154.

Hesp, P. A. 1999. The Beach Backshore and Beyond. Chpt. 6. *In: Short, A. (Editor). Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley, p. 145-170.

Hesp, P.A. & Short, A.D. 1999. Barrier morphodynamics. *In: Short, A. D. (Ed), Handbook of beach and shoreface morphodynamics*, John Wiley, p. 307-368 p.

Holz, M. 2012. *Estratigrafia de Sequências: Histórico, Princípios e Aplicações*. Rio de Janeiro, editora Interciência. 252 p.

Imbrie, J.; Hays, J. D.; Martinson, D. G.; McIntyre, A.; Mix, A. C.; Morley, J. J.; Pisias, N. G.; Prell, W. L.; Shackleton, N. J. 1984. *The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine d18O record*.

Inman, D. L. & Nordstrom, C. E. 1971. On the Tectonic and Morphologic Classification of Coasts. *The Journal of Geology*, vol. 79 (1971), p. 1-21.

- Judd, A.G. & Hovland, M. 1992. The evidence of shallow gas in marine sediments. *Continental Shelf Research*, 12, p. 1081–1095.
- Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*, 262 p.
- Lopes, R.; Buchmann, F. C. 2010a. Pleistocene mammals from the Southern Brazilian continental shelf. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 31, p. 17-27.
- Lopes, R.; Pereira, J. C. 2010b. Fossils of Scelidotheriinae Ameghino, 1904 (Xenarthra, Pilosa) in the Pleistocene deposits of Rio Grande do Sul, Brazil. *Gaea – Journal of Geoscience*, v. 6, p. 44-52.
- Lopes, R.; Pereira, J. C. 2010c. Um novo sítio paleontológico na planície costeira do Rio Grande do Sul. *In: Resumos do Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados*, 7, Rio de Janeiro: SBPV, p. 93.
- Lopes, R.; Oliveira, L. C.; Figueiredo, A. M. G.; Kinoshita, A.; Baffa, O.; Buchmann, F. S. C. 2010d. ESR dating pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Quaternary International*, v. 212, p. 213-222.
- Lopes, R. 2013. *Reconstituição Paleoclimática e Paleoambiental do Pleitoceno Tardio no Sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lopes, R.; Ribeiro, A. M.; Dillenburg, S. R.; Schultz, C. L. 2013. Late middle to late pleistocene paleoecology and paleoenvironments in the coastal plain of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, from stable isotopes in fossils of *Toxodon* and *Stegomastodon*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 369, p. 385-394.
- Lopes, R.; Dillenburg, S. R.; Schultz, C. L.; Ferigolo, J.; Ribeiro, A. M.; Pereira, J. C.; Holanda, E. C.; Pitana, V. G.; Kerber, L. 2014a. The sea level highstand correlated to marine isotope stage (MIS) 7 in the coastal plain of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *In: Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 4, p. 1573-1595.
- Lopes, R.; Kinoshita, A.; Baffa, O.; Figueiredo, A. M. G.; Dillenburg, S. R.; Schultz, C. L.; Pereira, J. C. 2014b. ESR dating of pleistocene mammals and marine shells from the coastal plain of Rio Grande do Sul state, Southern Brazil. *Quaternary International*, v. 352, p. 124-134.
- Masselink, G.; Castelle, B.; Scott, T.; Dodet, G.; Suanez, S.; Jackson, D.; Floc'h, F. 2016. Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophysical Research Letters*, 43(5), p. 2135-2143.

- Mayewski, P. A.; Rohling, E. E.; Stager, J. C.; Karlén, W.; Maasck, K. A.; Meeker, L. D.; Meyerson, E. A.; Gasse, F.; Van Kreveld, S.; Holmgren, K.; Lee-Thorp, J.; Rosqvist, G.; Rack, F.; Staubwasser, M.; Schneider, R. R.; Steig, E. J. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary research*, 62(3): p. 243-255.
- Mayewski, P. A.; Maasck, K. A.; Dixon, D.; Sneed, S. B.; Oglesby, R.; Korotkikh, E.; Potocki, M.; Grigholm, B.; Kreutz, K.; Kurbatov, A. V.; Spaulding, N.; Stager, J. C.; Taylor, K. C.; Steig, E. J.; White, J.; Bertler, N.; Goodwin, I.; Simões, J. C.; Jana, R.; Kraus, S.; Fastook, J. 2013. West Antarctica's sensitivity to natural and human-forced climate change over the Holocene. *Journal of Quaternary Science*, v. 28, p. 40-48.
- Milne, G. A.; Long, A. J.; Bassett, S. E. 2005. Modelling Holocene relative sea-level observations from the Caribbean and South America. *Quaternary Science Reviews*, 24(10-11), p. 1183-1202.
- Mitchum, R.M. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy. In: Payton, C.E. (Ed.), *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*, American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, p. 205-212.
- Nicholls, R. J.; Marinova, N.; Lowe, J. A.; Brown, S.; Vellinga, P.; De Gusmão, D.; Hinkel, J.; Tol, R. S. 2011. Sea-level rise and its possible impacts given a 'beyond 4 C world' in the twenty-first century. *Philosophical transactions of the Royal Society A: mathematical, physical and engineering sciences*, 369(1934), p. 161-181.
- O'Brien, S. R.; Mayewski, P. A.; Meeker, L. D.; Meese, D. A.; Twickler, M. S.; Whitlow, S. I. 1995. Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science*, 270(5244): p. 1962-1964.
- Payton, C. E. (Ed.). 1977. *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration* (Vol. 26, pp. 1-516). Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists.
- Peltier, W. R. 2002. On eustatic sea level history: Last Glacial Maximum to Holocene. *Quaternary Science Reviews*, v. 21, n. 1, p. 377-396.
- Posamentier, H. W.; Allen, G. P.; James, D. P.; Tesson, M. 1992. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration significance. *AAPG bulletin*, 76(11), p. 1687-1709
- Rosa, M. L. C. C.; Barboza, E. G.; Abreu, V. S.; Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R. 2017. High-frequency sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2): 183-207.
- Ruddiman, W. 2008. *Earth's Climate: past and future*. Nova Iorque: Freeman. 2<sup>a</sup> Ed, 465 p.

Schnack, E. & Pirazzoli, P. 1990. Quaternary Sea Level Changes. *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology (Global and Planetary Change Section)*. 82: p. 65-68.

Schwanck, F.; Simões, J.; Handley, M.; A. Mayewski, P.; Auger, J.; Bernardo, R.; E. Aquino, F. 2016. A 125-year record of climate and chemistry variability at the Pine Island Glacier ice divide, Antarctica. *The Cryosphere Discussions*, v. 10, p. 1-33.

Severiano R. & Jorge, H. 2002. *Estratigrafia de seqüências: fundamentos e aplicações* (No. 551.3. 051 EST), 428 p.

Simões, J. C. 1997. Por que o gelo antártico esta se rompendo? *Ciência Hoje*, São Paulo, v. 21, n. 126, p. 6-8.

Simões, J. C.; Ferron, F. A.; Aristarain, A. J.; Bernardo, R. T.; Stievenard, M.; Pourchet, M. 2004. Ice core study from the King George Island ice cap, South Shetlands, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 4, p. 9-23.

Souza, L. A. P. 2006. *Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de áreas submersas rasas*. São Paulo: Tese de Doutorado em Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo.

Stanford, J. D.; Hemingway, R.; Rohling, E. J.; Challenor, P. G.; Medina-Elizalde, M.; Lester, A. J. 2011. Sea Level Probability for the Last Deglaciation: a statistical analysis of far-field records. *Global Planet Change*, 79, p. 193-203.

Suguio, K.; Martin, L.; Bittencourt, A. C. S. P.; Dominguez, J. M. L.; Flexor, J. M.; Azevedo, A. E. G. 1985. Flutuações do Nível Relativo do Mar Durante o Quaternário Superior ao Longo do Litoral Brasileiro e suas Implicações na Sedimentação Costeira. *Revista Brasileira de Geociências*. 15(4): p. 273-286.

Suguio, K.; Angulo, R J.; Carvalho, A. M.; Corrêa, I. C. S.; Tomazelli, L. J.; Villwock, J. A.; Vital, H. 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. *In: Souza, C.; Suguio, K.; Oliveira, A.; De Oliveira, P. Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, p. 114-127.

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

Toldo Jr., E. E.; Almeida, L. E. S. B.; Martins, L. R. S.; Gruber, N. L. S.; Barros, C. E.; Nicolodi, J. L.; Farina, L.; Nunes, J.C. 2010. *Hidrodinâmica e sedimentologia das praias oceânicas do Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências: Contribuições. Porto Alegre, p. 299-316.

Tomazelli, J. L., Villwock, J. A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. *In: Holz, M. & De Ros, L. F. Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Ed. CIGO/UFRGS; 444p.

- Urien, C. M. & Martins, L. R. 1974. Sedimentos da plataforma continental sul americana entre Cabo Santa Marta (Brasil) e Terra do Fogo (Argentina). Parte 1. Texturas e Origem. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Anais...*, Porto Alegre, Brasil, 3: p. 213-223.
- Vail, P., Mitchum, R. M.; Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 4. Global cycles of relative changes of sea level. Section 2. *Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation*.
- Van Wagoner, J. C.; Mitchum, R. M.; Campion, K. M. & Rahmanian, V. D. 1990. *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies*.
- Villwock, J. A. 1984. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. *Pesquisas em Geociências*, v. 16, n. 5.
- Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J.; Loss, E. L.; Dehnhardt, E. A.; Horn filho, N.; Bachi, F. A.; Dehnhardt, B. A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, v. 4, p. 79-97.
- Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*. Porto Alegre, 8: p. 1-45.
- Weschenfelder, J., Corrêa, I. C., Toldo Jr., E. E. Jr., Baitelli, R. 2008a. Paleocanais Como Indicativo de Eventos Regressivos Quaternários do Nível do Mar no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26 (3): p. 367–375.
- Weschenfelder, J.; Medeanic, S.; Corrêa, I. C. S.; Aliotta, S. 2008b. Holocene paleoinlet of the Bojuru Region, lagoa dos Patos, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 24, p. 99.
- Zaitlin, B. A., Dalrymple, R. W.; Boyd, R. O. N. 1994. *The stratigraphic organization of incised-valley systems associated with relative sea-level change*.

**PARTE 2**

**ARTIGOS**

## **CAPÍTULO 3**



### **3 Indicadores da Posição do Nível do Mar e da Linha de Costa Durante o Quaternário na Bacia de Pelotas, Sul do Brasil**

Indicators of Sea Level and Shoreline Position During the Quaternary in the Pelotas Basin, Southern Brazil

Indicadores de la posición del nivel del mar e de la costa durante el Cuaternario em la cuenca de Pelotas, Sur de Brasil

*Ana Rita Oliveira Hahn<sup>1</sup> & Jair Weschenfelder<sup>1,2</sup>*

- <sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- <sup>2</sup> Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

#### **Resumo**

O objetivo deste trabalho consiste em uma revisão crítica acerca dos indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras submersos na plataforma continental do Rio Grande do Sul (RS), analisando-se sua aplicabilidade no estudo evolutivo da bacia sedimentar de Pelotas. A metodologia consistiu em levantamento bibliográfico sobre a evolução dessa plataforma durante o Quaternário Superior, analisando-se os indicadores de variação do nível do mar utilizados nesses estudos. A pesquisa constatou que há um maior número de indicadores de variação espacial horizontal do que vertical das oscilações eustáticas, tanto de origem geológico-geomorfológica, quanto biológica. Ambos os tipos apresentam análogos na Planície Costeira do RS, como terraços em margens lagunares e na plataforma continental, possuindo esses significativa resolução vertical e aplicabilidade na área de estudo, assim como os parais situados em distintas profundidades. Os indicadores de variação horizontal associados aos paleoambientes tipo laguna-barreira foram interpretados como de alta aplicabilidade na plataforma continental do RS, possuindo como análogos os sistemas laguna-barreira da planície costeira

adjacente. Da mesma forma, os paleocanais e vales incisos identificados na zona costeira do RS, incluindo plataforma continental e planície costeira, constituem-se em indicadores de elevada aplicabilidade na bacia de Pelotas.

**Palavras-chave:** Plataforma Continental, Último Máximo Glacial, Transgressão Holocênica.

### **Abstract**

The objective of this paper is to do a critical review about the applicability of the indicators of sea level variation that are submerged in the Rio Grande do Sul (RS) State continental shelf, within the Pelotas sedimentary basin. The methodology includes a bibliographic research about the Upper-Quaternary evolution of the Pelotas basin continental shelf in order to analyze the indicators of sea level variation used in these previous studies. This research found more indicators of horizontal than vertical spatial eustatic variation, for both geologic-geomorphological and biological origin. These two types of indicators have analogues at RS Coastal Plain, as terraces in lagoon margins and in continental shelf. These terraces show highly vertical resolution and applicability in the study area, as biotrititic deposits that are located in different depths. The indicators associated to paleoenvironments that are corresponding to barrier-lagoon systems and that have a high horizontal resolution were interpreted as highly applicable in the RS State continental shelf. These indicators have as their analogues the barrier-lagoon systems at adjacent coastal plain. Similarly, the paleochannels and incised valleys identified in RS coastal zone, including continental shelf and coastal plain, are highly applicability indicators in the context of the Pelotas basin.

**Keywords:** Continental Shelf, Last Glacial Maximum, Holocene Transgression.

### 3.1 Introdução

Ao redor da Terra, reconstruções paleoambientais e do comportamento eustático e isostático são efetuadas desde a Antiguidade até hodiernamente (Angulo e Souza, 2014). No atual cenário internacional, onde relações entre países economicamente centrais, emergentes e periféricos estão sendo pautadas com base em políticas voltadas à mitigação de mudanças ambientais globais, a compreensão acerca do comportamento do oceano torna-se um dos focos de interesse mundial.

O comportamento do nível relativo do mar ao longo da costa brasileira durante a transgressão subsequente ao Último Máximo Glacial (UMG), mais precisamente nos últimos 7 mil anos (ka) Antes do Presente (AP), apresentou máximos transgressivos variáveis entre os setores analisados (Suguio *et al.*, 2005). Segundo o modelo de Suguio *et al.* (2005), o comportamento isostático médio na costa brasileira apresentou seu máximo transgressivo entre, aproximadamente (~), 7 ka e 5,5 ka AP, tendo o nível relativo do mar iniciado seu rebaixamento até a posição atual a partir de ~5 ka AP, rebaixamento esse intercalado com subidas e descidas secundárias (Suguio e Tessler, 1984; Suguio *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1998; Martin, 2003).

No decorrer dessas fases transgressivas e regressivas, paleocenários desenvolveram-se e desapareceram, sendo sua existência preservada na forma de indicadores de paleoníveis marinhos - correspondentes às variações verticais do nível relativo do mar - e de paleolinhas costeiras, que refletem o deslocamento horizontal da linha de costa resultante dessas variações verticais (Angulo e Souza, 2014). O estudo de Martin (2003) classificou os indicadores de acordo com a sua origem, dividindo-os em sedimentológicos, biológicos, arqueológicos e isotópicos (datações). Na classificação proposta por Suguio *et al.* (2005), os indicadores são divididos em geológicos, biológicos e pré-históricos, sendo os geológicos referentes aos geomorfológicos propostos por Angulo e Souza (2014) e aos sedimentológicos de Martin (2003), enquanto que os pré-históricos equivalem aos arqueológicos de Angulo e Souza (2014) e de Martin (2003).

Este trabalho desenvolve uma revisão crítica acerca dos indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras do Pleistoceno Superior e do Holoceno Inferior que se encontram submersos na porção referente ao RS da Bacia

Sedimentar de Pelotas, mais precisamente na plataforma continental. Através da classificação desses indicadores no que se refere a sua origem, ou seja, se são geológico-geomorfológicos, biológicos e/ou arqueológicos ou pré-históricos, não apenas o contexto paleogeográfico e paleoambiental reconstruído por meio do uso deles é analisado, como também sua aplicabilidade no contexto evolutivo da Bacia de Pelotas é avaliada, identificando-se sua precisão face às características geológicas e geográficas da área de estudo e contribuindo com o estudo da evolução eustática dessa região durante os últimos 20 ka AP.

### **3.2 Área de Estudo**

A área refere-se ao setor correspondente ao RS da porção submersa, mais precisamente a plataforma continental até a isóbata aproximada de 150 m, da bacia sedimentar de Pelotas (Figura 1). Essa bacia é limitada pela bacia de Santos ao norte, no Alto de Florianópolis, e pela bacia de *Punta Del Este* ao sul, no Alto de Polônio, território uruguaio (Batista, 2015), sendo a isóbata de 3000 m o seu limite batimétrico aproximado.

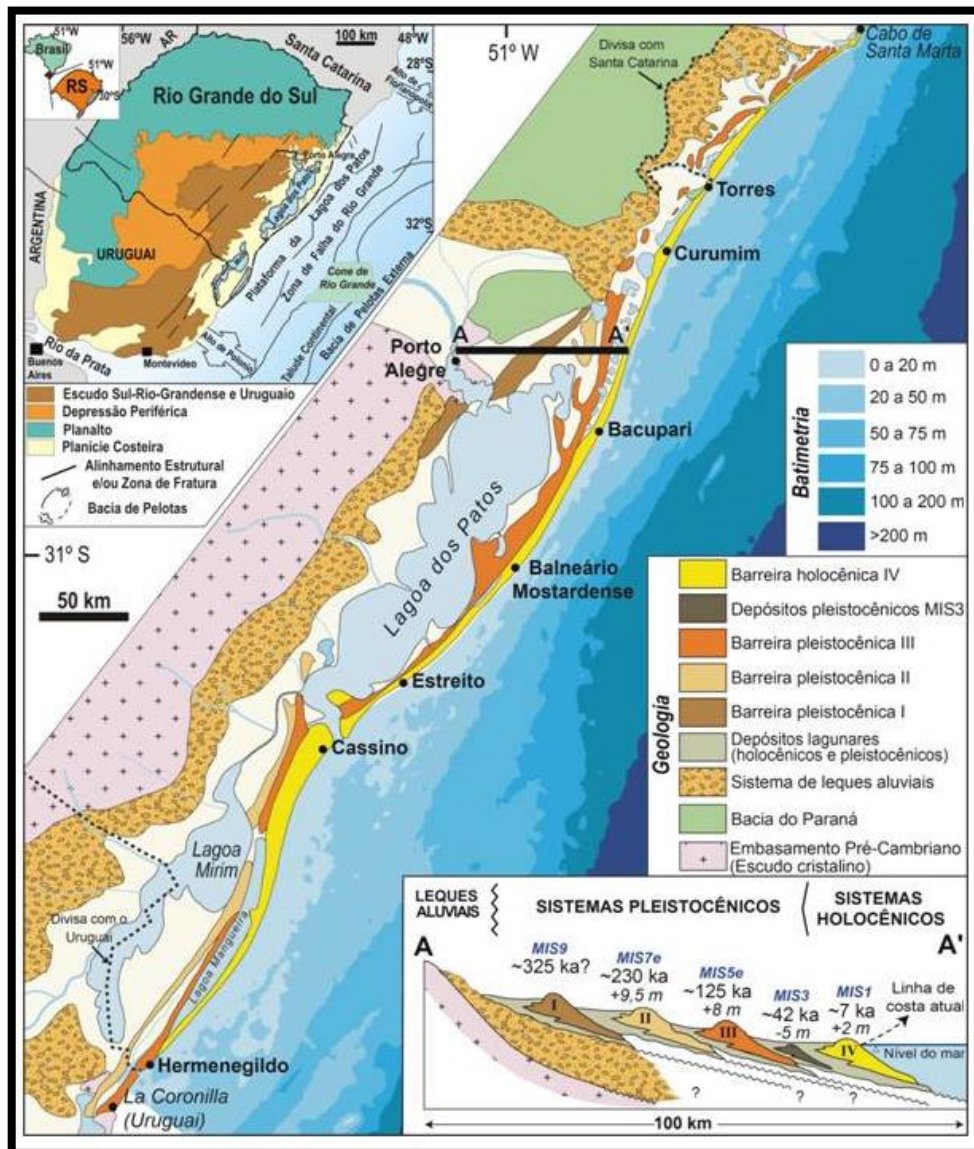


Figura 1: Mapa de situação com a fisiografia e as principais estruturas geológicas do embasamento e da bacia de Pelotas (modificado de Carraro *et al.*, 1974 e Corrêa, 1987). Mapa geológico simplificado da porção emergida da bacia de Pelotas, mostrando uma barreira costeira holocênica contínua e cronocorrelata que se estende longitudinalmente entre o Cabo de Santa Marta (Santa Catarina) e La Coronilla (Uruguai). O perfil transversal A-A' corresponde à seção geológica esquemática apresentada na porção inferior da figura, a qual mostra a barreira associada ao estágio do isótopo de oxigênio (*Marine Isotope Stage* - MIS3) por Dillenburger *et al.* (2019), identificada em outros setores da Planície Costeira do RS. Modificado de Bitencourt *et al.* (2020b).

A margem continental que integra a área de estudo apresenta o tipo de costa que Inman e Nordstrom (1971) denominaram de *trailing edge coast*. Segundo esses autores, na classificação dos tipos de costa conforme sua configuração tectônica, o modelo *trailing edge coast* corresponde às costas desenvolvidas ao longo de

margens continentais do tipo passivas, podendo ser do tipo *Amero-trailing edge coast* ou *Afro-trailing edge coast*. A margem continental brasileira é, inteiramente, do tipo *Amero-trailing edge coast*, apresentando um alto suprimento sedimentar oriundo do aporte advindo dos sistemas de drenagem fluviais que drenam o continente no sentido oposto à localização do cinturão orogenético andino (Inman & Nordstrom, 1971).

A bacia sedimentar de Pelotas, formada durante a fragmentação do supercontinente Gondwana entre o final do Mesozoico e início do Cenozoico, apresenta uma porção submersa e outra emersa, tendo sido a morfologia de ambas as porções esculpidas, principalmente, no decorrer das oscilações climáticas do período Quaternário. Durante essas oscilações, estágios mais frios e secos e estágios mais quentes e úmidos alternaram-se e resultaram, respectivamente, em regressões e transgressões marinhas (Peltier, 2002), retrabalhando-se os sedimentos costeiros e desenvolvendo os subambientes que compõem a paisagem da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRGs). Exemplos desses ambientes são as barreiras arenosas (Figura 1), restingas, lagoas e lagunas, pântanos, baixios úmidos, campos de dunas frontais e transgressivos, entre outros (Tomazelli e Villwock, 2005).

### **3.3 Materiais e Métodos**

Para o presente estudo, efetuou-se um levantamento bibliográfico acerca de trabalhos referentes à evolução da bacia de Pelotas durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno, enfatizando-se as pesquisas sobre a variação eustática no setor da bacia correspondente à plataforma continental do RS durante o UMG e a transgressão marinha subsequente a essa glaciação. Através dessas pesquisas, os indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras utilizados por elas foram identificados, analisados e classificados conforme os critérios estabelecidos pelo presente estudo.

A análise e classificação dos indicadores seguiram critérios referentes à sua resolução horizontal e vertical, sendo o primeiro concernente à possibilidade de registro, ao longo da área atualmente submersa, de paleolinhas costeiras

decorrentes de avanços e recuos do nível relativo do mar e a segunda, por sua vez, referente à possibilidade de registro de subidas e descidas do nível marinho em uma escala altimétrica. A partir disso, avaliou-se a aplicabilidade do indicador no contexto evolutivo e geográfico da plataforma continental do RS durante o período analisado, desenvolvendo-se uma tabela onde essas considerações são explanadas.

### **3.4 Resultados**

Os resultados estão divididos em indicadores de natureza geológico-geomorfológica e em indicadores de natureza biológica, não tendo sido identificados estudos acerca de indicadores arqueológicos ou pré-históricos de níveis marinhos abaixo do atual na plataforma continental do RS. No que se refere ao tipo de indicador no qual datações radiocarbônicas inserem-se, estabeleceu-se como critério que elas não serão consideradas nem indicadores geológico-geomorfológicos, nem biológicos, esses últimos contemplando análises paleoecológicas, microfaunísticas e macrofaunísticas.

#### **3.4.1 Indicadores Geológico-Geomorfológicos**

Os indicadores de natureza geológica e geomorfológica da posição relativa do nível do mar e da linha de costa foram assim classificados em função das conceituações de Martin (2003), de Suguio *et al.* (2005) e de Angulo e Souza (2014), tendo a primeira conceituação denominado-os como sedimentológicos e a segunda, por sua vez, apenas como geológicos. A classificação de Angulo e Souza (2014), mais ampla, detalhou esses indicadores como sendo erosivos e/ou deposicionais, sendo exemplos deles encontrados na PCRGS e indicativos de níveis isostáticos acima do nível atual, como os entalhes marinhos de abrasão nos afloramentos basálticos na praia de Torres (do tipo erosivo) e as planícies lagunares adjacentes às barreiras costeiras ao longo da costa do RS (do tipo deposicionais).

O quadro 1 mostra indicadores de natureza geológico-geomorfológica atualmente submersos na plataforma continental do RS e que representam níveis marinhos abaixo do atual. Assim como os indicadores classificados por Angulo e

Souza (2014) como erosivos ou deposicionais, esses indicadores no quadro 1 apresentam gênese variada, tendo sido identificados tanto elementos advindos da erosão do substrato em função do ravinamento por ondas (como terraços), quanto indicadores formados através de dinâmica deposicional (como feições lagunares submersas).

Quadro 1: Indicadores geológico-geomorfológicos de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras abaixo do nível relativo do mar atual na plataforma continental do RS.

<b>Estudo</b>	<b>Indicador(es)</b>	<b>Contexto Evolutivo</b>	<b>Resolução</b>
Martins <i>et al.</i> (1967), Pomerancblum e Costa (1972)	Depósitos de minerais pesados na plataforma continental do RS	Ambientes fluvio-deltaicos relacionados a drenagens pleistocênicas	Horizontal
Urien (1970)	Paleocanais na plataforma continental do RS, Uruguai e Argentina	Drenagem pleistocênica do rio da Prata	Horizontal
Martins <i>et al.</i> (1973) e Martins (1999)	Sedimentos superficiais da plataforma continental do RS	Fase regressiva referente ao UMG e transgressão subsequente como fonte dos sedimentos e do seu retrabalhamento	Horizontal
Martins <i>et al.</i> (1972a, 1972b, 1978 e 2003), Urien e Martins (1974), Corrêa <i>et al.</i> (1987), Martins (1978), Martins e Urien (1979), Martins e Corrêa (1996) e Corrêa e Villwock (1996)	Sedimentologia da margem continental do RS	- Fase regressiva referente ao UMG e transgressão subsequente como fonte dos sedimentos terrígenos, advindos de deltas, rios, estuários, marismas e linhas de praia;  - Lama oriunda do rio da Prata durante o UMG.	Horizontal
Kowsmann e Costa (1974), Kowsmann <i>et al.</i> (1977) e Kowsmann e De Ataíde (1979)	Análise sedimentológica da plataforma e do talude continentais do sul do Brasil  *Datações por $^{14}\text{C}$ de conchas	Drenagem do rio da Prata durante o UMG e escarpas de cordões litorâneos formados durante a transgressão subsequente	Horizontal
Zembruski (1979)	Geomorfologia da plataforma continental SE e S do Brasil: de Florianópolis à Mostardas e do Cone de Rio Grande	Irregularidade do relevo no Cone de Rio Grande associada a períodos de estabilização marinha durante a transgressão holocênica	Vertical



Corrêa e Abreu (1984) e Corrêa (1987)	Sedimentos superficiais e profundos da plataforma e do talude continentais entre Rio Grande e Torres  *Datação por $^{14}\text{C}$ de material biodetrítico	Contribuição terrígena de drenagens fluviais durante o UMG, presença de biodetritos desgastados em paleoambientes de alta energia (praias) e sequências transgressivas em amostras.	Horizontal
Martins (1984)	Sedimentologia e mineralogia do Cone de Rio Grande	Sequência tipicamente progradacional (apesar dos movimentos descendentes do tipo gravitacional aos quais foi submetida), refletindo vinculação à drenagem pleistocênica do rio da Prata no UMG	Horizontal
Calliari e Abreu (1984)	Depósito arenoso terrígeno (típico de ambiente fluvial) próximo à desembocadura da laguna dos Patos, na plataforma continental	Possíveis paleocanais do período de nível do mar mais baixo do que o atual, antes ou durante a transgressão subsequente ao UMG	Horizontal
Corrêa (1986)	Terraços na plataforma continental do RS	Terraços de curtos períodos de estabilização durante a transgressão após o UMG	Vertical
Dillenburger (1987)	Camadas sedimentares progradantes na zona de quebra da plataforma continental do RS	Paleodelta pleistocênico na atual zona de quebra da plataforma, provavelmente construído durante o UMG	Horizontal
Calliari <i>et al.</i> (1994)	Parcel do Carpinteiro, na plataforma continental interna do RS	<i>Beachrocks</i> associados a depósitos biodetríticos com características semelhantes às areias das praias e dunas atuais da PCRGS, sendo um possível paleoambiente praial.	Vertical
Corrêa (1990, 1994 e 1996)	Rupturas da pendente na plataforma continental do RS e sedimentos biodetríticos grosseiros associados às rupturas  *Datação em $^{14}\text{C}$ de conchas	Registros de estabilizações do nível isostático durante a transgressão após o UMG (possível maior velocidade de transgressão marinha na porção sul da plataforma do que na porção norte, tendo preservado essas feições mais ao sul)	Vertical

Corrêa <i>et al.</i> (1996) e Martins <i>et al.</i> (1996)	Sedimentos superficiais nas rupturas na pendente identificadas na plataforma continental do RS	Idem à Corrêa (1987) e à Corrêa (1990, 1994 e 1996)	Vertical
Martins <i>et al.</i> (2005)	Depósitos sedimentares plataformais do RS, do Uruguai e da Argentina (até Terra do Fogo)	Gênese, primeiramente, alóctone e oriunda dos ambientes deposicionais desenvolvidos durante o UMG e a transgressão subsequente	Horizontal
Abreu e Calliari (2005)	Dois refletores subsuperficiais interpretados como um paleocanal, na plataforma continental interna de Mostardas à desembocadura da laguna dos Patos	Paleocanal associado ao rio Camaquã durante o UMG e transgressão subsequente	Horizontal
Corrêa <i>et al.</i> (2008)	Minerais pesados na plataforma continental do RS, norte da Argentina e Uruguai	Ambientes de influência praiar e/ou fluvial pretérita, essas últimas correspondentes a drenagens da última fase regressiva (principalmente à do rio da Prata e de seus tributários e às dos rios Cebolatti, Jaguarão, Piratini, Camaquã e Jacuí)	Horizontal
Goulart (2010)	Sedimentologia na região do Banco Capela, ao sul do Farol da Conceição	Ambiente estuarino na região do Banco Capela sob condições de nível isostático abaixo do atual, ou durante o UMG, ou no decorrer da transgressão holocênica	Vertical
Paixão (2012)	Distribuição faciológica na plataforma, talude e de parte da elevação continental do RS	Fácies arenosa oriunda de paleocanais fluviais e cascalhosa advinda de paleolinhas de praia, ambas formadas sob condições regressivas do UMG e da transgressão subsequente	Horizontal
Terra (2013)	Paleocanais e bolsões de gás nos pacotes sedimentares subsuperficiais na plataforma continental entre o Estreito e a Barra do Rio Grande/RS	Drenagem pleistocênica e holocênica do rio Camaquã e de seus distributários, em direção ao Cone de Rio Grande (contribuindo para sua formação)	Horizontal
Corrêa <i>et al.</i> (2013a e 2014a)	Paleocanal do norte da plataforma	Drenagem do rio da Prata ou durante o UMG, ou durante o início da transgressão holocênica	Horizontal

	continental do Uruguai até o Farol Sarita, na plataforma continental do RS	(morfologia do paleocanal mais suavizada ao norte, indicando diferença na velocidade de transgressão)	
Rocha <i>et al.</i> (2014)	Paleocanal do Albardão, na plataforma continental interna entre o Chuí e a desembocadura da laguna dos Patos/RS	Paleoalbardão como parte de um sistema de paleolagunas costeiras (grande magnitude geográfica da feição) durante fase regressiva do UMG ou no decorrer da transgressão holocênica	Horizontal
Camargo (2015)	Feições subsuperficiais na plataforma continental da bacia de Pelotas adjacente ao RS e SC	Prováveis feições do período isostático regressivo e da transgressão subsequente ao UMG: rios da Prata, Piratini, Jaguarão, Treinta y Três, Camaquã, Tubarão e Araranguá, barreira arenosa associada a uma lagoa, depósito praial originado pelo afogamento do rio Piratini e depósitos costeiros referentes à paleolinhas de costa formadas durante a transgressão	Horizontal
Melo (2017)	Feições subsuperficiais na porção norte da plataforma continental do RS.	Cenários do Holoceno Médio (~8,5 ka AP), quando o nível isostático era regressivo: paleodrenagens dos rios Cardoso, Três Forquilhas e Mampituba	Horizontal
Hahn <i>et al.</i> (2020a)	Vales incisos e paleocanais no setor sul da plataforma continental do RS	Sistemas de drenagem dos rios Jacuí, Camaquã, Piratini, Jaguarão e Prata no UMG e durante a transgressão subsequente.	Horizontal
Hahn <i>et al.</i> (2020b)	Altos topográficos soterrados no setor sul da plataforma continental do RS	Barreiras costeiras associadas a corpos lagunares em cenários ambientais durante o UMG e a transgressão subsequente.	Horizontal

### 3.4.2 Indicadores Biológicos

Os indicadores de natureza biológica do nível relativo do mar e da linha de costa foram detalhados por Angulo e Souza (2014) como sendo biofácies estratigráficas, fósseis associados a costões rochosos e/ou recifes construídos por algas e/ou corais, correspondendo as biofácies estratigráficas a fósseis *in situ* ou a

bioclastos. No quadro 2, indicadores de natureza biológica atualmente submersos na área de estudo e indicativos de níveis marinhos regressivos apresentam-se como biofácies estratigráficas, caracterizando-se tanto como fósseis *in situ* (como os parciais), quanto como bioclastos em alguns setores. Alguns fósseis *in situ* correspondem, por sua vez, a microfósseis através dos quais análises paleoecológicas e microfaunísticas podem ser feitas, auxiliando na reconstrução paleoambiental de cenários regressivos.

Quadro 2: Indicadores biológicos de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras abaixo do nível relativo do mar atual na plataforma continental do RS.

Estudo	Indicador(es)	Contexto Evolutivo	Resolução
Vicalvi (1977)	Análise faunística de sedimentos da plataforma e do talude continentais do RS  *Datação por $^{14}\text{C}$ de material biotrófico	Assembléias bentônicas de moluscos e de foraminíferos típicas de ambientes estuarinos e lagunares desenvolvidos na fase regressiva do UMG e, predominantemente, durante a transgressão holocênica	Horizontal
Madeira-Falcetta <i>et al.</i> (1980)	Foraminíferos e radiolários da plataforma e do talude continentais do RS	Assembléias típicas de ambientes estuarinos e lagunares, possivelmente formados durante a transgressão holocênica	Horizontal
Lorscheitter (1988 e 1989)	Palinóforos de sedimentos pleistocênicos e holocênicos do Cone de Rio Grande	Esporos de briófitos e de pteridófitos típicos de ambientes secos e/ou paludiais adjacentes a corpos lacustres, possivelmente formados durante o UMG	Horizontal
Asp Neto (1999)	Análise paleoecológica de foraminíferos da plataforma continental do RS	Sistema laguna-barreira na profundidade de -20/-25 m (sedimentos lagunares e praias) e terraço de estabilização marinha a -10/-13m (sedimentos lagunares e <i>beachrocks</i> ), ambos desenvolvidos durante a transgressão holocênica	Horizontal (laguna-barreira) e Vertical (terraço)
Buchmann <i>et al.</i> (2001)	Parcel do Carpinteiro, na plataforma continental interna do RS	Gênese do parcel associada a um ambiente deposicional de alta energia, provavelmente próximo a uma zona de arrebenção durante a transgressão holocênica	Vertical
Buchmann (2002)	Parciais em distintas profundidades da plataforma continental do RS  *Datação por	Parciais como prováveis paleolinhas de praia atualmente submersas e com idades distintas,	Vertical

	<p>Termoluminescência/Luminescência Ópticamente Estimulada (LOE) de altos topográficos;</p> <p>*Datação por <math>^{14}\text{C}</math> de conchas e de areia lamosa com matéria orgânica.</p>	<p>porém todas desenvolvidas em estabilizações isostáticas durante a transgressão holocênica</p>	
Gruber (2002)	<p>Parcel de Capão de Canoa, na plataforma continental interna do RS</p>	<p>Gênese do parcel associada a um ambiente deposicional de alta energia, provavelmente próximo a uma zona de arrebentação durante a transgressão holocênica</p>	Vertical
Martins e Martins (2004)	<p>Turfa em testemunhos da plataforma continental do RS</p>	<p>Antigas linhas de praia e ambientes associados desenvolvidos durante estabilizações da transgressão holocênica</p>	Horizontal
Lopes e Buchmann (2011)	<p>Fósseis de mamíferos terrestres pleistocênicos (alguns da Megafauna Extinta) das porções Central e Sul da plataforma continental do RS</p>	<p>Ambiente terrestre de pastagem durante período de nível marinho abaixo do atual, provavelmente no UMG, na atual plataforma continental adjacente aos setores onde foram coletados, tendo sido uma parte transportados para esses setores por drenagens pretéritas</p>	Horizontal
Erthal (2012)	<p>Padrões tafonômicos em depósitos bioclásticos na plataforma continental do RS</p>	<p>Reconhecimento de duas províncias bioclásticas: a província Norte (do norte do Litoral Médio do RS à plataforma continental adjacente à ilha de Florianópolis) e a província Sul (ao sul da desembocadura da laguna dos Patos), apresentando essa última características de exposição subaérea</p>	Horizontal
Corrêa <i>et al.</i> (2013a e 2014a)	<p>Palinologia de um paleocanal do norte da plataforma continental do Uruguai até o Farol Sarita, na plataforma continental do RS</p>	<p>Drenagem do rio da Prata durante o UMG ou do início da transgressão (base com sedimentos de retrabalhamento costeiro e, indo pro topo, palinomorfos estuarinos e marinhos)</p>	Horizontal
Corrêa <i>et al.</i> (2013b, 2014b e 2015)	<p>Turfa na plataforma continental do RS adjacente ao Farol Sarita</p> <p>*Datação por <math>^{14}\text{C}</math> da camada de turfa</p>	<p>Planície de inundação do rio Camaquã ou do rio Jaguarão durante estabilização do nível isostático na transgressão marinha holocênica</p>	Horizontal

Oliveira (2017)	Gás na plataforma continental do RS	Gás possivelmente biogênico oriundo da degradação de matéria orgânica depositada em ambientes de nível isostático regressivo anterior à transgressão holocênica	Horizontal
Ritter <i>et al.</i> (2017a, 2017b e 2019) e Ritter (2018)	Assembleias fósseis em distintas profundidades da plataforma continental do RS  *Datação por racemização de aminoácidos	Intervalo sem registro fóssil entre conchas de ~6ka AP e ~40ka AP, indicando possíveis condições subaéreas em setores da plataforma nesse intervalo, coincidente com o UMG	Horizontal

### 3.5 Discussão

O amplo levantamento bibliográfico realizado foi possível através de um minucioso estudo acerca da evolução da bacia sedimentar de Pelotas durante o Quaternário Superior, mais precisamente no Pleistoceno Superior e Holoceno. Esse estudo evolutivo foi fundamental para a compreensão dos elementos utilizados para a reconstrução paleoambiental e das variações do nível relativo do mar ocorridas durante esse período, tornando possível a revisão crítica dos indicadores utilizados nas pesquisas sobre o Quaternário Superior da costa do RS e sua sistematização no presente trabalho.

A análise dos quadros 1 e 2 indicam um maior número de indicadores cuja resolução espacial é horizontal em relação àqueles de resolução vertical, tanto geológico-geomorfológicos, quanto biológicos. Os indicadores na área de estudo cuja resolução é vertical correspondem ao registro de estabilizações marinhas na geomorfologia do Cone de Rio Grande (Zembruski, 1979), os terraços que marcam essas estabilizações de Corrêa (1986, 1990, 1994 e 1996), Corrêa *et al.* (1996) e Martins *et al.* (1996) – alguns com análise de foraminíferos - e os parciais em distintas profundidades de Calliari *et al.* (1994), Goulart (2010), Buchmann (2002), Buchmann *et al.* (2001) e Gruber (2002), alguns desses estudos analisando os parciais associados a bancos arenosos paralelos à atual linha de costa.

No estudo de Buchmann (2002), as condições tafonômicas dos bioclastos fósseis componentes dos parciais da antepraia e da plataforma continental interna do RS possibilitaram a classificação desses depósitos em parciais ativos, intermediários

e passivos, classificação essa com base na profundidade atual na qual se encontram e, por conseguinte, nos processos morfodinâmicos sob os quais estão submetidos: os ativos correspondem àqueles situados entre -7 e -9 m de profundidade; os intermediários, entre -14 e -17 m; e os passivos, por fim, entre -40 e -120 m de profundidade. Os parciais passivos constituem praias pleistocênicas que foram retrabalhadas na transgressão subsequente ao UMG – tendo sido formadas anteriormente a essa última glaciação - e que não passam por retrabalhamento atual; os parciais ativos, por sua vez, correspondem a paleopraias formadas em estabilizações ocorridas durante a transgressão holocênica e que passam por retrabalhamento atual (Buchmann, 2002), sendo a resolução vertical desses parciais alta face à possibilidade de medição da distância entre um e outro na atual plataforma, inferindo-se a variação altimétrica do nível marinho.

No que se refere aos terraços de Corrêa (1986, 1990, 1994 e 1996), de Corrêa *et al.* (1996) e de Martins *et al.* (1996), analisados tanto sob a perspectiva geológico-geomorfológica, quanto sob o critério biológico, a resolução vertical verificada pode ser associada às constatações efetuadas sobre terraços identificados na plataforma continental da Região Nordeste do Brasil (Gomes *et al.*, 2020) e, na PCRGS, aos estudos de Barboza (1999) e Barboza *et al.* (2006), nos quais terraços situados nas margens da laguna dos Patos foram associados a paleoníveis lagunares desse corpo d'água. Segundo Barboza (1999) e Barboza *et al.* (2006), essas feições de terraceamento foram desenvolvidas em função das variações altimétricas do nível relativo do mar durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno e que refletiram nas variações altimétricas do corpo lagunar, esculpindo-se escarpas em suas margens devido à ação erosiva das ondas e servindo de análogo aos terraços analisados na plataforma continental, ambos passíveis de medição da variabilidade altimétrica das variações do nível marinho.

Os indicadores de resolução horizontal aplicados nos estudos evolutivos da plataforma continental do RS, por sua vez, apresentam possibilidade de analogia com diversos indicadores que se encontram na PCRGS tanto de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras acima do nível atual, quanto abaixo no nível atual, sendo alguns exemplos desses análogos os sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira (Figura 1), semelhantes às barreiras costeiras desenvolvidas na costa atlântica dos Estados Unidos, onde o litoral é majoritariamente dominado por

ilhas-barreira (Dillenburg e Hesp, 2009). Os sistemas laguna-barreira na PCRGS são divididos em I, II, III e IV, tendo sido o I formado no evento transgressivo-regressivo de ~400 ka AP (MIS 9); o II, no evento de ~325 ka AP (MIS7e); o III, há ~120 ka AP (MIS5e) e, por fim, o sistema IV (MIS1), formado por meio da transgressão holocênica há ~7 ka AP (Villwock, 1984; Villwock *et al.*, 1986; Villwock e Tomazelli, 1995; Tomazelli e Villwock, 2000), tendo os estudos de Lopes (2013), Lopes *et al.* (2010a, 2010b, 2010c, 2013, 2014a e 2014b) e Rosa *et al.* (2017) pontuado as idades aproximadas de 325 ka AP para o sistema I e de 200 ka AP para o sistema II.

O estudo de Dillenburg *et al.* (2019) identificou registros subsuperficiais de uma feição situada na região entre os sistemas laguna-barreira III e IV (Figura 1), da qual amostras foram coletadas e datadas em ~42 ka AP. Essa feição, por conseguinte, foi associada a um evento transgressivo referente ao estágio do isótopo de oxigênio correspondente ao MIS3, sendo passível de constituir mais um ambiente deposicional do tipo barreira costeira na PCRGS.

Segundo Dillenburg e Hesp (2009), as barreiras costeiras constituem o mais importante elemento deposicional e geomorfológico de costas dominadas por ondas e com gradientes baixos de declividade, ocorrendo mais comumente nas denominadas *trailing edge coast* por Inman e Nordstrom (1971). Assim como a costa brasileira, a costa atlântica norte-americana é classificada nessa categoria tectônica, localizando-se na margem oposta de costas onde há colisão de placas e desenvolvimento de cinturão orogênico, o que resulta na gênese de abundantes sistemas de drenagem fluviais, alto aporte sedimentar e extensas planícies costeiras (Inman e Nordstrom, 1971; Dillenburg e Hesp, 2009).

Logo, os tipos de indicadores de variações do nível relativo do mar do Quaternário Superior utilizados na plataforma continental atlântica dos Estados Unidos, apesar dela se encontrar em um nível isostático distinto do nível no qual se encontra a bacia de Pelotas, podem ser similares aos indicadores usados nos estudos evolutivos dessa bacia. Conforme Suguio *et al.* (1985), durante o Holoceno, o nível relativo do mar nunca ultrapassou o atual nível ao longo da costa norte-americana atlântica, caracterizando-se como uma costa em submersão até a última grande transgressão elevar o nível isostático até o atual, formando sistemas de ilhas-barreiras em vez de extensas planícies arenosas, ocorrendo essas últimas em



costas onde o atual nível marinho foi atingido anteriormente e que se encontram em emersão, como na PCRGS.

Os estudos de Kraft (1971), Sheridan *et al.* (1974), Belknap *et al.* (1976), Kraft e John (1976) e Twichell *et al.* (1977) identificaram tanto feições correspondentes à paleodrenagem do rio Delaware, quanto barreiras e lagunas costeiras submersas na atual plataforma continental entre Delaware e Maryland. O estudo de Nikitina *et al.* (2000), por sua vez, analisou depósitos de turfa cuja gênese inferida seria a de um paleoambiente pantanoso, afirmando esses autores que a elevação marinha nos últimos milhares de anos na costa atlântica dos Estados Unidos teria sido sob taxas mais lentas, assim como afirmaram Engelhart *et al.* (2011) e Engelhart e Horton (2012), tendo todos esses estudos utilizado indicadores de resolução horizontal submersos - tanto geológico-geomorfológicos, quanto biológicos de variação do nível relativo do mar - relativos a paleoambientes associados a barreiras e a lagunas costeiras.

Nos estudos de Green *et al.* (2013a, 2013b e 2014), de Cooper e Green (2016) e de Pretorius *et al.* (2019), entre outros, feições submersas de altitude mais elevada que os terrenos adjacentes foram identificadas na plataforma continental da costa leste e sudeste da África do Sul, sendo essas feições denominadas eolianitos e semelhantes aos altos topográficos identificados por Hahn *et al.* (2020b) e interpretados como paleobarreiras. O que esses eolianitos e paleobarreiras têm em comum com os terraços de Corrêa (1986, 1990, 1994 e 1996), Corrêa *et al.* (1996) e Martins *et al.* (1996) – e com seus análogos emersos na PCRGS de Barboza (1999) e Barboza *et al.* (2006) e os sistemas laguna-barreira - é sua possível gênese associada a fases de estabilizações da subida do nível do mar no Holoceno e ao consequente estabelecimento de linhas de praia durante essas fases. Os eolianitos em questão correspondem a prováveis paleodunas costeiras cimentadas por carbonato de cálcio, tendo sido sua preservação possibilitada por uma subida rápida do nível do mar e, portanto, diminuindo as chances de erosão nos depósitos subjacentes a essa transgressão (Green *et al.*, 2013a, 2013b e 2014; Cooper e Green, 2016; Pretorius *et al.*, 2019), semelhante à gênese das paleobarreiras de Hahn *et al.* (2020b).

Segundo Dillenburg (2000), Dillenburg *et al.* (2004 e 2006), Martinho *et al.* (2009), Hesp (2009) e Dillenburg e Hesp (2009), a herança topográfica do substrato

onde a linha costeira é desenvolvida controla o formato dessa costa, pois controla a velocidade e as taxas de elevação isostática durante uma transgressão, tendo sido esses trabalhos realizados para explanar acerca das diferenciações evolutivas na barreira holocênica do RS. No caso das barreiras costeiras, essas feições são formadas preferencialmente quando a declividade do substrato situa-se entre  $0,05^\circ$  e  $0,8^\circ$  de inclinação, com um ótimo de  $0,1^\circ$  (Roy *et al.*, 1994), sendo por meio dessa janela de inclinação que será definida ou não a existência da barreira e a largura dos depósitos lagunares na sua retaguarda (Roy *et al.*, 1994; Dillenburg *et al.*, 2000; Brenner *et al.*, 2015). Na PCRGS, os estudos de Bitencourt (2019) e de Bitencourt *et al.* (2020a, 2020b e 2020c), assim como as pesquisas de Dillenburg (2000), Dillenburg *et al.* (2004 e 2006), Martinho *et al.* (2009), Hesp (2009) e Dillenburg e Hesp (2009), constataram que uma pequena alteração na declividade do substrato já é capaz de alterar a deposição sedimentar regional e resultar em um balanço sedimentar diferencial.

Portanto, a PCRGS apresenta indicadores de variação do nível do mar de resolução vertical e horizontal potencialmente aplicáveis para o contexto evolutivo da bacia de Pelotas, possuindo os indicadores situados na atual plataforma continental relativos a níveis abaixo do atual análogos emersos, como os terraços de Corrêa (1986, 1990, 1994 e 1996), de Corrêa *et al.* (1996) e de Martins *et al.* (1996) – análogos aos terraços de margem lagunar de Barboza (1999) e Barboza *et al.* (2006) – e, no caso dos sistemas laguna-barreira na PCRGS, análogos aos indicadores submersos referentes a paleoambientes possivelmente associados a sistemas laguna-barreira ou semelhantes a eles, como paleolinhas de praias e corpos lagunares. Esses indicadores correspondem àqueles analisados nos estudos de Vicalvi (1977), Madeira-Falchetta *et al.* (1980), Corrêa e Abreu (1984), Corrêa (1987), Lorscheitter (1988 e 1989), Asp Neto (1999), Martins e Martins (2004), Rocha *et al.* (2014), Camargo (2015), Melo (2017), Hahn *et al.* (2020b), entre outros, assim como àqueles referentes ao estudo de sedimentos superficiais plataformais que constataram seu retrabalhamento a partir de paleolinhas de costa desenvolvidas durante o UMG e a transgressão subsequente a ele, como Martins *et al.* (1973 e 2005), Martins (1999) e Paixão (2012).

Outro exemplo de análogos existentes na PCRGS mas que indicam, por sua vez, níveis do mar abaixo do atual são os paleocanais e vales incisos identificados

nos pacotes sedimentares subsuperficiais da laguna dos Patos e de outros corpos lagunares nos estudos de Weschenfelder (2005), Weschenfelder *et al.* (2005, 2008a, 2008b, 2010, 2014 e 2016), Baitelli (2012) e Bortolin *et al.* (2018 e 2019), assim como as análises micropaleontológicas de Santos-Fischer (2011 e 2015) e Santos-Fischer *et al.* (2016 e 2018), cujos resultados constataram paleoambientes fluviais na região desses paleocanais e vales. Os estudos de Martins *et al.* (1967), Urien (1970), Kowsmann *et al.* (1977), Kowsmann e De Ataíde (1979), Kowsmann e Costa (1974), Pomerancblum e Costa (1972), Martins (1984), Calliari e Abreu (1984), Abreu e Calliari (2005), Dillenburg (1987), Corrêa *et al.* (2008, 2013a e 2014a), Goulart (2010), Terra (2013), Camargo (2015), Melo (2017) e Hahn *et al.* (2020a e 2020b) identificaram indicadores na atual plataforma continental do RS correspondentes a ambientes fluviais pretéritos, possivelmente do UMG e do decorrer da transgressão holocênica, refletindo a significativa aplicabilidade desse tipo de indicador no estudo de fases isostáticas regressivas da bacia de Pelotas, uma vez que paleocenários podem ser inferidos a partir de sua analogia com esse mesmo tipo de feição na PCRGS.

No que se refere aos indicadores arqueológicos ou pré-históricos, correspondentes aos depósitos antropogênicos oriundos de povos nativos que habitaram as zona costeiras na pré-história (Suguio *et al.*, 1985), essa categoria não foi identificada na plataforma continental do RS. Ao redor do mundo, sítios pré-históricos localizados em áreas submersas foram analisados e associados às variações isostáticas, como os sítios estudados na região dos Grandes Lagos, entre os Estados Unidos e o Canadá (O'Shea e Meadows, 2009; Sonnenburg *et al.*, 2012). No Brasil, as variações do nível marinho durante o Quaternário Superior foram associadas aos depósitos denominados de sambaquis, caracterizados como sítios arqueológicos essencialmente costeiros que contém conjuntos específicos de artefatos líticos, ósseos e/ou conchíferos associados a uma matriz composta por carapaças de moluscos e/ou ossos de peixes e, por vezes, sepultamentos (Wagner, 2009).

A posição de alguns desses sambaquis ao longo da costa brasileira indica ocupação humana pré-histórica em paleoambientes de planície lagunar situados em níveis superiores aos níveis lagunares atuais e, conseqüentemente, em cenários de paleoníveis marinhos transgressivos (Suguio *et al.*, 1985). Embora muitos estudos

sobre o comportamento isostático na costa do país tenham utilizado os sambaquis como indicadores que, associados ao uso de outros indicadores, fornecem precisas informações sobre o tema (Suguió *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1998; Martin, 2003), outros estudos, no entanto, contestam o seu uso para esse fim (Angulo e Lessa, 1997; Lessa e Angulo, 1998; Angulo *et al.*, 2006).

No sul do Brasil, especificamente na costa centro-sul de Santa Catarina e no Litoral Norte do RS, estudos como o de DeBlasis *et al.* (2007), de Wagner (2009), de Giannini *et al.* (2010) e de Mergen & Schmitz (2016) concordam que poucos sítios de sambaquis nessas duas regiões estiveram ativos durante a transgressão holocênica. Os sambaquis da PCRGS situam-se sobre cordões arenosos, cristas praias e nas adjacências dos corpos lagunares formados após o máximo transgressivo atingido há ~5 ka AP (Tomazelli e Villwock, 1989; Tomazelli, 1990) e durante o recuo marinho rumo ao nível atual, sendo sua existência na plataforma continental do RS antes de ~5ka AP, portanto, refutada.

### 3.6 Conclusões

Por meio da presente pesquisa, indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras dos últimos 20 ka, mais precisamente da regressão referente ao UMG e da transgressão subsequente – situados na atual plataforma continental do RS - foram levantados através da bibliografia e analisados no que se refere a sua aplicabilidade no contexto evolutivo da área de estudo. A análise constatou que há um maior número de indicadores cuja resolução espacial é horizontal face ao número de indicadores de resolução vertical das variações do nível do mar, tanto geológico-geomorfológicos, quanto biológicos.

Esses indicadores, tanto os de resolução vertical, quanto os de resolução horizontal, apresentam análogos na PCRGS, possuindo alguns deles registros, no entanto, de paleoníveis marinhos transgressivos, como os terraços nas margens da laguna dos Patos, análogos aos terraços identificados na atual plataforma continental. Contudo, no que se refere aos indicadores correspondentes aos parciais, não foram identificados análogos existentes na PCRGS, apesar desses depósitos apresentarem uma significativa resolução vertical e alta aplicabilidade na Bacia de

Pelotas, visto que há um número significativo deles em distintas profundidades na plataforma.

No caso dos indicadores de resolução espacial horizontal, aqueles associados a paleoambientes relativos a sistemas laguna-barreira ou semelhantes a eles, como paleolinhas de praias e corpos lagunares, foram interpretados como de alta aplicabilidade no contexto evolutivo da plataforma continental do RS, pois possuem como análogos os sistemas laguna-barreira I, II, III e IV da PCRGS adjacente. Como outro exemplo de indicadores de resolução horizontal alta, os sistemas de paleodrenagens existentes na plataforma também podem ser associados a análogos existentes na PCRGS, como os paleocanais e vales incisos identificados nos pacotes sedimentares subsuperficiais da laguna dos Patos, esses correspondendo a indicadores de paleoníveis regressivos, distintamente dos análogos anteriores. No que concerne aos indicadores arqueológicos ou pré-históricos, não há registro de estudos que os tenham identificado na plataforma continental da área de estudo e/ou associado os mesmos a níveis do mar regressivos.

### **Agradecimentos.**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através da concessão das bolsas n. 140451/2016-1 e n. 301668/2017-5.

### **Referências Bibliográficas**

Abreu, J. G. N. & Calliari, L. J. 2005. Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(2): p. 123-132.

Angulo, R. J. & Lessa, G. C. 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananeia regions. *Marine Geology*, 140: p. 141-166.

Angulo, R. J.; Lessa, G. C.; Souza, M. C. 2006. A critical review of Mid to late Holocene sea level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Sciences Reviews*, v. 25, n. 5, p. 486-506.

Angulo, R. J. & Souza, M. C. 2014. Revisão Conceitual de Indicadores Costeiros de Paleoníveis Marinheiros Quaternários no Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 05(2): p. 01-32.

Asp Neto, N. E.; Corrêa, I. C. S.; Calliari, L. J. 1999. Sea level changes and Barrier System Formation on inner continental shelf, Rio Grande do Sul, Brazil. *In: Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.71, p. 832-833.

Baitelli, R. 2012. *Evolução Paleogeográfica do Sistema de Paleodrenagem do Rio Jacuí na Planície Costeira do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Barboza, E. G. 1999. *Terraços da margem leste da Laguna dos Patos, Litoral Médio do Rio Grande do Sul: estratigrafia e evolução holocênica*. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Barboza, E. G.; Toldo Jr., E. E.; Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R.; Ayup-Zouain, R. N. 2006. Stratigraphic and holocenic evolution of the submerged platform of the eastern margin of the Lagoa dos Patos lagoon, RS. *Journal of Coastal Research*, Itajaí/SC, v. 1, p. 266-269.

Batista, C. M. A. 2015. *Bacia de Pelotas: sumário geológico e setores em oferta*. Superintendência de Definição de Blocos da Agência Nacional do Petróleo. Disponível em: [www.brasil-rounds.gov.br](http://www.brasil-rounds.gov.br). Acesso em março de 2020.

Belknap, D. F.; Sheridan, R. D.; Swift, D. J. P.; Lapiene, G. 1976. Geophysical investigations of the Delaware Shelf Valley. *Geol. Soc. Am. Abstr. Progr.*, 8: p. 131-132.

Bitencourt, V. J. B. D. 2019. *Fatores de controle na formação e evolução da barreira costeira holocênica no litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Bitencourt, V. J. B., & Dillenburg, S. R. 2020a. Application of multivariate statistical techniques in alongshore differentiation of coastal barriers. *Marine Geology*, 419, p. 106077.

Bitencourt, V. J. B.; Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C. C.; Manzolli, R. P. 2020b. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da barreira costeira holocênica no Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, nº.3.

Bitencourt, V. J. B.; Dillenburg, S. R.; Manzolli R. P.; Barboza, E. G. 2020c. Control factors in the evolution of Holocene coastal barriers in Southern Brazil. *Geomorphology*, p. 107180.

Bortolin, E. C.; Weschenfelder, J.; Cooper, A. 2018. Incised valley paleoenvironments interpreted by seismic stratigraphic approach in Patos Lagoon, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 48, p. 533-551.

Bortolin, E. C.; Weschenfelder, J.; Cooper, A. 2019. Holocene Evolution of Patos Lagoon, Brazil: The Role of Antecedent Topography. *Journal of Coastal Research*, v. 35, p. 357-368.

Brenner, O.T.; Moore, L.J.; Murray, A.B. 2015. The complex influences of back-barrier deposition, substrate slope and underlying stratigraphy in barrier island response to sealevel rise: Insights from the Virginia Barrier Islands, Mid-Atlantic Bight, U.S.A. *Geomorphology*, 246: p. 334-350.

Buchmann, F. S.; Seeliger, M.; Zanella, L. R.; Madureira, L.; Tomazelli, L. J.; Calliari, L. 2001a. Análise batimétrica e sedimentológica no estudo do Parcel do Carpinteiro, uma paleolinha de praia pleistocênica na antepraia do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 28, n. 2, p. 109-115.

Buchmann, F. S. 2002. *Bioclastos de Organismos Terrestres e Marinhos na Praia e Plataforma Interna do Rio Grande do Sul*: natureza, distribuição, origem e significado geológico. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Camargo, C. M. L. 2015. *Mapeamento sismoestratigráfico da superfície do pleistoceno na plataforma continental da bacia de Pelotas*. Rio Grande: Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanologia, Fundação Universidade do Rio Grande.

Calliari, L. J.; Esteves, L. S.; Oliveira, C. P. L.; Tozzi, H. A. M.; Silva, R. P.; Cardoso, J. N. 1994. Padrões sonográficos e sedimentológicos de um afloramento de beachrock na plataforma interna do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*, 7, p. 27-32.

Carraro, C. C.; Gamermann, N.; Eick, N. C.; Bortoluzzi, C. A.; Jost, H.; Pinto, J. F. 1974. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Série Mapas, n. 8.

Cooper, A. & Green, A. 2016. Geomorphology and Preservation Potential of Coastal and Submerged Aeolianite: examples from Kwazulu-Natal, South Africa. *Geomorphology*, 271: p. 1-12.

Calliari, L. J. & Abreu, J. G. N. 1984. Litologia da Plataforma continental interna adjacent a cidade do Rio Grande, RS através da interpretação de registros de sonar de varredura lateral e amostragem superficial. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 33(4), p. 1553-1564.

Corrêa, I. C. S. & Abreu, V. S. 1984. Evolução da sedimentação holocênica da plataforma continental e talude superior entre Rio Grande e Torres, RS. In: XXXIII Congresso Brasileiro Geologia. *Anais...*, p. 63-70.

Corrêa, I. C. S. 1986. Evidence of Sea Level Fluctuation in the Rio Grande do Sul Continental Shelf, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4: p. 237-249.

Corrêa, I. C. S. 1987. Sedimentos superficiais da plataforma e talude continental do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 19(19), p. 95-104.

Corrêa, I. C. S. 1990. *Analyse Morphostructurale et evolution paleogeographique de la plate-forme continentale atlantique sud-bresilienne (Rio Grande do Sul – Bresil)*. Bourdeaux: Tese de Doutorado, Universite de França.

Corrêa, I. C. S. 1994. Morphostructurale de La plate-forme continentale du Rio Grande do Sul, a partir de L'analyse cartographique. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*. Porto Alegre, 7: p. 3-26.

Corrêa, I. C. S. 1996. Les variations du niveau de la mer Durant lês derniers 17.500 B.P.: léxemple de la plateforme continentale du Rio Grande do Sul – Brésil. *Marine Geology*, 130, p. 163-178.

Corrêa, I. C. S.; Martins, L. R. S.; Ketzer, J. M. M.; Elias, A. R. D.; Martins, R. 1996. Evolução sedimentológica e paleogeográfica da plataforma continental sul e sudeste do Brasil. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*, 9: p. 51-61.

Corrêa, I. C. S. & Villwock, J. A. 1996. Continental shelf and coastal plain sediments of the Southeast and South coast of Brazil. *Morphology and sedimentology of the Southwest Atlantic coastal zone and continental shelf from Cabo Frio (Brazil) to Península Valdés (Argentina)*. Evagraf/UFRGS-IG-CECO, Porto Alegre.

Corrêa, I. C. S.; Ayup-Zouain, R. N.; Weschenfelder, J.; Tomazelli, L. J. 2008. Áreas fontes dos minerais pesados e sua distribuição sobre a plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina. *Pesquisas em Geociências*. Vol. 35, n. 1, p. 137-150.

Corrêa, I. C. S.; Medeanic, S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Nunes, J. C.; Baitelli, R.; Santos-Fischer, C. B. 2013a. Registro sedimentario del antiguo canal de desembocadura del Río de La Plata en la plataforma continental del sur de Brasil. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 30, n. 1, p. 51-64.

Corrêa, I. C. S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Baitelli, R. 2013b. Depósito de turfa na plataforma continental do sul do Brasil. *In: Anais do Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*.

Corrêa, I. C. S.; Medeanic, S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Nunes, J. C.; Baitelli, R. 2014a. The Paleo-Drainage of the La Plata River in Southern Brazil Continental Shelf. *Revista Brasileira de Geofísica*. 32(2): p. 259-271.

Corrêa, I. C. S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Baitelli, R.; Santos-Fischer, C. B. 2014b. Turfa na plataforma continental do Sul do Brasil. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial II, p. 721-724.



- Corrêa, I. C. S.; Weschenfelder J.; Toldo Jr., E. E.; Baitelli, R.; Santos-Fischer, C. B. 2015. Gênese de um depósito de turfa na plataforma continental do Rio Grande do Sul, Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 06(2): p. 1-9.
- DeBlasis, P.; Kneip, A.; Scheel-Ybert, R.; Giannini, P. C.; Gaspar, M. D. 2007. Sambaquis e paisagem: dinâmica natural e arqueologia regional no litoral do sul do Brasil. *Arqueologia suramericana*, 3(1), p. 29-61.
- Dillenburg, S. R. 1987. Evidências de sedimentação deltaica pleistocênica no bordo da plataforma continental do Rio Grande do Sul. In: 1º CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, p. 49-60.
- Dillenburg, S. R. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). *Journal of Coastal Research*, v. 16, n. 1.
- Dillenburg, S. R.; Roy, P. S.; Cowell, P. J.; Tomazelli, L. J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research*, 16(1): p. 71-81.
- Dillenburg, S. R.; Tomazelli, L. J.; Barboza, E. G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bojuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203, p. 43-56.
- Dillenburg, S. R.; Tomazelli, L. J.; Hesp, P. A.; Barboza, E. G.; Clerot, L. C. P.; Silva, D. B. 2006. Stratigraphy and evolution of a prograded, transgressive dunefield barrier in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39 (1): p. 132-135.
- Dillenburg, S. R. & Hesp, P. 2009. *Geology and Geomorphology of Coastal Barriers of Brazil*. Springer. Lecture Notes in Earth Sciences.
- Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C.; Caron, F.; Cancelli, R.; Santos-Fischer, C. B.; Lopes, R. P.; Ritter, M. 2019. Sedimentary records of Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3) in southern Brazil. *Geo-Marine Letters*, p. 1-10.
- Engelhart, S. E.; Peltier, W. R.; Horton, B. P. 2011. Holocene relative sea-level changes and glacial isostatic adjustment of the US Atlantic coast. *Geology*, 39(8), p. 751-754.
- Engelhart, S. E. & Horton, B. P. 2012. Holocene sea level database for the Atlantic coast of the United States. *Quaternary Science Reviews*, 54, p. 12-25.
- Erthal, F. 2012. *Assinaturas tafonômicas em bivalves marinhos recentes na costa do Brasil e seu significado paleoambiental*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Giannini, P. C. F.; Villagran, X. S.; Fornari, M.; Nascimento Jr., D. R. D.; Menezes, P. M. L.; Tanaka, A. P. B.; Assunção, D. C.; DeBlasis, P.; Amaral, P. G. C. 2010. Interações entre evolução sedimentar e ocupação humana pré-histórica na costa

centro-sul de Santa Catarina, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 5(1), p. 105-128.

Gomes, M. P.; Vital, H.; Droxler, A. W. 2020. Terraces, reefs, and valleys along the Brazil northeast outer shelf: deglacial sea-level archives?. *Geo-Marine Letters*, p. 1-13.

Goulart, E. S. 2010. *Morfodinâmica da antepraia adjacente ao Farol da Conceição: litoral médio do RS*. Rio Grande: Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica, Fundação Universidade Federal de Rio Grande.

Green, A.; Cooper, A. G.; Leuci, R.; Thackeray, Z. 2013a. Formation and Preservation of an Overstepped Segmentd Lagoon Complex on a High Energy Continental Shelf. *Sedimentology*, 60, p. 1755-1768.

Green, A.; Dladla, N.; Garlick, L. 2013b. Spatial and Temporal Variations in Incised Valley Systems from the Durban Continental Shelf, Kwazulu-Natal, South Africa. *Marine Geology*. 335: p. 148-161.

Green, A.; Cooper, A.; Salzmann, L. 2014. Geomorphic and Stratigraphic Signals of Postglacial Meltwater Pulses on Continental Shelves. *Geology*. 42.2: p. 151-154.

Gruber, N. L. S. 2002. *A antepraia na região de Tramandaí-RS*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hahn, A. R. O.; Weschenfelder, J.; Melo, B. F.; Calliari, J. J.; Lague, J. P. G.; Oliveira, N. 2020a. Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*. Sociedade Brasileira de Geologia. Submetido.

Hahn, A. R. O.; Weschenfelder, J.; Melo, B. F.; Calliari, J. J.; Lague, J. P. G.; Oliveira, N. 2020b. Indicadores múltiplos na reconstrução da evolução paleogeográfica do Quaternário costeiro do Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. Submetido.

Hesp, P. A. 1999. The Beach Backshore and Beyond. *In: Short, A. D. (Editor). Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley, p. 145-170.

Inman, D. L. & Nordstrom, C. E. On the Tectonic and Morphologic Classification of Coasts. *The Journal of Geology*, vol. 79, 1-21. 1971.

Kowsmann, R. O. & Costa, M. D. A. 1974. Coastal palaeolines of the Southern and Northern Brazilian continental shelf. *Revista Brasileira de Geociências*.

Kowsmann, R.; Leyden, R.; Francisconi, O. 1977. Marine seismic investigations, southern Brazil margin. *AAPG Bulletin*, 61(4), p. 546-557.

Kowsmann, R. O. & De Ataíde, C. M. 1979. *Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes*. Projeto REMAC.

Kraft, J.C. 1971. Sedimentary facies patterns and geologic history of a Holocene marine transgression. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82: p. 2131--2158.

Kraft, J.C. & John, C.J. The geologic structure of the shorelines of Delaware. *In*: Kraft, J.C.; Allen, E.A.; Belknap, D.F.; John, C.J.; Maurmeyer, E.M. 1976. Processes and morphologic evolution of an estuarine and coastal barrier system. S.P. Leatherman (Editor), *Barrier Islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico*. Academic Press, New York, p.149--183.

Lessa, G. C. & Angulo, R. J. 1998. Oscillations or not oscillations, that is the question – reply. *Marine Geology*, 150: p. 189-196.

Lopes, R.; Pereira, J. C. 2010a. Fossils of Scelidotheriinae Ameghino, 1904 (Xenarthra, Pilosa) in the Pleistocene deposits of Rio Grande do Sul, Brazil. *Gaea – Journal of Geoscience*, v. 6, p. 44-52.

Lopes, R.; Pereira, J. C. 2010b. Um novo sítio paleontológico na planície costeira do Rio Grande do Sul. *In*: *Resumos do Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados*, 7. Rio de Janeiro: SBPV, p. 93.

Lopes, R.; Oliveira, L. C.; Figueiredo, A. M. G.; Kinoshita, A.; Baffa, O.; Buchmann, F. S. C. 2010c. ESR dating pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Quaternary International*, v. 212, p. 213-222.

Lopes, R.; Buchmann, F. C. 2011. Pleistocene mammals from the Southern Brazilian continental shelf. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 31, p. 17-27.

Lopes, R. 2013. *Reconstituição Paleoclimática e Paleoambiental do Pleitoceno Tardio no Sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Lopes, R.; Ribeiro, A. M.; Dillenburger, S. R.; Schultz, C. L. 2013. Late middle to late pleistocene paleoecology and paleoenvironments in the coastal plain of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, from stable isotopes in fossils of *Toxodon* and *Stegomastodon*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 369, p. 385-394.

Lopes, R.; Dillenburger, S. R.; Schultz, C. L.; Ferigolo, J.; Ribeiro, A. M.; Pereira, J. C.; Holanda, E. C.; Pitana, V. G.; Kerber, L. 2014a. The sea level highstand correlated to marine isotope stage (MIS) 7 in the coastal plain of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *In*: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 4, p. 1573-1595.

Lopes, R.; Kinoshita, A.; Baffa, O.; Figueiredo, A. M. G.; Dillenburger, S. R.; Schultz, C. L.; Pereira, J. C. 2014b. ESR dating of pleistocene mammals and marine shells from the coastal plain of Rio Grande do Sul state, Southern Brazil. *Quaternary International*, v. 352, p. 124-134.

- Lorscheitter, M. L. 1988. Palinologia de Sedimentos Quaternários do Testemunho T15, Cone de Rio Grande, Atlântico Sul, Brasil. *Descrições Taxonômicas. Pesquisas em Geociências*, 21(21), p. 61-117.
- Lorscheitter, M. L. 1989. Palinologia de Sedimentos Quaternários do Testemunho T15, Cone de Rio Grande, Atlântico Sul, Brasil. *Descrições Taxonômicas. Parte II. Pesquisas em Geociências*, 22(22), p. 89-127.
- Madeira-Falcetta, M.; Thiesen, Z. V.; Bertels, A.; Kotzian, S. B. 1980. Foraminíferos e radiolários de testemunhos da plataforma continental e talude do Rio Grande do Sul, Brasil. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. Vol. 31, p. 3020-3100.
- Martin, L.; Bittencourt, A. C. S. P.; Dominguez, J. M. L.; Flexor, J. M.; Suguio, K. 1998. Oscillations or not oscillations, that is the question: comment on Angulo R. J. and Lessa G. C. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananeia regions. *Marine Geology*, 150 (1-4): p. 179-187.
- Martin, L. 2003. Holocene sea level history along Eastern-Southeastern Brazil. *In: Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*. V. 26.
- Martinho, C. T.; Dillenburg, S. R.; Hesp, P. A. 2009. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Marine Geology*, v. 256, n. 1, p. 49-64.
- Martins, L. R.; Urien, C. M.; Eichler, B. B. 1967. Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental sul-brasileira e uruguaia. *In: 21 ° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, Curitiba, Paraná. *In: Anais da Sociedade Brasileira de Geologia*, Vol. 1, p. 29-43.
- Martins, L. R.; Urien, C. M.; Martins, I. R. 1973. Sedimentos modernos e relíquias da plataforma continental sul americana oriental. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, Vol. 27, No., p. 212-213.
- Martins, L. R. 1999. Sand deposits along Rio Grande do Sul (Brazil) inner continental shelf. *In: Martins, L. R.; Santana, C. I. (Ed.). Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: p. 26-38. OAS/ IOC-UNESCO/MCT. Special Publication.
- Martins, L.R.; Urien, C.M.; Butler, L.W. 1972a. Províncias Fisiográficas e Sedimentos da Margem Atlântica da América do Sul. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 26, Belém: SBG, v.2: p. 105-114.
- Martins, L. R.; Mello, U.; França, A. M. C.; Santana, C.; Martins, I. R. 1972b. Distribuição Faciológica da Margem Continental Sul Rio-Grandense. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém: SBG, v. 2, p.115-132.
- Martins, L. R.; Martins, I. R.; Urien, C. M. 1978. Sedimentos Relíquias na Plataforma Continental Brasileira. *Pesquisas em Geociências*, v. 9, p. 76-91.

- Martins, L. R. & Urien, C. M. 1979. Evolução paleogeográfica. *In: Atlas Sedimentológico da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul*, 2.
- Martins, L. R. & Corrêa, I. C. 1996. *Morphology and Sedimentology of Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Peninsula Valdes (Argentina)*. Porto Alegre: CECO/Instituto de Geociências/UFRGS, 20.
- Martins, I. D. R. 1984. Modelo sedimentar do cone de Rio Grande. *Pesquisas em Geociências*, 16(16), p. 91-189.
- Martins, L. R.; Urien, C. M.; Corrêa, I. C. S.; Martins, I. R. 1996. Late Quaternary processes along Rio Grande do Sul continental shelf, Brazil. *Notas Técnicas CECO/IG/UFRGS*, 9: p. 62-68.
- Martins, L. R.; Martins, I. R. 2004. resença de turfa na plataforma continental do Rio Grande do Sul. *Gravel*, n.º 2, p. 77-85.
- Martins, L. R.; Urien, C. M.; Martins, I. R. 2005. Gênese dos sedimentos da plataforma continental atlântica entre o Rio Grande do Sul (Brasil) e Tierra del Fuego (Argentina). *Gravel*, nº 3, p. 85-102.
- Melo, B. F. 2017. *Estudo do sistema de drenagem quaternário da plataforma continental na porção norte da Bacia de Pelotas*. Rio Grande: Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanologia, Universidade Federal de Rio Grande.
- Mergen, N. M. & Schmitz, P. I. 2016. Pesquisas arqueológicas pioneiras no Litoral Norte gaúcho (1960-1970). *Pesquisas, Antropologia*, Nº 72: p. 151-184. São Leopoldo: Instituto Anchieta de Pesquisas. Disponível em: [www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/antropologia/antropologia.htm](http://www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/antropologia/antropologia.htm). Acesso em março de 2020.
- Nikitina, D. L.; Pizzuto, J. E.; Schwimmer, R. A.; Ramsey, K. W. 2000. An updated Holocene sea-level curve for the Delaware coast. *Marine Geology*, 171(1-4), p. 7-20.
- Oliveira, N. 2017. *Caracterização de Ocorrências de Gás Raso na Plataforma Continental Interna do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- O'Shea, J. M. & Meadows, G. A. 2009. Evidence for early hunters beneath the Great Lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), p. 10120-10123.
- Paixão, B. E. G. 2012. *Distribuição faciológica da Bacia de Pelotas*. Rio Grande: Trabalho de conclusão do curso de Oceanologia, Universidade Federal de Rio Grande.
- Peltier, W. R. 2002. On eustatic sea level history: Last Glacial Maximum to Holocene. *Quaternary Science Reviews*, v. 21, n. 1, p. 377-396.

Pomerancblum, M. & Costa, M. D. A. 1972. Integração de Informações sobre Minerais Pesados da Plataforma Continental Brasileira. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 26.

Pretorius, L.; Green, A. N.; Cooper, J. A. G.; Hahn, A.; Zabel, M. 2019. Outer-to inner-shelf response to stepped sea-level rise: insights from incised valleys and submerged shorelines. *Marine Geology*, 416, p. 105979.

Ritter, M. N.; Erthal, F.; Matthew, K. A.; Coimbra, J. C.; Kaufman, D. S.; Kowalewski, M. 2017a. Quantitative estimates of time-averaging in mollusk death assemblages on the southern Brazilian shelf. *Geological Society of America*.

Ritter, M. N.; Erthal, F.; Kosnik, M. A.; Coimbra, J. C.; Kaufman, D. S. 2017b. Spatial variation in the temporal resolution of subtropical shallow-water molluscan death assemblages. *Palaaios*, v. 32, p. 572-583.

Ritter, M. D. N. 2018. *Padrões espaço-temporais do registro fóssil com base em acumulações de moluscos da plataforma continental do sul do Brasil*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ritter, M. D. N.; Erthal, F.; Coimbra, J. C. 2019. Depth as an overarching environmental variable modulating preservation potential and temporal resolution of shelly taphofacies. *Lethaia*. 52, p. 44-56, Number 1: Blackwell Publishing Ltd.

Rocha, R.; Griep, G.; Weigert, S. 2014. Mapeamento do paleoleito do Canal do Albardão, Bacia de Pelotas-Brasil. *Revista Geonorte*, 5(16), p. 203-207.

Rosa, M. L. C. C.; Barboza, E. G.; Abreu, V. S.; Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R. 2017. High-frequency sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2): p. 183-207.

Roy, P.S.; Cowell, P.J.; Ferland, M.A.; Thom, B.G. 1994. Wave-dominated coasts. *In: Carter, R. W. C. & Woodroffe, C. D. (Eds.). Coastal evolution - Late Quaternary Morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 121-186.

Santos-Fischer, C. B. 2011. *Assembleias de diatomáceas em sedimentos holocênicos no extremo sul do Brasil: reconstruções paleoambientais*. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Santos-Fischer, C. B. 2015. *Paleoecologia de diatomáceas como subsídios para o conhecimento da evolução paleogeográfica da região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Santos-Fischer, C. B.; Corrêa, I. C. S; Weschenfelder, J.; Torgan, L. C.; Stone, J. R. 2016. Paleoenvironmental insights into the Quaternary evolution of the southern

Brazilian coast based on fossil and modern diatom assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 446, p. 108-124.

Santos-Fischer, C. B.; Weschenfelder, J.; Corrêa, I. C. S.; Stone, J. R.; Dehnhardt, B. A.; Bortolin, E. C. 2018. A Drowned Lagunar Channel in the Southern Brazilian Coast in Response 6 to the 8.2-ka Event: Diatom and Seismic Stratigraphy. *Estuaries and Coasts*, v. XX, p. 1-25.

Sheridan, R.E.; Dill, C.E; Kraft, J.C. 1974. Holocene sedimentary environment of the Atlantic inner shelf off Delaware. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85: p. 1319-1328.

Sonnenburg, E. P.; Boyce, J. I.; Suttak, P. 2012. Holocene paleoshorelines, water levels and submerged prehistoric site potential of Rice Lake (Ontario, Canada). *Journal of archaeological science*, 39(12), p. 3553-3567.

Suguio, K.; Tessler, M. G. 1984. Planície de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. Lacerda, L. D.; Araújo, D. S. D.; Turcq, B. *Restingas: origem, estrutura e processos*. Niteroi, p. 15-25.

Suguio, K.; Martin, L.; Bittencourt, A. C. S. P.; Dominguez, J. M. L.; Flexor, J. M.; Azevedo, A. E. G. 1985. Flutuações do Nível Relativo do Mar Durante o Quaternário Superior ao Longo do Litoral Brasileiro e suas Implicações na Sedimentação Costeira. *Revista Brasileira de Geociências*. 15(4): p. 273-286.

Suguio, K.; Angulo, R J.; Carvalho, A. M.; Corrêa, I. C. S.; Tomazelli, L. J.; Villwock, J. A.; Vital, H. 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: Souza, C.; Suguio, K.; Oliveira, A.; De Oliveira, P. *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, p. 114-127.

Terra, L. C. 2013. *Padrões de drenagem pretérita na plataforma continental interna entre o Estreito e a Barra do Rio Grande*. Rio Grande: Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física, Universidade Federal de Rio Grande.

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

Tomazelli, L. J.; Villwock, J. A. 1989. Processos erosivos na costa do Rio Grande do Sul, Brasil: evidências de uma provável tendência contemporânea de elevação do nível relativo do mar. In: 2º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. *Resumos...*

Tomazelli, L. J. 1990. *Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Tomazelli, J. L.; Villwock, J. A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Ed. CIGO/UFRGS; 444p.
- Tomazelli, J. L.; Villwock, J. A. 2005. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, Porto Alegre, n. 03, p. 109-115.
- Twichell, D. C.; Knebel, H. J.; Folger, D. W. 1977. Delaware River: evidence for its former extension to Wilmington Submarine Canyon. *Science*, 195(4277), p. 483-485.
- Urien, C. M. 1970. Les rivages et le plateau continental du sud de Bresil, de l'Uruguay y de l'Argentine. *Quaternaria*, 14, p. 51-59.
- Urien, C. M.; Martins, L. R. 1974. Sedimentos da plataforma continental sul Americana entre Cabo Santa Marta (Brasil) e Terra do Fogo (Argentina) - Parte 1: texturas e origem. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 28<sup>o</sup>, 3, p. 13-223, Porto Alegre.
- Vicalvi, M. 1977. Sedimentos quaternaries da plataforma continental e talude do sul do Brasil: estratigrafia e curvas paleoclimáticas. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*, 3: p. 7-43.
- Villwock, J. A. 1984. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. *Pesquisas em Geociências*, v. 16, n. 5.
- Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J.; Loss, E. L.; Dehnhardt, E. A.; Horn filho, N.; Bachi, F. A.; Dehnhardt, B. 1986. A. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, v. 4, p. 79-97.
- Villwock, J. A. & Tomazelli, L. J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*. Porto Alegre, 8: p. 1-45.
- Wagner, G. P. 2009. A evolução paleogeográfica ea ocupação dos sambaquis no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Ribeiro, A. M.; Bauermann, S. G.; Scherer, C. S. *Quaternário do Rio Grande do Sul: integrando conhecimentos*. Sociedade Brasileira de Paleontologia, Porto Alegre, p. 243-254.
- Weschenfelder, J. 2005. *Processos sedimentares e variação do nível do mar na região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Weschenfelder, J.; Corrêa, I. C. S.; Aliotta, S. 2005. Elementos arquiteturais do substrato da lagoa dos Patos revelados por sísmica de alta resolução. *Pesquisas em Geociências*, v. 32, n. 2, p. 57-67.
- Weschenfelder, J.; Corrêa, I. C. S.; Toldo Jr., E. E.; Baitelli, R. 2008a. Paleocanais Como Indicativo de Eventos Regressivos Quaternários do Nível do Mar no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26 (3): p. 367–375.



Weschenfelder, J.; Medeanic, S.; Corrêa, I. C. S.; Aliotta, S. 2008b. Holocene paleoinlet of the Bojuru Region, lagoa dos Patos, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 24, p. 99.

Weschenfelder, J.; Corrêa, I. C. S.; Toldo Jr., E. E.; Baitelli, R. 2010. A drenagem pretérita do Rio Camaquã na costa do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 37 (1): p. 13–23.

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

Weschenfelder, J.; Klein, A. H. F.; Green, A. N.; Aliotta, S.; Mahiques, M. M.; Neto, A. A.; Terra, L. C.; Corrêa, I. C. S.; Calliari, L.; 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*, v. 172, p. 93-107.

Zembruscki, S. G. & Chaves, H. A. F. 1979. *Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, DINTEP.

## **CAPÍTULO 4**

#### 4 Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil

*Ana Rita Oliveira Hahn*<sup>1</sup>; *Jair Weschenfelder*<sup>1,2</sup>; *Beatriz Farias Melo*<sup>3</sup>; *Lauro Júlio Calliari*<sup>3</sup>; *João Pedro Gross Lague*<sup>2</sup>; *Natacha de Oliveira*<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- <sup>2</sup> Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- <sup>3</sup> Laboratório de Oceanografia Geológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande.
- <sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo.

#### Abstract

The seismic stratigraphic analysis of the Rio Grande do Sul continental shelf, southern Brazil, revealed river incisions developed under regressive sea level conditions. Around the Last Glacial Maximum, the former courses of the Jacuí, Camaquã, Piratini, Jaguarão and La Plata rivers had their mouths about the 120 m isobath. Periods of sea level stabilization during the last main transgressive phase resulted in the establishment of Jacuí and Camaquã rivers mouths and, further south, the La Plata rivers in the paleolevels between -100 and -80 m; the Camaquã river course would move further south towards the Albardão drainage system, to which the former flow of other drainages would follow. Subsequently, new stabilizations occurred around the -70, -60 and -50 m, in a scenario where the coastal drainage flowed into a former lagoon. The MeltWater Pulse-1B caused a pulse of transgression and the consequent *in situ* drowning by overstepping of the fluvial incisions, whose features were then preserved in the stratigraphic record. Stabilizations also occurred between -40 and -20 m, the last one where the mouths of the Jacuí and Camaquã rivers were located, with the some rivers draining into the same lagoon body that they flowed previously and that remained active. The

transgression remained occurring in pulses until the Holocene sea level highstand. The study area, in a passive continental margin suitable to widespread fluvial incisions, enabled high accommodation rates, resulting in the flooding of these incisions and preservation of the related sedimentary features.

**Key-words:** Incised Valleys, Base Level, Upper Pleistocene, Holocene Transgression.

### Resumo

A análise sismoestratigráfica da plataforma continental do Rio Grande do Sul, sul do Brasil, revelou incisões fluviais desenvolvidas sob condições regressivas do nível do mar. No Último Máximo Glacial, os cursos pretéritos dos rios Jacuí, Camaquã, Piratini, Jaguarão e Prata tinham suas desembocaduras em torno da isóbata de 120 m. Durante a transgressão, estabilizações resultaram no estabelecimento da foz dos rios Jacuí e Camaquã e, mais ao sul, de um dos cursos do Prata nos paleoníveis entre as isóbatas de 100 e 80 m; um dos cursos do Camaquã deslocaria-se mais para o sul rumo ao sistema de drenagem do Albardão, para o qual seguiria o fluxo pretérito de outras drenagens. Posteriormente, novas estabilizações ocorreram nas isóbatas 70, 60 e 50 m, sendo o destino da drenagem costeira um corpo lagunar onde havia o Paleoalbardão. O *MeltWater Pulse-1B* provocou um pulso de aceleração da transgressão e o afogamento *in situ* – *overstepping* – das incisões, preservando-as. Estabilizações também ocorreram em -40 e -20 m, essa última profundidade onde se situavam a foz dos rios Jacuí e Camaquã, estando os rios de alguns sistemas de drenagem desaguando no mesmo corpo lagunar que desaguavam anteriormente e que permaneceu ativo. A transgressão permaneceu ocorrendo em pulsos até atingir o nível de mar alto do Holoceno. A área de estudo, apresentando um caráter de margem continental passiva e com predisposição para a formação de incisões fluviais, possibilitou altas taxas de acomodação, ocorrendo a inundação dessas incisões e uma maior preservação dos pacotes sedimentares.

**Palavras-Chave:** Vales Incisos, Nível de Base, Pleistoceno Superior, Transgressão Holocênica.

## 4.1 Introduction

River channels and incised valleys correspond to stratigraphic features of the Quaternary preserved in coastal plains and continental shelves, since they correspond to records of changes in the base level (Zaitlin *et al.*, 1994; Blum *et al.*, 2013). Consequently, these features record the constant adjustments of the fluvial balance profile to changing environmental conditions imposed. Adjustments of the environment to variations in the base level, controlled by eustasia and/or tectonics, will occur according to the existing accommodation space, the latter corresponding to the volume of space available for sedimentary filling and resulting from the relationship between the sea level variation and local sedimentary input (Blum *et al.*, 2013).

Incised valleys are features corresponding to elongated topographic lowlands, eroded fluvially and wider than a channel, being characterized by erosional surfaces with truncation of old strata (Payton *et al.*, 1977; Posamentier and Allen, 1999). They have been recognized in studies of coastal evolution during the Quaternary using seismic stratigraphy in shallow submerged environments. On the coast of Brazil, seismic stratigraphic studies have identified incised valleys in continental shelf environments and associated these features with drainage systems developed at times of sea level below the current one, as in Schwarzer *et al.* (2006), Gomes and Vital (2010), Vital *et al.* (2010), Gomes *et al.* (2014) and Aquino da Silva *et al.* (2016) on the inner continental shelf of the equatorial and northeastern sectors of Brazil.

On the inner continental shelf adjacent to São Paulo and Rio de Janeiro, incised valleys have been recognized in Conti (2009), Conti and Furtado (2009), Borges and Nittrouer (2015) and Alves and Mahiques (2019) studies. In the Southern Brazil, Kowsmann and Costa (1974), Abreu and Calliari (2005), Weschenfelder *et al.* (2005, 2006, 2008, 2010, 2014) and Campos *et al.* (2009) studies, among others, have identified incised valleys and paleochannels not only on the continental shelf but also in the coastal plain. These studies associated the incisions with pleistocene river drainage systems. Hahn *et al.* (2019) and Hahn and Weschenfelder (2020) asserted that the incised valleys and paleochannels identified in RS coastal zone are highly applicability indicators of regressive sea levels in the context of this region.

This research focuses on the evolution of coastal drainage systems that dissected the Rio Grande do Sul (RS) State continental shelf along the Upper Pleistocene and Holocene. Through shallow seismic and the interpretation of architectural elements equivalent to the Upper Quaternary fluvial depositional systems, preserved in the subsurface sedimentary packages, correlations were established with multiple indicators of marine paleolevels and paleolines of the coast previously analyzed in former studies, reconstructing these fluvial paleodrainage systems existing in times when the sea level was below the current level.

#### **4.1.1 Regional Settings**

The study area covers the coastal zone and the continental shelf of RS, which corresponds to the upper part of the Pelotas sedimentary basin. The basin is bordered by the Florianópolis High to the north and the Polonio High to the south, in Uruguay, with the 3,000 m isobath marking the approximate bathymetric limit to the east. The western limit of the basin corresponds to the basement highs of the Uruguai-Sul-Rio-Grandense Shield (Batista, 2015) (Figure 1).

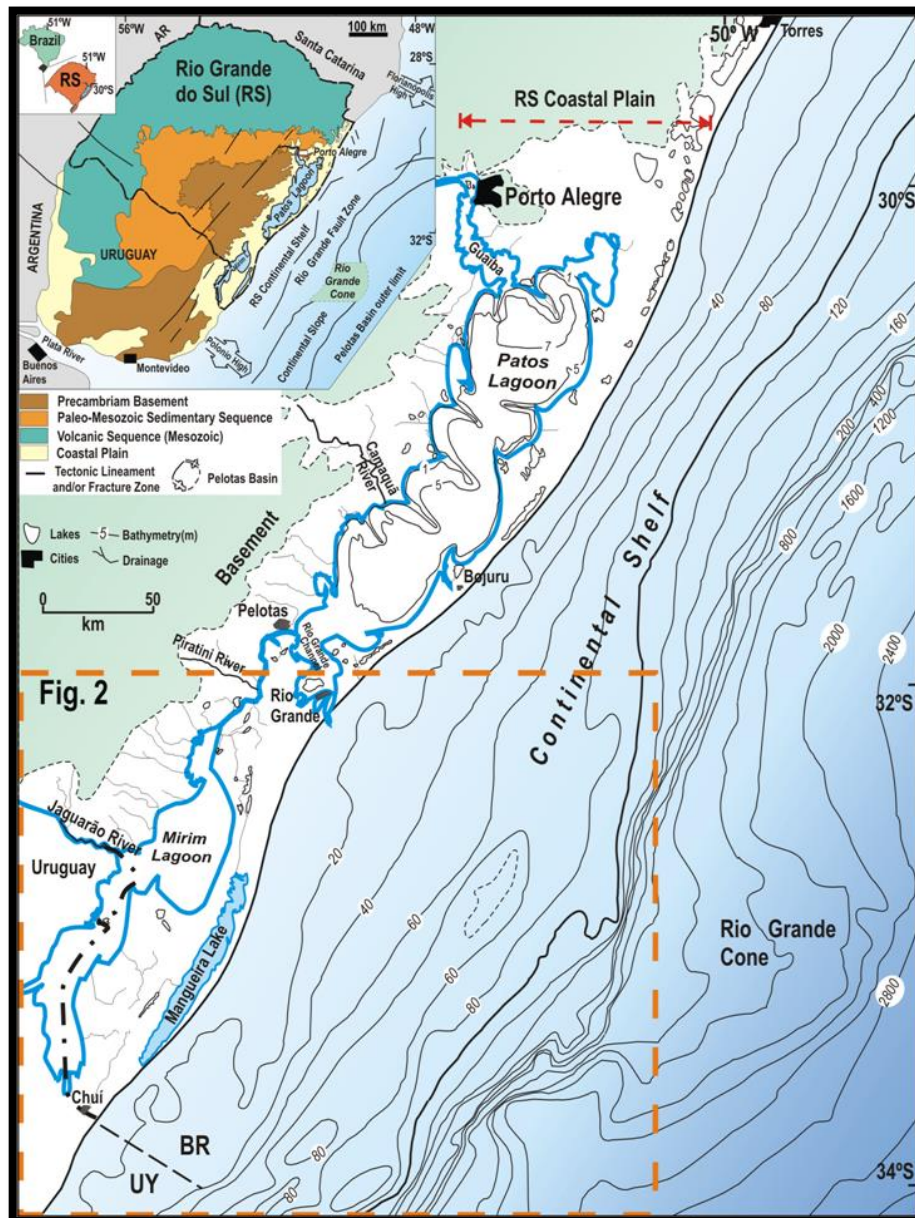


Figure 1: Location map of the study area. **Upper panel:** main physiographic and geologic structures of the basement and the Pelotas Basin (modified from Carraro *et al.*, 1974 e Corrêa, 1987). **Main panel:** bathymetry of the oceanic area from Corrêa (1996) and of the Patos Lagoon from Toldo *et al.* (2000). **Bottom dashed inset** is the location of the map of figure 2.

The Pelotas basin was formed following the fragmentation of the Gondwana supercontinent between the end of the Mesozoic and the beginning of the Cenozoic. The RS continental shelf is the physiographic province of the submerged portion of the basin, and the RS coastal plain is the emerged portion, both sculpted during the Quaternary climatic oscillations (Peltier, 1998 and 2002).

These climatic oscillations left four lagoon-barrier depositional systems preserved in the RS coastal plain: the systems I and II have controversial ages of approximately (~) 400 and ~325 thousand years (ka) before present (BP) (Villwock *et al.*, 1986; Villwock and Tomazelli, 1995; Tomazelli and Villwock, 2000) or ~325 and ~200 ka BP respectively (Lopes *et al.*, 2010a, 2010b, 2010c; Rosa *et al.*, 2017), while the systems III and IV correspond to the transgressive events of ~125 and ~7 ka BP respectively, according to the above-mentioned studies. The barrier-lagoon systems I and II had their genesis associated, respectively, with the oxygen isotope stages 9 and 7 (Marine Isotope Stage 9- MIS9 and MIS7e), while the systems III and IV correspond to the isotopic stages MIS5e and MIS1, respectively (Villwock *et al.*, 1986; Villwock and Tomazelli, 1995; Tomazelli and Villwock, 2000; Lopes *et al.*, 2010a, 2010b, 2010c; Rosa *et al.*, 2017). A new record of a similar island-barrier environment in the RS coastal plain have been recently identified by Dillenburg *et al.* (2019), which lies between systems III and IV and have been associated with the transgressive event of the oxygen isotope stage corresponding to MIS3 (Bitencourt *et al.*, 2020).

The continental shelf of RS remained subaerial up to approximately its breaking zone – around the 150 and 180 m isobaths - during the Last Glacial Maximum (LGM) (Martins, 1984; Martins *et al.*, 1985; Martins *et al.*, 2005). The studies carried out by Corrêa (1984, 1987 and 1996) and by Corrêa *et al.* (2008) in this region identified, respectively, the predominance of terrestrial clastic sediments of relict or palimpsest nature and of heavy minerals that would have been transported after the dissection of the rocks of the Sul-Rio-Grandense shield and the Paraná Basin by drainage systems. According to Corrêa *et al.* (2008), these sediments were transported by river courses that covered much of the RS continental shelf when it was subaerial exposed during the LGM and drowned by the subsequent transgression, some of which are still found immersed in the Holocene beaches of RS and associated with the Pleistocene drainage of the Jacuí River (Barros *et al.*, 2008; Weschenfelder *et al.*, 2008; Baitelli, 2012).



## 4.2 Materials and Methods

The present study was developed from the mapping of seismic architectural elements from geoaoustic records, whose features provides clues of the RS coastal environmental scenario during the Late Pleistocene and Holocene. The seismic data were obtained during several oceanographic research cruises on the Atlantic Ocean (Figure 2), onboard the Atlântico Sul Research Vessel of the Federal University of Rio Grande (FURG), corresponding to the Anchoita 2012 Project. The seismic records were obtained by a profiler (SBP) operating at the frequency of 3.5 kHz.

FURG provided the raw data for further processing in the SonarWiz 5® software (Cheseapeak Technology Inc.), in which some procedures were applied to the dataset aiming enhance the resolution of the seismic reflectors (Figures 3 to 7). To convert the two-way travel time to depths it was considered values of sound speed of 1,650 m/s in the sediments and 1,500 m/s in the water column (Jones, 1999). The results from the seismic analysis were integrated with other indicators of sea level variations from literature into a Geographic Information System (GIS) aiming to construct an environmental scenario to the RS coastal zone and shelf during a certain period (Figure 8).

This seismic stratigraphic analysis covered the bathymetric levels until approximate the 120 m isobath. It was performed through the identification of seismic reflectors, geometric termination patterns between them, and discontinuities and non-conformity surfaces in the sedimentary package. Through this, the methodology focused on identifying the base of the incised valleys and mapping the relief dissection surface related to the LGM, so defining the former drainage network.

The seismic stratigraphy method considered the conceptualization and methodology systematized in Payton (1977), where Vail *et al.* (1977) and Mitchum *et al.* (1977) described discontinuity as the interruptions of acoustic impedance and/or geometric relationships between the strata of the sedimentary package shown by the record, while non-conformity as discontinuity surfaces representative of depositional gaps or erosion between one sedimentary sequence and another, as occurs with subaerial unconformity. In this same concept presented in Payton (1977), contact relation and termination patterns between reflectors are systematized and related to

significant variations in depositional processes, such as onlaps, downlaps, toplaps, erosional truncations, and offlaps.

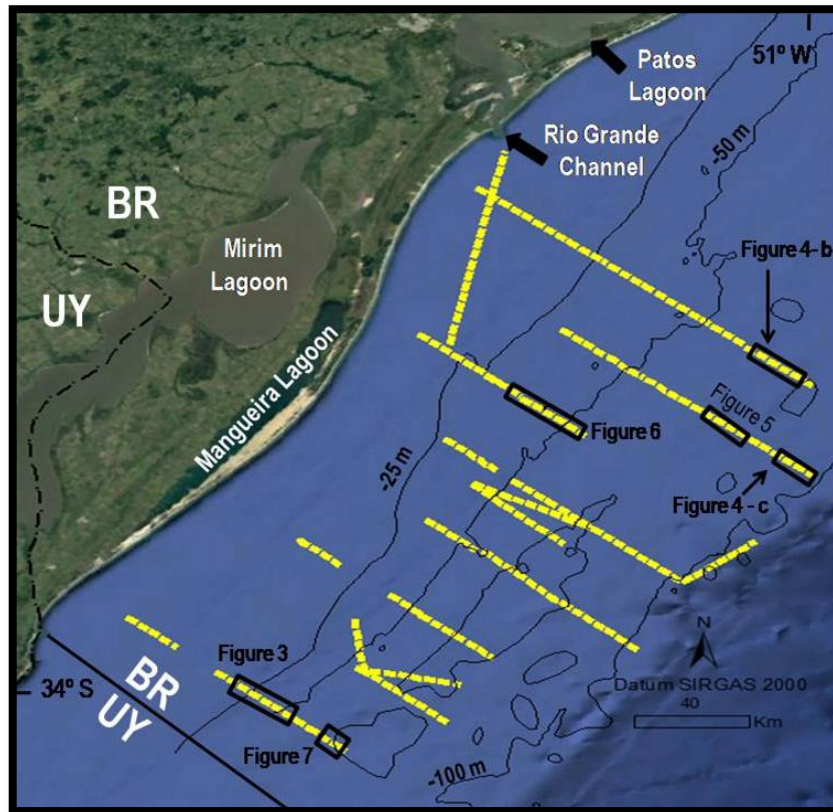


Figure 2: Location of the seismic profile lines and records showed in the figures 3 to 7. See regional location on figure 1.

### 4.3 Results

Along the seismic profiles a series of sedimentary packages with topography low showing erosive truncation against overlapping surfaces were identified, as is showed in figures 3 to 7, where two types of seismic horizons were defined: *Seismic Horizon 1* (SH1), corresponding to the deepest seismic reflector in the sedimentary package whose termination occurs by erosive truncation against the surfaces superimposed on it; and *Seismic Horizon 2* (SH2), a seismic surface occurring in these packages overlapping the reflector corresponding to SH1. In turn, some identified topographic low do not have these horizons well defined, such as the low

identified in Profile 8 (Figure 3), which instead presents an acoustic noise similar to signal loss.

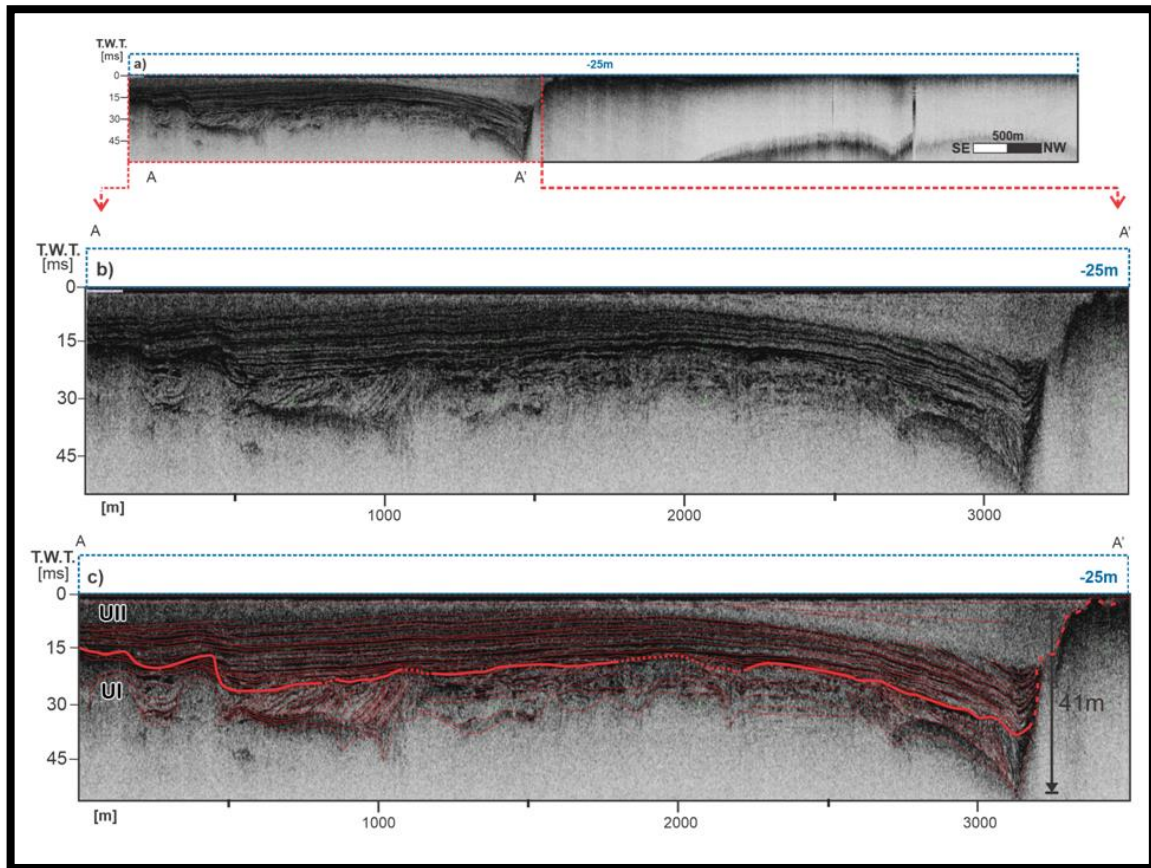


Figure 3: Seismic record of the profile 8 (a), approximately isobaths of 25 m (See position on figure 2), showing a topographic low (b) and the seismo-depositional architectural elements (c) with two different seismic units: Unit I (UI) and II (UII). Vertical scale in two-way traveltime (TWT), in milliseconds.

In the sedimentary package the depth at which the SH1 is located, referring to the center of the main incisions, varies over the analyzed profiles and in which it was identified, but its average is -22.4 m below seabed, which is the average thickness of the sedimentary package to fill the features consequently. The mean depth at which the SH1 is found, referring to the incision margins, in turn, is around -9.5 m in relation to the seabed, being variable throughout the study area as well.

The seismic line 1, acquired close to the mouth of the Patos Lagoon, shows a series of topographic lows presenting incisions with widths ranging from ~5 km to ~400 m, an average depth of HS1 of -18 m at the base of the incisions in relation to the seabed and of -10 m in the HS1 referring to the margins of the features in relation

to this bottom. The pattern of filling in the incisions identified in the bathymetric sectors around 100 m (Figure 4 - B and C) is of medium signal amplitude at the base of the features and homogeneous signal in its intermediate and upper portions, while others incisions located around the -30 m present a filling pattern with a greater number of seismic discontinuities.

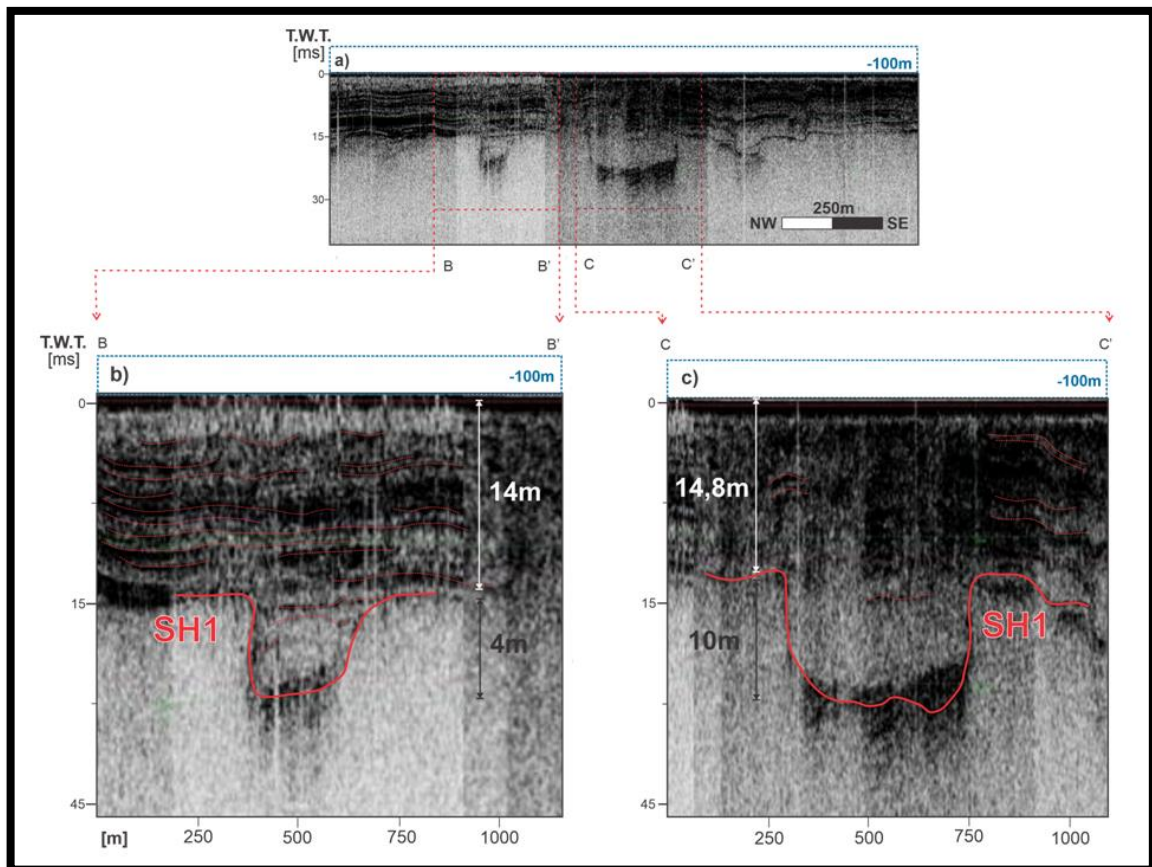


Figure 4: Seismic record of the profile 1 (a), approximately isobaths of 100 m, showing the seismo-depositional architectural elements of two incisions (b and c). Vertical scale in two-way traveltime (TWT), in milliseconds.

The seismic line 2 was surveyed on the shelf at latitude similar to the northern morphologic cell of Mirim Lagoon. It recorded an incision around the 90 m isobaths with the SH1 at ~31 m deep from its lowest point to the seabed was identified, with the SH1 referring to the margins of the incision at ~19 m in depth (Figure 5). The approximate width of this feature is ~1 km and its filling pattern is heterogeneous, with seismic discontinuities and delineation of stratal facies. The main reflectors downlaps at the base in the east edge of the feature and onlaps in the top of the west

margin of the feature. Another incision in this echogram - around the 58 m isobath - presented the SH1 at ~16.5 m deep in its lower portion, approximately 200 m wide and a sedimentary filling pattern with discontinuities seismic that resemble erosion or non-deposition surfaces.

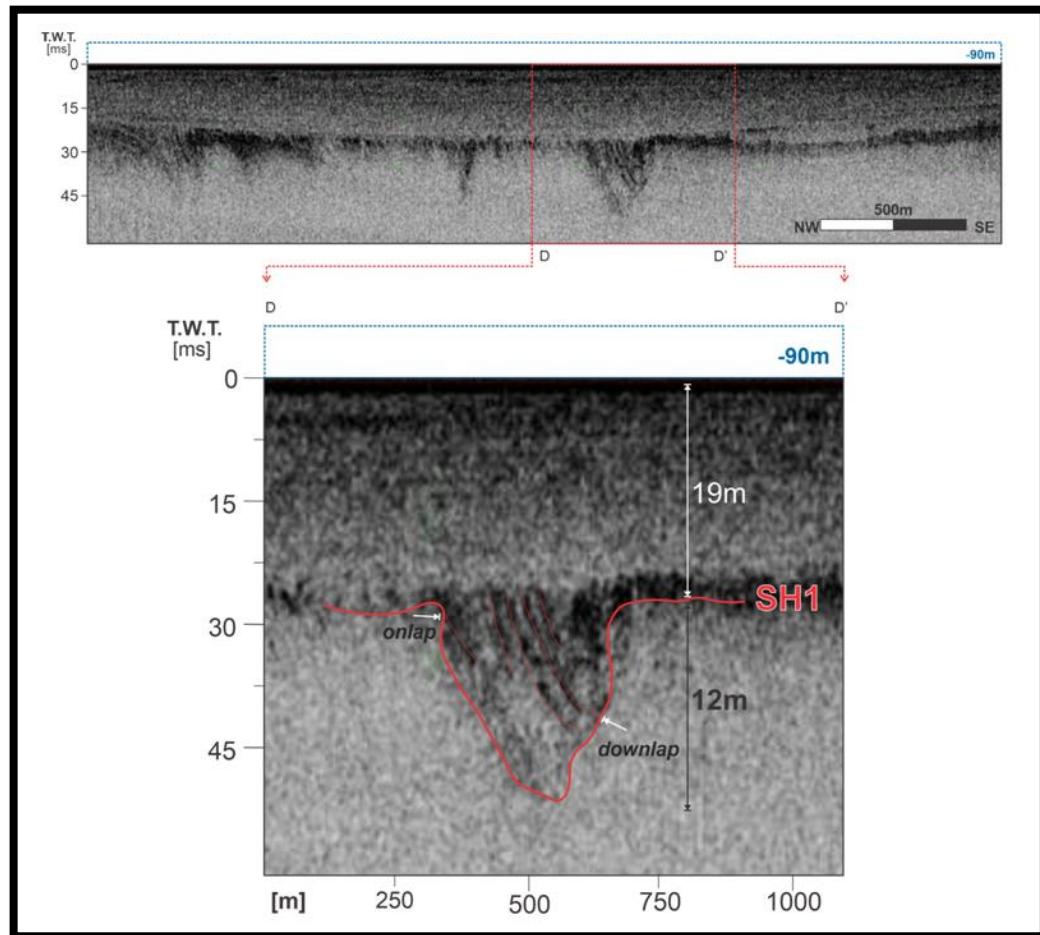


Figure 5: Seismic record of the profile 2, approximately isobaths of 90 m, showing the SH1 and the seismo-depositional architectural elements of an identified incision (E-E'). Vertical scale in two-way travelttime (TWT), in milliseconds.

A series of fluvial incisions were identified along the seismic line 3, and the deeper incision is found around the 48 m isobath, with its lowest point at -33 m depth and its margin, in turn, close to the current seabed (Figure 6). The width of this feature is variable depending on a significant gap in SH1 that truncates the layers below it. In the deepest portion such feature is approximate 750 m width, the amplitude of the reflectors is very low and a predominantly homogeneous package dominates the first 8 m of the sedimentary infilling. Further up in the seismic record

the incision is wider, reaching up to ~1.5 km width. Above SH1 the sedimentary infilling presents several remarkable seismic discontinuities, these reflectors having a wavy morphology and onlapping terminations against the west edge of the incision.

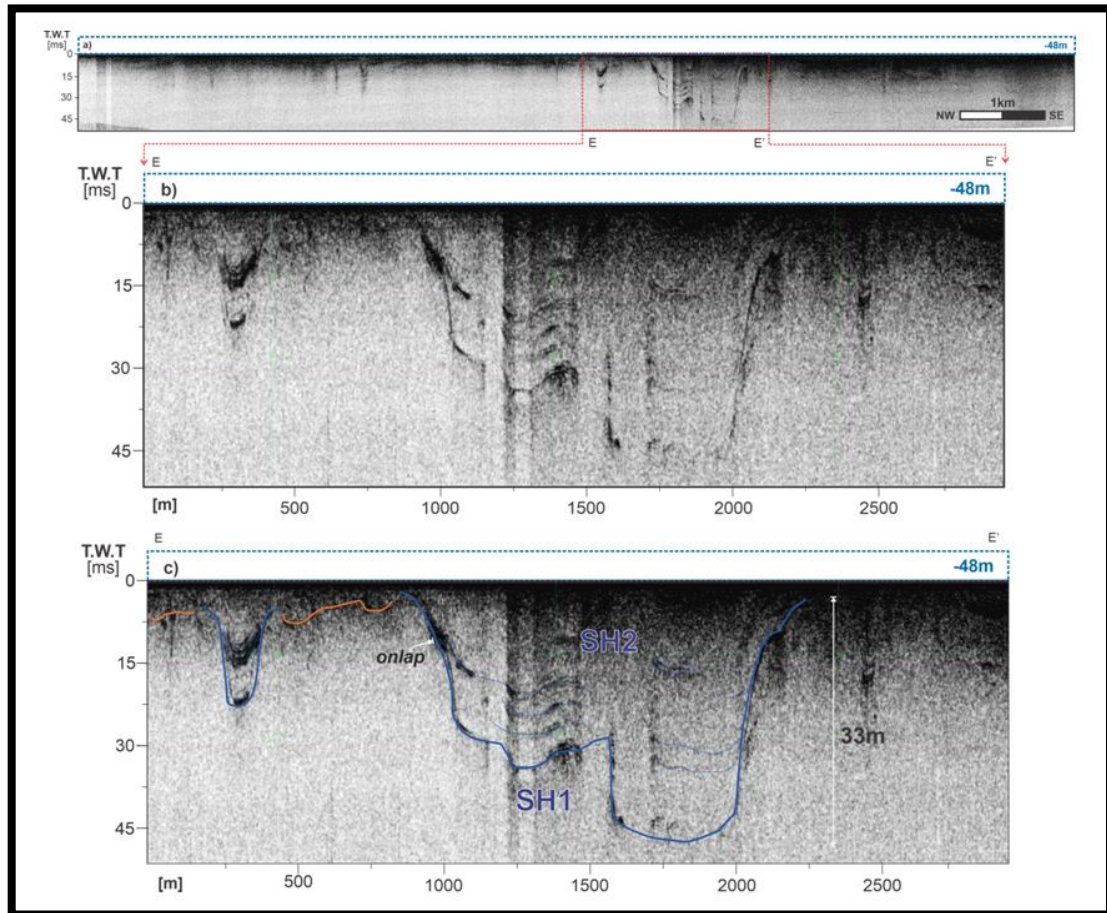


Figure 6: Seismic record of the profile 3 (a), acquired approximately at 48 m isobaths in the south of RS continental shelf. The record shows a remarkable incision (b) and the main reflectors related to it are indicated (c). Vertical scale in two-way traveltime (TWT), in milliseconds.

Three incisions were identified in the seismic line 5: two around 45 m isobath, where depths of SH1 in the lower portion are -24 m in both, and another one around the 60 m isobath, where the depth of HS1 in the lowest portion is -21 m. The width of one incision is up to 1,000 m and its filling pattern - as in the incisions showed in figure 6 - shows seismic discontinuities corresponding to successive reactivation surfaces on top of each other. Others incisions not only present this same pattern of sedimentary filling, as well as the SH1 of both consists of a more irregular morphology.

In the seismic line 8, in addition to the deep feature illustrated in figure 3, another incision was identified in the sector of the inner continental shelf further from the coast (Figure 7), around the 50 m isobath, presenting an approximate width of 1 km. The SH1 corresponding to the lowest part of the incision occurs at a depth  $\sim$  -18 m below the seabed, while the SH1 corresponding to the margins of the feature occurs -5 m below the current sea bottom. Similar to the pattern identified in the seismic lines 3 and 5, the incision infilling pattern is heterogeneous, with variation in the response of the acoustic signal between the reflectors and delimitation of stratal facies that follow the inclination of the truncation surface of the underlying package (NW direction, same as the reflectors shown in figure 3). The termination patterns show reflectors onlapping the east margin of the incision and downlapping to the west.

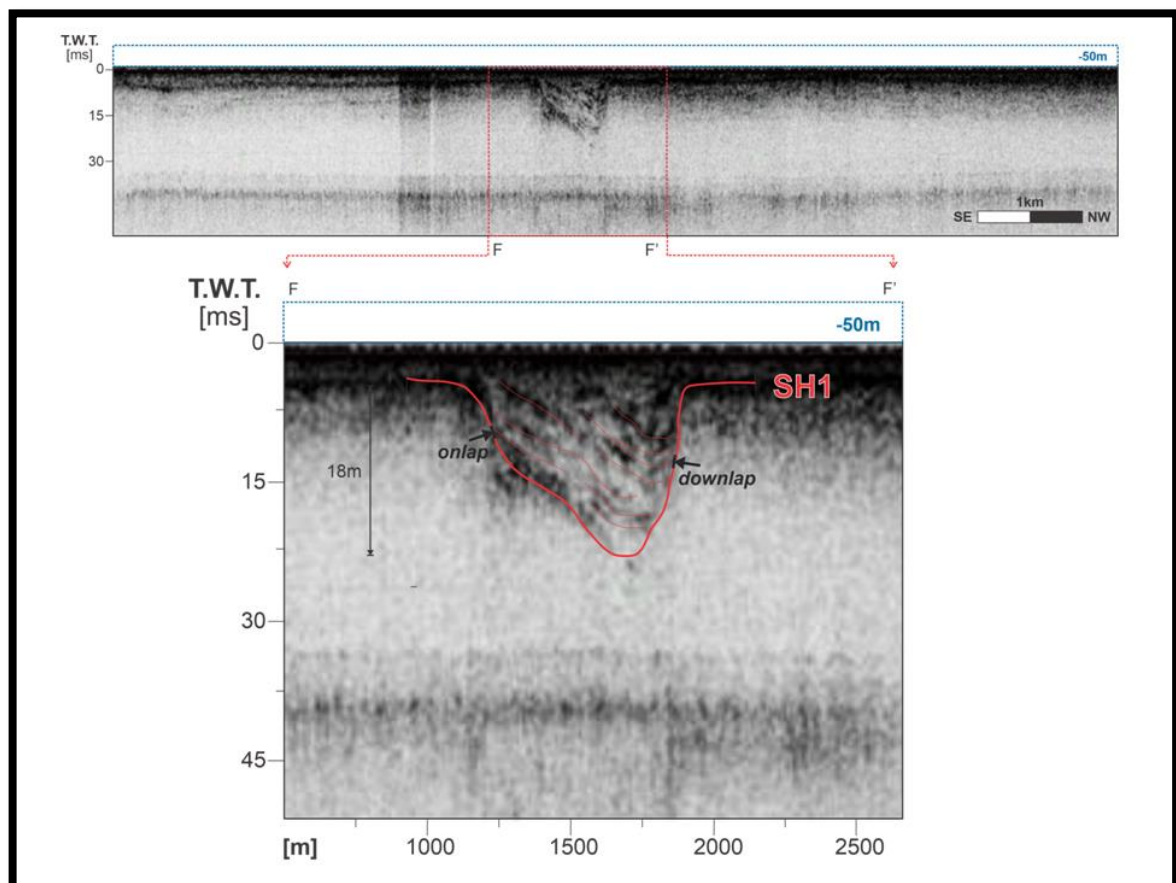


Figure 7: Seismic record of the profile 8, at isobaths of around 50 m, in the south of RS continental shelf, showing the SH1 and the main seismo-depositional architectural elements (G-G'). Vertical scale in two-way travelttime (TWT), in milliseconds.

#### 4.4 Discussion

Not only the geometry and amplitude of the acoustic signal response of the reflectors but also the contact relations and the termination patterns between them resemble architectural elements corresponding to different eustatic phases of the last 20 ka BP in southern Brazil, where depositional systems associated with paleodrainages occupied the current continental shelf. The seismo-depositional architectural elements correspond to coastal progradation and retrogradation, showing variation between periods of marine regression and marine transgression (Figures 3 to 7). The mapped features are located at an average depth of -16 m (SH1 referring to the center of the base and the margins of the river incisions) in relation to the current seabed. According to previous seismic stratigraphic studies in the study area, the Pleistocene surface is around -15 to -20 m below the current seabed, with the Holocene sedimentary package varying from 20 to 5 m thick (Camargo, 2015), corroborating that the SH1 corresponds to the Upper Pleistocene relief dissection surface related to the LGM.

The spatialization of paleotopographic lows interpreted as incised valleys and fluvial paleochannels enabled the elaboration of the scenario illustrated in Figure 8, corresponding to the river drainage systems in the study area related to the LGM, and other scenarios formed during the subsequent transgression. The correlation of the marine paleolevels indicators currently submerged in the study area with the periods of stabilization of the relative sea-level throughout the transgression was carried out based on Corrêa (1990) and in previous studies about the evolution of the RS coast in the Upper Pleistocene and Holocene.



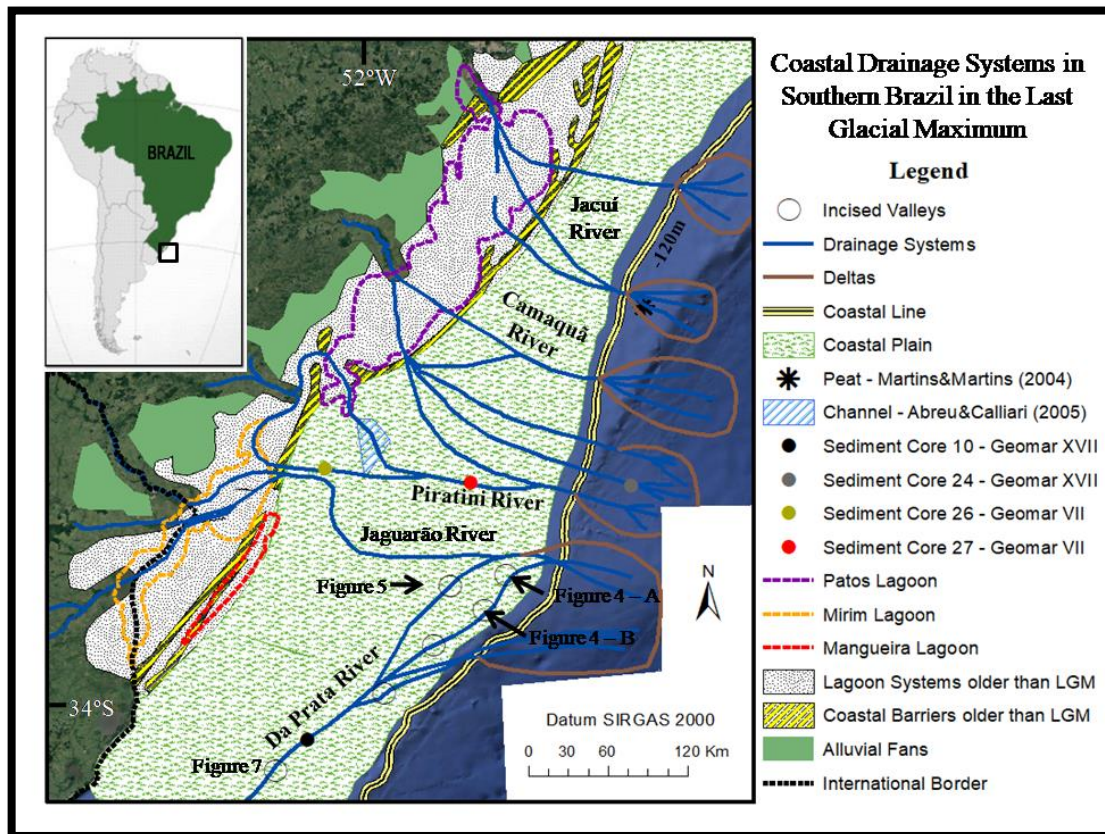


Figure 8: A supposed drainage system scenario of the RS coastal zone (Southern Brazil) during the LGM considering the multisource data presented and discussed in this paper.

During the LGM, the relative sea level in the study area was approximately in the 120 m isobath and the former coastal river courses (Jacuí, Camaquã, Piratini and Jaguarão) presented their mouths at the current depths of this isobath, as well as the former La Plata course, which corresponding incisions are shown in Figures 4 (B and C), 5 and 7. The premise to this reconstruction is that erosive surfaces with remarkable incision, identified in seismic records of the RS coastal zone (Weschenfelder *et al.*, 2014 and 2016), record the development of fluvial systems across the continental shelf during an event of forced regression related to the LGM. Bortolin *et al.* (2018 and 2019) identified two seismic stratigraphic units in the RS coastal plain, relating the deepest unit in the sedimentary package to a Forced Regression Systems Tract (FRST) developed during the regressive stage before the transgression that preceded the LGM, while the overlying layer would correspond to sediments of the Low-Level Systems Tract (LLST) related to the LGM.

Four stratigraphic cores of Operation GEOMAR (CECO, 1978 and 1984) that coincide with the paleodrainage regions mapped in Figure 8 were described as having a predominantly muddy and sandy composition. Martins and Martins (2004) identified a peat deposit in a sector that coincides with the possible mouth of the Paleojacuí in the LGM. Therefore, not only the spatialization of incised valleys enabled the elaboration of the scenario illustrated in Figure 8, but also stratigraphic cores and the peat deposited identified by Martins and Martins (2004) illustrate this paleodrainage network scenario.

The evolutionary model developed by Corrêa (1990) for the current continental shelf in the south of the country during the last thousands of years of the Upper Pleistocene and part of the Holocene divides this evolutionary line into three phases: from ~17.5 to ~16 ka BP, during the LGM and when the sea level was between -120 and -130 m below the current level; from ~16 to ~11 ka BP, when the sea level increased from the stabilization between -100 and -110 m to the approximated paleolevels between -80 and -90 m and, subsequently, between -70 and -60 m; and, finally, from ~11 to ~6.5 ka BP, when the stabilizations in the paleolevels around -45 and -32 m and between -25 and -20 m occurred (Corrêa, 1990). According to this model, between ~15 and ~13 ka BP, stabilizations occurred around 100, 90 and 80 m isobaths, with these levels being the probable region of the mouth of the Paleojacuí and Paleocamaquã rivers, as well as the probable region of the mouth of the Paleoplata, further south.

One of the paths on the Camaquã River, however, would move further south towards a system of water bodies where Campos *et al.* (2009) and Rocha *et al.* (2014) identified topographic lows and associated them with the Albardão paleodrainage system, to which the Piratini, Jaguarão and La Plata paleodrainages would flow. The La Plata River, between ~15 and ~13 ka BP, had two possible trajectories to its mouth: one towards the coast line and which remained active after the LGM (Figure 7) and another towards the Albardão system.

According to the evolutionary model of Corrêa (1990), before the last 11 ka, the sea level raised from the current isobaths between 80 and 90 m to levels between -70, -60 and -50 m, remaining the relative sea level at these levels up to ~8.5 ka BP, since lagoon bodies were identified in these bathymetric regions by Asp Neto (1999) and Melo (2017) and inferred as from that stage. Melo (2017) identified

water bodies in the northern sector of the study area and associated them to the drainages of the Mampituba, Cardoso and Três Forquilhas rivers for ~8.5 ka BP, in addition to being associated with a lagoon body to where the mouths of these rivers flowed. In the southern sector of the RS continental shelf, Asp Neto (1999) also identified a large lagoon, in the Paleoalbardão location, where the paleocourses of Camaquã, Piratini, Jaguarão and La Plata would drain to, being a possible member of this receiving lagoon body the paleochannel analyzed by Abreu and Calliari (2005), active since the LGM.

The La Plata drainage system between ~12 and ~8.5 ka BP is possibly associated with the river incisions mapped on seismic line 3 (Figure 6), in the current bathymetric region of 50 m. Around 11 ka BP, when the sea level was possibly in the region of the current 70 and 60 m isobaths, the deepest incision of the feature corresponded to the sector in which the channel was active, being drowned and forming a new incision made in the vicinity of the feature due to the elevation and stabilization of the base level in the current 50 m isobath. The low amplitude of the reflectors and the homogeneity of the package in the deepest portion of the channel to the point from which the feature has its width widened reflects a sea level rise through a pulse-shaped acceleration. The largest number of seismic discontinuities of the reflectors from the depth of ~30 ms in relation to the current bottom representing a reduction in the speed of transgression.

According to Stanford *et al.* (2006 and 2011) and Gornitz (2012), the sea level rise pulse characterized as MeltWater Pulse (MWP)-1B, which occurred between ~11 and ~9 ka BP, would have resulted in an acceleration of the transgression that was underway. Studies by Gardner *et al.* (2007), Zecchin *et al.* (2011), Cooper and Green (2016), Cooper *et al.* (2018, 2019), Green *et al.* (2013) and Pretorius *et al.* (2019), among others, found stabilizations of the sea level during Holocene transgression in the current 60 and 50 m isobaths. Those stabilizations have been associated with a climatic cooling period called Younger Dryas (Ardelean *et al.*, 2017), following than a raising sea level due to the acceleration pulse of the MWP-1B and resulting in overstepping - *in situ* drowning - of the features previously formed during the stabilization and preserving them. The same process, possibly, occurred in the study area and is registered in the valley incised in Figure 6, since seismic facies related to

the base of incision are preserved, reflecting the transgressive pulse of the MWP-1B overstepping the feature.

After the stabilization and acceleration pulse that occurred around in the 50 m isobath, the transgression was resumed and another possible sea level stabilization occurred at the current 45, 32, 25 and 20 m bathymetric levels, these last two stabilizations occurred at ~6.5 ka BP and are responsible for the formation of beachrocks, a paleoshoreline indicator (Corrêa, 1990; Buchmann *et al.*, 2001). Asp Neto (1999) identified beach and lagoon deposits in the 18, 16, 12 and 10 m isobaths, possibly formed as the transgression occurred through acceleration pulse intercalated with periods of slowdown and stabilization.

The incised valley identified in seismic line 1 and shown in Figure 3 is characterized as one of the possible courses of the La Plata River, with acoustic anomalies due interstitial gas in the sediments. In the RS coastal zone studies by Abreu and Calliari (2005), Weschenfelder *et al.* (2005, 2006 and 2016), Weschenfelder and Corrêa (2018) and Oliveira (2017) associated the occurrence of shallow gas to the degradation of the organic matter deposited in paleoenvironments, which was buried and preserved with the displacement of marine facies towards the continent during the Holocene transgression. The mapping of gas occurrences in lagoon bodies and on the RS continental shelf allowed to verify that these deposits are associated with features such as paleochannels (Abreu and Calliari, 2005; Weschenfelder *et al.*, 2005, 2006 and 2016; Weschenfelder and Corrêa, 2018; Oliveira, 2017), corroborating the assertion that the feature shown in Figure 3 corresponds to one of the drainage courses of the La Plata River for ~6.5 ka BP, possibly flowing to the lagoon body mapped by Asp Neto (1999) or even the marine paleolevel located in 25 and 20 m isobaths.

The architectural filling pattern of most of the observed incisions, which overlap the subaerial unconformity corresponding to the LGM (HS1), presented this characteristic of deactivation and reactivation of paleodrainage associated with the fall and rise of the base level, as observed in Figure 6. The transgressive sedimentary package from which the paleodrainages were no longer reactivated is seen as another architectural pattern of deposition on the features, in which the reflectors show less irregular and more plane-parallel geometries, reflecting the pattern of valleys of coastal plains defined by Zaitlin *et al.* (1994). This pattern is

characterized by the filling of the incised valleys by river, estuarine and marine sediments, from the base to the top of the channel, representing a complete cycle of base level variation where the transgressive package, corresponding to the marine sediments, will present this greater homogeneity in the geometry of the reflectors and from which there will be no more reactivation of the valleys and channels.

According to Mattheus and Rodriguez (2011), one of the main factors of sediment accommodation on passive margin continental shelves, as in the case of the study area, is the eustatic and isostatic changes, the last having a relation with the morphology of the coast over which the transgression occurs. The most characteristic morphology of non-glacial passive margins, in turn, is the river incisions developed in periods of regressive sea level and drowned by subsequent marine transgressions (Posamentier and Allen, 1999; Törnqvist *et al.*, 2006). These incisions are elements associated with high accommodation rates that enable when flooded in the transgression, greater deposition and higher potential for preservation of regressive and transgressive sedimentary packages (Mattheus and Rodriguez, 2011), as is the case of the study area.

#### **4.5 Conclusion**

The river incisions in the study area occurred as a function of the existing accommodation space, with river erosion being one of the main factors of interference in the creation of this accommodation space and corresponding to the entire stratigraphic framework of a coastal zone. In the seismic records of the RS continental shelf, features denominated SH1 and SH2 were identified, the first corresponding to the sub-aerial unconformity formed during the LGM, in which the largest number of incised paleovalleys are identified. The feature denominated SH2 corresponds to the filling packages of these incisions.

According to the seismic records, the drainage systems that currently flow into water bodies on RS coastal zone presented its mouth around the 120 m isobath during the LGM. The subsequent deglaciation resulted in a sea level rise and stabilizations around 100 and 80 m isobaths (between ~15 and ~13 ka BP), region of the probable mouth of the some drainages. However, other rivers would move further

south towards the Albardão drainage system. After the resumption of the transgression, the sea level elevation continued until a new stabilization around the 70, 60 and 50 m isobaths (between ~12 and ~8.5 ka BP), where lagoon bodies were developed in the northern and in the southern of the RS continental shelf. The drainage network would flow into these lagoon bodies and to the coastline, until occurs the pulse-shaped acceleration of the transgression corresponding to the MWP-1B (between ~11 and ~9 ka BP) and consequent overstepping of the features, preserving them in the sedimentary package.

Associated with the transgression trend, sea level stabilizations occurred around the 45, 32 and, at ~6.5 ka BP, around 25 and 20 m isobaths, with the drainage network flowing to this coastal paleoshoreline and into the same lagoon body that it have flowed between ~12 and ~8.5 ka BP. Finally, the transgression continued occurring in intervals with intermittent pauses at other levels, changing this drainage network until the Holocene sea level highstand. The RS continental shelf, therefore, has predisposition for the development of fluvial incisions because its character of a non-glacial passive continental margin. This characteristic enabled high accommodation rates, which resulted in flooding of these incisions through the Upper Pleistocene and Holocene transgression and a consequent greater deposition and preservation of the coastal sedimentary package of the Pelotas basin.

### **Acknowledgements**

To the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for granting scholarships n. 140451 / 2016-1 and n. 301668 / 2017-5.

To prof. Gilberto Griep (*in memoriam*), member of this study.

### **References**

- Abreu, J. G. N. & Calliari, L. J. 2005. Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(2): p. 123-132.
- Alves, D. P. & Mahiques, M. M. 2019. Deposition and sea-level evolution models for Upper Pleistocene/Holocene in the São Sebastião Channel (SE Brazilian coast)

inferred from 5th order seismic stratigraphy. *Journal of South American Earth Sciences*, 93: p. 382-393.

Aquino da Silva, A. G. A.; Stattegger, K.; Schwarzer, K.; Vital, H. 2016. Seismic stratigraphy as indicator of late Pleistocene and Holocene sea level changes on the NE Brazilian continental shelf. *Journal of South American Earth Sciences*, 70: p. 188-197.

Ardelean, C. F.; Israde-Alcántara, I.; González-Hernández, R.; Arroyo-Cabrales, J.; Solis-Rosales, C.; Rodríguez-Ceja, M.; Pears, B. R.; Watling, J.; Macías-Quintero, J. I.; Ocampo-Díaz, Y. Z. E. 2017. The Younger Dryas black mat from Ojo de Agua, a geoarchaeological site in Northeastern Zacatecas, Mexico. *Quaternary International*, 463: p. 140-152.

Asp Neto, N. E. 1999. *Evidências de Estabilizações do Nível do Mar no Quaternário da Plataforma Continental Interna entre Rio Grande e Chuí – RS, Brasil*. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Baitelli, R. 2012. *Evolução Paleogeográfica do Sistema de Paleodrenagem do Rio Jacuí na Planície Costeira do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Barros, C. E.; Nardi, L. V. S.; Dillenburg, S. R.; Baitelli, R.; Dehnhardt, B. A. 2008. Distribuição e origem dos minerais detríticos pesados das areias praias holocênicas do litoral norte do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, 38: p. 319-335.

Batista, C. M. A. 2015. Bacia de Pelotas: sumário geológico e setores em oferta. *Superintendência de Definição de Blocos da Agência Nacional do Petróleo*. Disponível em: [www.brasil-rounds.gov.br](http://www.brasil-rounds.gov.br). Acesso em setembro de 2019.

Bitencourt, V. J. B.; Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C. C.; Manzolli, R. P. 2020. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da barreira costeira holocênica no Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, nº.3.

Blum, M.; Martin, J.; Milliken, K.; Garvin, M. 2013. Paleovalley systems: insights from Quaternary analogs and experiments. *Earth-Science Reviews*, 116: p. 128-169.

Borges, H. V. & Nittrouer, C. A. 2015. The paleo-environmental setting of Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil, in the Late Pleistocene: interpretations from high-resolution seismic stratigraphy. *Brazilian Journal of Geophysics*, 33(4): p. 565-578.

Bortolin, E. C.; Weschenfelder, J.; Cooper, A. 2018. Incised valley paleoenvironments interpreted by seismic stratigraphic approach in Patos Lagoon, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 48(3): p. 533-551.

- Bortolin, E.; Weschenfelder, J.; Cooper, A. 2019. Holocene Evolution of Patos Lagoon, Brazil: The Role of Antecedent Topography. *Journal of Coastal Research*, 35(2): p. 357-368.
- Buchmann, F. S.; Seeliger, M.; Zanella, L. R.; Madureira, L.; Tomazelli, L. J.; Calliari, L. 2001. Análise batimétrica e sedimentológica no estudo do Parcel do Carpinteiro, uma paleolinha de praia pleistocênica na antepraia do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, 28(2): p. 109-115.
- Camargo, C. M. L. 2015. *Mapeamento Sismoestratigráfico da Superfície do Pleistoceno na Plataforma Continental da Bacia de Pelotas*. Rio Grande: Monografia de Conclusão do Curso de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande.
- Campos, P. C.; Weigert, S. C.; Madureira, L. S. P. 2009. Ecobatimetria e características acústicas do leito oceânico na região do Canal do Albardão–Rio Grande do Sul-Brasil. *Atlântica*, 31(1): p. 05-24.
- Carraro, C. C.; Gamermann, N.; Eick, N. C.; Bortoluzzi, C. A.; Jost, H.; Pinto, J. F. 1974. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Série Mapas, n. 8.
- CECO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica. 1978. Descrição dos testemunhos da plataforma continental sulbrasileira – GEOMAR VII. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CECO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica. 1984. Aspectos texturais e mineralógicos dos sedimentos superficiais da plataforma continental brasileira. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Clark, P. U.; Dyke, A. S.; Shakun, J. D.; Carlson, A. E.; Clark, J.; Wohlfarth, B.; Mitrovica, J. X.; Hostetler, S. W.; McCabe, A. M. 2009. The last glacial maximum. *Science*, 325(5941): p. 710-714.
- Chen, W.; Zhu, D.; Ciais, P.; Huang, C.; Viovy, N. & Kageyama, M. 2019. Response of vegetation cover to CO<sub>2</sub> and climate changes between Last Glacial Maximum and pre-industrial period in a dynamic global vegetation model. *Quaternary Science Reviews*, 218: p. 293-305.
- Conti, L. A. 2009. Evidências da evolução dos sistemas de paleodrenagens na plataforma continental da região de São Sebastião (Litoral Norte do Estado de São Paulo). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 10(2): p. 45-55.
- Conti, L. A. & Furtado, V. V. 2009. Topographic registers of paleo-valleys on the southeastern Brazilian continental shelf. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(2): p. 113-121.



- Cooper, A. & Green, A. 2016. Geomorphology and Preservation Potential of Coastal and Submerged Aeolianite: examples from Kwazulu-Natal, South Africa. *Geomorphology*, 271: p. 1-12.
- Cooper, J. A. G.; Meireles, R. P.; Green, A. N.; Klein, A. H. F. & Toldo Jr., E. E. 2018. Late Quaternary stratigraphic evolution of the inner continental shelf in response to sea-level change, Santa Catarina, Brazil. *Marine Geology*, 397: p. 1-14.
- Cooper, J. A. G.; Green, A. N.; Meireles, R.; Klein, A. H. F.; De Abreu, J. G. N. & Toldo Jr., E. E. 2019. Tidal strait to embayment: Seismic stratigraphy and evolution of a rock-bounded embayment in the context of Holocene sea level change. *Marine Geology*, 415: p. 105972.
- Corrêa, I. C. S. 1984. Evolução da sedimentação holocênica da plataforma continental e talude superior entre Rio Grande e Torres – RS. *In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Anais...*, p. 63-77.
- Corrêa, I. C. S. 1987. Sedimentos superficiais da plataforma e talude continental do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 19(19): p. 95-104.
- Corrêa, I. C. S. 1996. Les variations Du niveau de la mer Durant lês derniers 17.500 B.P.: l'exemple de la plateforme continentale du Rio Grande do Sul – Brésil. *Marine Geology*, 130: p. 163-178.
- Corrêa, I. C. S.; Ayup-Zouain, R. N.; Weschenfelder, J.; Tomazelli, L. J. 2008. Áreas fontes dos minerais pesados e sua distribuição sobre a plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina. *Pesquisas em Geociências*. 35(1): p. 137-150.
- Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C.; Caron, F.; Cancelli, R.; Santos-Fischer, C. B.; Lopes, R. P. & Ritter, M. 2019. Sedimentary records of Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3) in southern Brazil. *Geo-Marine Letters*, p. 1-10.
- Gardner, J. V.; Calder, B. R.; Clarke, J. H.; Mayer, L. A.; Elston, G. & Rzhhanov, Y. 2007. Drowned shelf-edge deltas, barrier islands and related features along the outer continental shelf north of the head of De Soto Canyon, NE Gulf of Mexico. *Geomorphology*, 89(3-4): p. 370-390.
- Gomes, M. P. & Vital, H. 2010. Revisão da compartimentação geomorfológica da Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 40(3): p. 321-329.
- Gomes, M. P.; Vital, H.; Bezerra, F. H.; De Castro, D. L.; Macedo, J. W. D. P. 2014. The interplay between structural inheritance and morphology in the Equatorial Continental Shelf of Brazil. *Marine Geology*, 355: p. 150-161.
- Gornitz, V. 2012. The Great Ice Meltdown and Rising Seas: lessons for tomorrow. *Science Briefs of NASA*. Disponível em: <https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/>. Acesso em agosto de 2019.

Green, A.; Dladla, N.; Garlick, L. 2013. Spatial and Temporal Variations in Incised Valley Systems from the Durban Continental Shelf, Kwazulu-Natal, South Africa. *Marine Geology*. 335: p. 148-161.

Hahn, A. R. O.; Weschenfelder, J. 2020. Indicadores da Posição do Nível do Mar e da Linha de Costa Durante o Quaternário na Bacia de Pelotas, Sul do Brasil. *Revista Caminhos de Geografia*. Submitted.

Hahn, A. R. O.; Weschenfelder, J.; Melo, B. F.; Calliari, L. J.; Oliveira, N.; Lague, J. P., 2019. Integração entre sismoestratigrafia e indicadores múltiplos de variação do nível do mar no Pleistoceno tardio e Holoceno da bacia de Pelotas. In: *II Simpósio Brasileiro de Geologia e Geofísica Marinha, Boletim de Resumos*, p. 236, Porto Alegre, RS.

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

Kowsmann, R. O.; Costa, M. P. A. 1974. Interpretação de testemunhos coletados na margem continental sul brasileira durante a Operação GEOMAR VI. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, p. 297-304.

Lopes, R.; Buchmann, F. C. 2010a. Pleistocene mammals from the Southern Brazilian continental shelf. *Journal of South American Earth Sciences*, 31: p. 17-27.

Lopes, R.; Pereira, J. C. 2010b. Fossils of Scelidotheriinae Ameghino, 1904 (Xenarthra, Pilosa) in the Pleistocene deposits of Rio Grande do Sul, Brazil. *Gaea – Journal of Geoscience*, 6: p. 44-52.

Lopes, R.; Oliveira, L. C.; Figueiredo, A. M. G.; Kinoshita, A.; Baffa, O.; Buchmann, F. S. C. 2010c. ESR dating pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Quaternary International*, 212: p. 213-222.

Martins, I. D. R. 1984. Modelo sedimentar do cone de Rio Grande. *Pesquisas em Geociências*, 16(16): p. 91-189.

Martins, L. R.; Arienti, L. M.; Moura, Y. A.; Santos, N. M. 1985. Contribuição ao estudo da borda da plataforma continental do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 17(17): p. 24-44.

Martins, L. R.; Martins, I. R. 2004. Presença de turfa na plataforma continental do Rio Grande do Sul. *Gravel*, 2: p. 77-85.

Martins, L. R.; Urien, C. M.; Martins, I. R. 2005. Gênese dos sedimentos da plataforma continental atlântica entre o Rio Grande do Sul (Brasil) e Tierra del Fuego (Argentina). *Gravel*, 3: p. 85-102.

Mattheus, C. R. & Rodriguez, A. B. 2011. Controls on late Quaternary incised- valley dimension along passive margins evaluated using empirical data. *Sedimentology*, 58(5): p. 1113-1137.

Melo, B. F. 2017. *Estudo do Sistema de Drenagem Quaternário da Plataforma Continental na Porção Norte da Bacia de Pelotas*. Rio Grande: Monografia de Conclusão do Curso de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande.

Mitchum, R.M. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy. *In*: Payton, C.E. (ed.). *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*, American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, p. 205-212.

Oliveira, N. 2017. *Caracterização de Ocorrências de Gás Raso na Plataforma Continental Interna do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Payton, C. E. (ed.). 1977. *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, 26, p. 1-516.

Peltier, W.R. 1998. Global glacial isostatic adjustment and coastal tectonics. *In*: Stewart, I. & Vitafinzi, C. (Eds.). *Coastal Tectonics*. Geological Society Special Publication, 146, p. 1-29.

Peltier, W. R. 2002. On eustatic sea level history: Last Glacial Maximum to Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 21(1): p. 377-396.

Posamentier, H. W.; Allen, G. P.; James, D. P.; Tesson, M. 1992. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration significance. *AAPG bulletin*, 76(11): p. 1687-1709.

Posamentier, H. W.; Allen, G. P. 1999. *Siliciclastic Sequence Stratigraphic: concepts and application*. SEPM (Society for Sedimentary Geology), 204 p.

Pretorius, L.; Green, A. N.; Cooper, J. A. G.; Hahn, A.; Zabel, M. 2019. Outer-to inner-shelf response to stepped sea-level rise: Insights from incised valleys and submerged shorelines. *Marine Geology*, 416: p. 105979.

Ritter, M. D. N.; Erthal, F.; Coimbra, J. C. 2019. Depth as an overarching environmental variable modulating preservation potential and temporal resolution of shelly taphofacies. *Lethaia*, 52(1): p. 44-56.

Rocha, R.; Griep, G.; Weigert, S. 2014. Mapeamento do Paleoleito do Canal do Albardão, Bacia de Pelotas – Brasil. *Revista Geonorte*, 10(1): p. 203-207.

Rosa, M. L. C. C.; Barboza, E. G.; Abreu, V. S.; Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R. 2017. High-frequency sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2): p. 183-207.

Schwarzer, K.; Stattegger, K.; Vital, H.; Becker, M. 2006. Holocene coastal evolution of the rio Açu area (Rio Grande do Norte, Brazil). *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39: p. 141-145.

Silva, J. L. B. 2009. *Identificação do sistema de paleodrenagem na margem continental sul brasileira adjacente à Lagoa Mirim no Terciário Superior por sismica de reflexão*. Porto Alegre: Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Stanford, J. D.; Rohling, E. J.; Hunter, S. E.; Roberts, A. P.; Rasmussen, S. O.; Bard, E.; McManus, J.; Fairbanks, R. G. 2006. Timing of meltwater pulse 1a and climate responses to meltwater injections. *Paleoceanography*, 21(4). Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006PA001340>. Acesso em julho de 2020.

Stanford, J. D.; Hemingway, R.; Rohling, E. J.; Challenor, P. G.; Medina-Elizalde, M.; Lester, A. J. 2011. Sea Level Probability for the Last Deglaciation: a statistical analysis of far-field records. *Global Planet Change*, 79: p. 193-203.

Toldo Jr., E. E.; Dillenburg, S. R.; Corrêa, I. C.; Almeida, L. E. 2000. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16(3): p. 816-822.

Törnqvist, T. E.; Bick, S. J.; Van Der Borg, K.; De Jong, A. F. 2006. How stable is the Mississippi Delta? *Geology*, 34(8): p. 697-700.

Tomazelli, J. L.; Villwock, J. A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M. & De Ros, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Ed. CIGO/UFRGS; 444p.

Urien, C. M. & Martins, L. R. 1974. Sedimentos da plataforma continental sul americana entre Cabo Santa Marta (Brasil) e Terra do Fogo (Argentina). Parte 1. Texturas e Origem. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, *Anais...*, Porto Alegre, Brasil, 3: p. 213-223.

Vail, P. R.; Mitchum, R. M. & Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 4. Global cycles of relative changes of sea level: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation. In: Payton, C.E. (ed.). *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*, American Association of Petroleum Geologists Memoir 26.

Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J.; Loss, E. L.; Dehnhardt, E. A.; Horn Filho, N.; Bachi, F. A.; Dehnhardt, B. A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4: p. 79-97.

Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas do CECO/IG/UFRGS*. Porto Alegre, 8: p. 1-45.

- Vital, H.; Furtado, S. F. L. & Gomes, M. P. 2010. Response of the Apodi-Mossoró estuary-incised valley system (NE Brazil) to sea-level fluctuations. *Brazilian journal of Oceanography*, 58: p. 13-24.
- Weschenfelder, J.; Corrêa, I. C. S.; Aliotta, S. 2005. Elementos arquiteturais do substrato da lagoa dos Patos revelados por sísmica de alta resolução. *Pesquisas em Geociências*, 32(2): p. 57-67.
- Weschenfelder, J.; Corrêa, I. C.; Aliotta, S.; Pereira, C. M.; De Vasconcellos, V. E. B. 2006. Shallow Gas Accumulation in Sediments of the Patos Lagoon, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(3): p. 607-614.
- Weschenfelder, J.; Corrêa, I. C.; Toldo Jr., E. E.; Baitelli, R. 2008. Paleocanais Como Indicativo de Eventos Regressivos Quaternários do Nível do Mar no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26 (3): p. 367–375.
- Weschenfelder, J.; Corrêa, I. C.; Toldo Jr., E. E.; Baitelli, R. 2010. A drenagem pretérita do Rio Camaquã na costa do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 37 (1): p. 13 – 23.
- Weschenfelder, J.; Baitelli, R.; Corrêa, I.C.S.; Bortolin, E.C.; Santos-Fischer, C. B. 2014. Quaternary incised valleys in Southern Brazil coastal zone. *Journal of South American Earth Sciences*. 55: p. 83–93.
- Weschenfelder, J.; Klein, A. H. F.; Green, A. N.; Aliotta, S.; Mahiques, M. M.; Asp Neto, A.; Terra, L. C.; Corrêa, I. C. S.; Calliari, L.; 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: p. 93-107.
- 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*, 45(3): e0683.
- Zaitlin, B. A.; Dalrymple, R. W. & Boyd, R. O. N. 1994. The stratigraphic organization of incised-valley systems associated with relative sea-level change. *Incised-Valley Systems: origin and sedimentary sequences*. SEPM Special Publication, nº. 51.
- Zecchin, M.; Ceramicola, S.; Gordini, E.; Deponte, M.; Critelli, S. 2011. Cliff overstep model and variability in the geometry of transgressive erosional surfaces in high-gradient shelves: the case of the Ionian Calabrian margin (southern Italy). *Marine Geology*, 281(1-4): p. 43-58.

## **CAPÍTULO 5**

## 5 Indicadores múltiplos na reconstrução da evolução paleogeográfica do Quaternário costeiro do Sul do Brasil

*Ana Rita Oliveira Hahn<sup>1</sup>; Jair Weschenfelder<sup>1,2</sup>; Beatriz Farias Melo<sup>3</sup>; Lauro Júlio Calliari<sup>3</sup>; João Pedro Gross Lague<sup>2</sup>; Natacha de Oliveira<sup>4</sup>*

- <sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- <sup>2</sup> Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- <sup>3</sup> Laboratório de Oceanografia Geológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande.
- <sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo.

### Resumo

A análise integrada de diversos indicadores permite a reconstrução detalhada do cenário evolutivo dos ambientes costeiros. Este estudo considera indicadores multifontes de variação do nível do mar na reconstrução dos ambientes costeiros desenvolvidos desde o Último Máximo Glacial (UMG) no sul do Brasil. Durante o UMG, a linha de costa encontrava-se em torno (~) da atual isóbata de 120 m, para o qual confluía a rede de drenagem costeira. A deglaciação resultou na elevação do nível do mar, aos pulsos, e em estabilizações em diversos níveis batimétricos. Uma estabilização há ~15 mil anos Antes do Presente (ka AP) resultou no desenvolvimento de um sistema de corpos d'água para o qual passou a confluir uma parte das drenagens, o sistema fluvial do Albardão, separado do oceano por barreiras costeiras na atual batimetria entre 100 e 80 m. O *MeltWater Pulse* (MWP)-1A provocou a retomada abrupta da transgressão, resultando no afogamento *in situ* e consequente preservação dessas feições. Novas estabilizações, entre ~12 e ~8,5 ka AP, ocorreram entre -70 e -50 m, sendo formado um novo sistema de corpos lagunares onde havia o Paleoalbardão e um novo sistema de barreiras costeiras ao sul; ao norte, sistemas lagunares também se desenvolveram. O pulso de aceleração

da transgressão referente ao MWP-1B resultou, novamente, no afogamento *in situ* dessas paleolinhas de costa e em sua preservação sob os pacotes sedimentares transgressivos. A transgressão permaneceu sendo retomada e interrompida aos pulsos, ocorrendo uma nova estabilização há ~6,5 ka AP e a formação de um ambiente costeiro na batimetria atual de ~25 m. As oscilações climáticas ocorridas durante a deglaciação, como os *Younger Dryas* e a consequente estabilização entre -70 e -50 m, possibilitaram o desenvolvimento de linhas de costa. A abrupta aceleração da subida do nível marinho resultante dos MWPs ocasionou o afogamento *in situ* dessas paleolinhas costeiras, possibilitando sua preservação. Devido ao caráter de margem continental passiva não-glacial da área de estudo, o substrato é predisposto à formação de incisões fluviais e ao estabelecimento de barreiras costeiras. As incisões fluviais são associadas a altas taxas de acomodação, possibilitando maior deposição ao serem inundadas e, sob cenários de aceleração abrupta da transgressão, maiores potenciais de preservação das feições. Essa característica, somada à transgressão por meio de pulsos de redução e/ou aceleração da velocidade, foi fundamental para o afogamento e preservação das incisões fluviais e das barreiras em ambiente de plataforma continental.

**Palavras-Chave:** Nível do Mar, Paleolinhas de Costa, Transgressão Holocênica.

### **Abstract**

The integrated analysis of different indicators allows the detailed reconstruction of the evolutive scenario of coastal environments. This study uses multisource indicators of sea level variation in the reconstruction of the coastal environments developed since the Last Glacial Maximum (LGM) in the Southern Brazil. During the LGM, the shoreline was around the 120 m isobath, in which the coastal drainage network had their mouths. The deglaciation resulted in the sea level rising through pulses and in stabilizations at different bathymetric levels. A stabilization ~15 thousand years Before Present (ky BP) resulted in the development of a water bodies system, the Albardão fluvial system, where some rivers had their mouth. This fluvial system was separated from the ocean for a coastal barrier system around 100 and 80 isobaths. The Meltwater Pulse (MWP)-1A resulted in the abrupt resumption of the



transgression, drowning *in situ* and preserving these features. New stabilizations, between ~12 and ~8,5 ky BP, occurred around -70 e -50 m, developing a new lagoon bodies system where there was the Paleoalbardão. A new coastal barrier system in the southern of the study area was also developed, as were lagoon systems in the northern. The acceleration pulse of the transgression referred to MWP-1B resulted, again, in the *in situ* drowning of these paleoshorelines and in their preservation under the transgressive sedimentary packages. The transgression remained being resumed and interrupted through pulses, occurring a new stabilization ~6,5 ky BP. In this stabilization, a new coastal environment was developed in the current ~25 m isobath. The climatic oscillations that occurred during the deglaciation, as the *Younger Dryas* and the consequent stabilization around -70 and -50 m, made possible the developing of shorelines. The abrupt acceleration of the sea level rising due the MWPs resulted in the *in situ* drowning and in the preservation of these paleoshorelines. The study area is enabled to river incision and development of coastal barriers because has a non-glacial and passive continental margin character. The river incisions were associated to high accommodation rates, resulting in greater deposition during their flooding and greater preservation of the features under scenarios of abrupt acceleration of the transgression. This characteristic, added to transgression through pulses with speed reduction or/and acceleration, was fundamental to drowning and the preservation of the river incisions and coastal barriers in a continental shelf environment.

**Key-Words:** Sea Level, Paleoshorelines, Holocene Transgression.

## 5.1 Introdução

As barreiras costeiras correspondem ao principal elemento deposicional de costas dominadas por ondas e com baixo gradiente de declividade, constituindo-se de depósitos sedimentares lineares e paralelos à zona costeira (Dillenburg e Hesp, 2009). Segundo Hesp (1999) e Dillenburg e Hesp (2009), as barreiras costeiras possuem uma porção submersa (antepraia), uma porção parcialmente submersa-emersa de acordo com ondas e marés (praia e a zona de estirâncio) e uma porção emersa (pós-praia e dunas). A formação desses sistemas deposicionais, conforme

esses mesmos autores, ocorre a partir de um substrato com declividade apropriadamente suave (de acordo com Roy *et al.*, 1994, entre 0,05° e 0,8°), sedimento disponível e ondas, oferecendo as margens continentais passivas (*trailing edge coasts*) de Inman e Nordstrom (1971) abundante suprimento sedimentar e substrato com declividade suave (Dillenburg e Hesp, 2009).

Há um consenso entre a comunidade científica internacional que a maior parte das barreiras costeiras modernas iniciou seu desenvolvimento após o Último Máximo Glacial (UMG), ocorrido, aproximadamente (~), de 26,5 à 19 mil anos (ka) Antes do Presente (AP) (Chen *et al.*, 2019), sendo sua existência e suas posições atuais resultantes da translação de outras barreiras pretéritas (Roy *et al.*, 1994; Hesp, 1999; Dillenburg e Hesp, 2009). Conforme Cooper *et al.* (2016 e 2018), as respostas morfológicas dessas feições à transgressão marinha correspondem à erosão, agradação, progradação, *rollover* ou rolamento e *overstepping* ou afogamento *in situ* da barreira, sendo essas respostas associadas à relação entre as taxas de subida do nível marinho, o espaço de acomodação existente e o balanço sedimentar.

No *rollover* ou rolamento da barreira, o volume sedimentar da barreira é mantido, enquanto que no *overstepping* ou afogamento, a barreira é ultrapassada e afogada durante a transgressão, ocorrendo esse último em função de uma combinação de fatores (Cooper *et al.*, 2016 e 2018). De acordo com esses estudos, entre esses fatores, pode ser citada a velocidade rápida da subida do nível do mar, a suficiente cimentação da barreira antes de sua ultrapassagem durante a transgressão e a granulometria mais grossa dos sedimentos. Na plataforma continental do Rio Grande do Sul (RS), ambientes pleistocênicos e holocênicos encontram-se submersos e/ou soterrados, como altos topográficos e vales incisos identificados por diversos estudos (Buchmann *et al.*, 2001 e 2010; Buchmann, 2002; Abreu e Calliari, 2005; Campos *et al.*, 2009; Corrêa *et al.*, 2008, 2013, 2014 e 2015; Rocha *et al.*, 2014; Hahn *et al.*, 2020) e os terraços de estabilização marinha interpretados por Corrêa (1990 e 1996) como paleoníveis costeiros. Esses estudos, entre outros, evidenciam que essa plataforma continental é composta por uma série de indicadores de paleoníveis marinhos do Quaternário (Hahn e Weschenfelder, 2020), como são os sistemas do tipo laguna-barreira presentes na planície costeira adjacente.

Este estudo aborda a evolução da costa do sul do Brasil durante o Quaternário Superior, com enfoque no estudo evolutivo da plataforma continental do RS ao longo do Pleistoceno Superior e do Holoceno, estabelecendo-se comparações com ambientes sedimentares análogos e sincrônicos. Por meio da sísmica rasa e da interpretação de elementos arquiteturais equivalentes a sistemas deposicionais ativos durante o UMG e a transgressão holocênica, estabeleceram-se correlações com indicadores múltiplos de paleoníveis marinhos e de paleolinhas de costa, reconstruindo-se cenários geográficos anteriores ao cenário costeiro atual do sul do Brasil.

## **5.2 Área de Estudo**

A área de estudo (figura 1) corresponde ao setor central e sul da plataforma continental do RS, na bacia sedimentar de Pelotas. Essa bacia é limitada ao norte pelo Alto de Florianópolis e ao sul, em território uruguaio, pelo Alto de Polônio (Batista, 2015), sendo a isóbata de 3000 m o seu limite batimétrico aproximado.

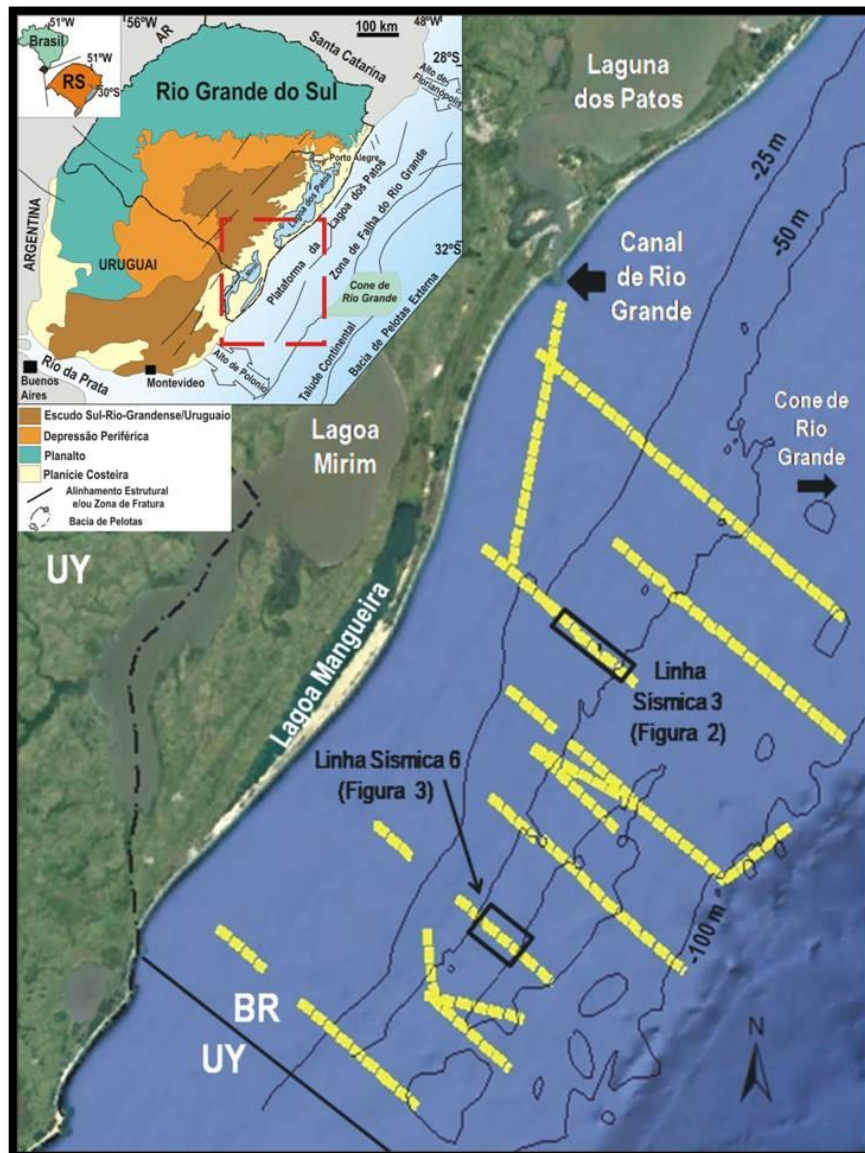


Figura 1: Localização da área de estudo. Mapa de situação com a fisiografia e as principais estruturas geológicas do embasamento e da bacia de Pelotas (modificado de Carraro *et al.*, 1974 e Corrêa, 1987). Imagem do *Google Earth*, com os perfis sísmicos mostrados nas figuras 2 e 3.

A bacia de Pelotas apresenta uma porção submersa e outra emersa: a plataforma, talude e sopé continentais são as províncias fisiográficas da porção submersa da bacia; a porção emersa, por sua vez, corresponde à Planície Costeira do RS (PCRGS), onde feições remanescentes de sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira registram os máximos transgressivos ocorridos no Quaternário. Durante o UMG, a plataforma continental do RS permaneceu sob exposição subaérea até, aproximadamente, sua zona de quebra, situada entre as atuais isóbatas de 150 e 180 m (Martins, 1984; Martins *et al.*, 2005).

Na PCRGS, as oscilações climáticas ocorridas no Quaternário e as variações no nível do mar associadas a elas resultaram na formação de sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, quatro dos quais parcialmente preservados e amplamente analisados. As idades atribuídas aos sistemas I e II são controversas: ~400 e ~325 ka AP (Villwock *et al.*, 1986; Villwock e Tomazelli, 1995; Tomazelli e Villwock, 2000) ou ~325 e ~200 ka AP respectivamente (Lopes *et al.*, 2010a, 2010b e 2010c; Rosa *et al.*, 2017), associados aos respectivos estágios isotópicos do oxigênio (*Marine Isotope Stage* – MIS) 9 e 7. Os sistemas III e IV correspondem, respectivamente, aos eventos transgressivos de ~125 (MIS5) e de ~7 ka AP (MIS1) (Villwock *et al.*, 1986; Villwock e Tomazelli, 1995; Tomazelli e Villwock, 2000; Lopes *et al.*, 2010a, 2010b e 2010c; Rosa *et al.*, 2017). O estudo de Dillenburg *et al.* (2019) identificou, entre os sistemas III e IV, uma feição similar a um ambiente de barreira na PCRGS, o qual pode estar associado ao evento transgressivo referente ao MIS3 (Bitencourt *et al.*, 2020a e 2020b) e representaria um novo sistema deposicional do tipo laguna-barreira na zona costeira do RS.

### 5.3 Materiais e Métodos

A metodologia consistiu no mapeamento de elementos arquiteturais sísmicos em registros geoacústicos da plataforma continental do RS, obtidos através de um perfilador de subsuperfície na frequência de 3,5 kHz, pertencentes ao Projeto Anchoita 2012. Os dados sísmicos brutos foram cedidos pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG), sendo seu posterior processamento feito no *software* SonarWiz (*Chesapeake Technology Inc*®) por meio da aplicação de filtros, remoção de ruídos e variação de ganho do sinal. Para conversão em profundidade do tempo de ida e volta da onda sísmica (*two-way travel time*), foram considerados os valores médios de velocidade do som de 1.650 m/s nos sedimentos e de 1.500 m/s na coluna d'água (Jones, 1999). Para a reconstrução da zona costeira do RS ao longo do Pleistoceno Superior e do Holoceno, integrou-se essa análise sísmica a outros indicadores múltiplos de variação do nível do mar através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), indicadores esses advindos de pesquisa bibliográfica (Hahn e Weschenfelder, 2020).

A análise sísmica contemplou níveis batimétricos até a isóbata aproximada de 120 m, objetivando-se a identificação de refletores, padrões geométricos de terminação entre eles, descontinuidades e superfícies de inconformidade sísmica nos pacotes sedimentares da plataforma continental do RS. A conceituação empregada corresponde à metodologia sistematizada em Payton (1977), onde Vail *et al.* (1977) e Mitchum *et al.* (1977) descreveram descontinuidade como as interrupções da impedância acústica e/ou das relações geométricas entre os refletores do pacote sedimentar. Nessa mesma conceituação, a inconformidade foi descrita como uma superfície de descontinuidade representativa de intervalos deposicionais ou de erosão entre uma sequência sedimentar e outra, como ocorre com a discordância subaérea. As relações de contato e os padrões geométricos de terminação entre os refletores, como *onlaps*, *downlaps*, *toplaps*, truncamentos erosionais e *offlaps*, também foram sistematizadas em Payton (1977), sendo esses padrões correspondentes a variações significativas nos processos deposicionais.

#### 5.4 Resultados

A análise sistemática do conjunto de dados sísmicos permitiu a identificação de um significativo número de feições sismo-deposicionais nos ecogramas da plataforma continental do RS. Dentre os principais elementos arquiteturais sismo-deposicionais, destacam-se aqueles de feições vinculadas a baixos e altos paleotopográficos, que se desenvolveram em ambiente costeiro e que estão preservados no pacote sedimentar da atual plataforma continental, soterrados sob o fundo marinho.

Os dados de Hahn *et al.* (2020) são aqui revisitados, visto que são úteis na análise sísmica efetuada neste estudo e na reconstrução do cenário ambiental costeiro relacionado ao UMG e à transgressão holocênica na zona costeira do RS. Em ambas as análises, os baixos paleotopográficos são relacionados a vales incisos, enquanto que os altos paleotopográficos, identificados no presente estudo, são relacionados a sistemas de barreiras costeiras.

#### 5.4.1 Baixos Paleotopográficos

Dois tipos de superfícies sísmicas foram identificados nos registros: uma superfície mais profunda, correspondente à inconformidade sísmica e cujo padrão de terminação contra as superfícies sobrepostas ocorre por truncamento erosivo, e essas superfícies sobrepostas a essa inconformidade. Além deste estudo, Hahn *et al.* (2020) também identificou uma série de baixos paleotopográficos interpretados como vales incisos na plataforma continental do RS. Apesar de variável, a profundidade média dessa superfície sísmica mais profunda correspondente à base central dos vales incisos é de -22,4 m abaixo do fundo marinho atual, tendo sido essa a média identificada da espessura do pacote de preenchimento sedimentar das incisões. No que se refere às margens dos vales, identificou-se sua localização sob uma profundidade média de -9,5 m em relação ao fundo atual, enquanto que os valores referentes à largura das incisões apresentaram significativa variação, de ~400 à ~5000 m.

Os padrões de preenchimento identificados nas incisões também apresentaram considerável variação, inclusive pacotes de preenchimento de uma mesma incisão apresentaram variações ao longo da sua espessura em alguns setores da área de estudo. O preenchimento de algumas incisões apresentou respostas homogêneas ao sinal acústico, enquanto que, em outras incisões, descontinuidades sísmicas entre os refletores demonstraram heterogeneidade. Alguns vales incisos, como o vale mostrado na figura 2, apresentaram não apenas variação na sua largura ao longo do pacote onde se encontra inserido, mas também variações no seu padrão de preenchimento, alternando-se respostas homogêneas e descontinuidades sísmicas. As relações de contato e os padrões geométricos de terminação entre os refletores também variaram entre as incisões, ocorrendo truncamentos em *onlap* contra a margem oeste dos vales (do oceano para a costa) (figura 2).

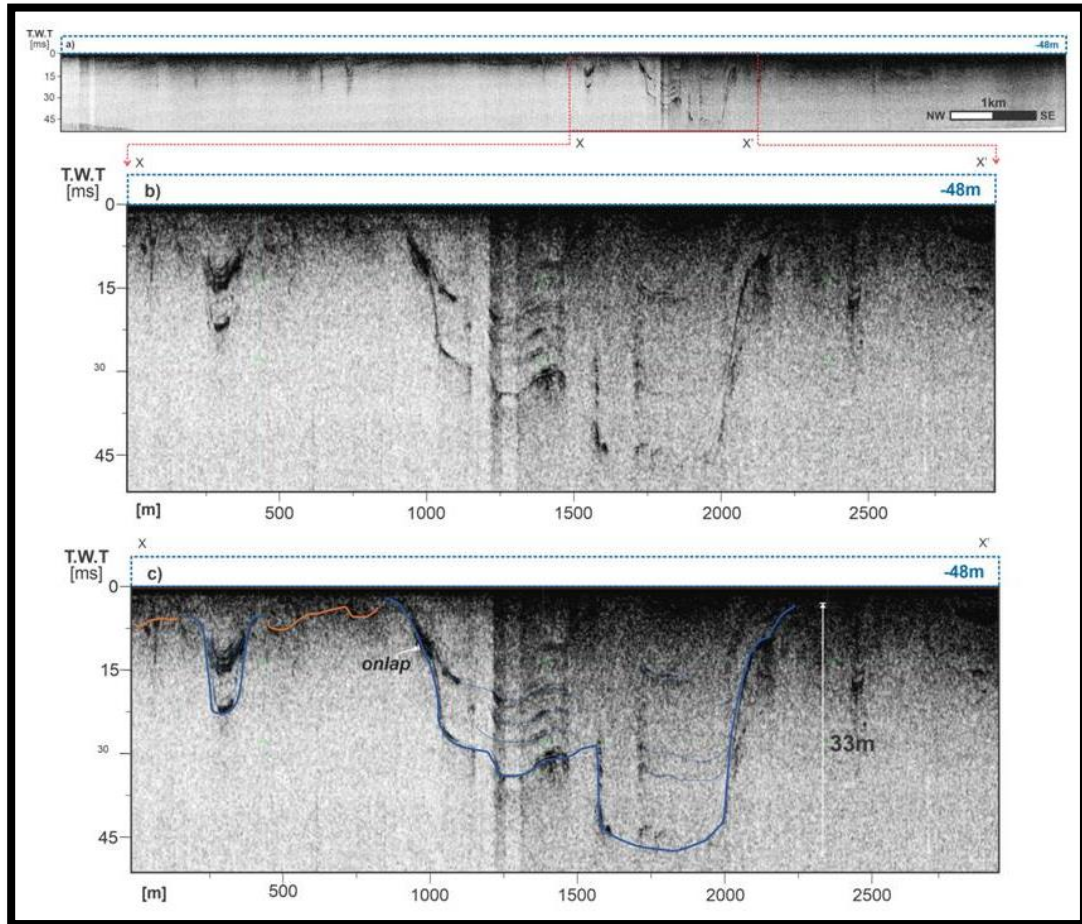


Figura 2: a) Registro da linha sísmica 3, na isóbata ~48 m. b) Registro de uma incisão e (c) os principais refletos marcados, identificando-se padrões de terminação em *onlap*. Escala vertical em *two way traveltime* (TWT), tempo de ida e volta da onda sísmica em milissegundos. Modificado de Hahn *et al.* (2020, SUBMETIDO).

Refletos com morfologia semelhante a taludes nas margens de uma feição rebaixada no terreno e uma série de refletos plano-paralelos preenchendo esse rebaixamento foram identificados na área de estudo. A ocorrência dessa feição foi verificada nas adjacências do Canal de Rio Grande, na linha sísmica 1, entre as atuais isóbatas de ~50 e ~60 m, apresentando uma superfície de inconformidade sísmica cuja profundidade na sua parte mais rebaixada é de -21,5 m em relação ao atual fundo marinho, truncamento erosivo irregular do pacote sotoposto e largura aproximada de 10 km.



### 5.4.2 Altos Paleotopográficos

Um significativo número de altos paleotopográficos nos pacotes sedimentares foi identificado, nos quais a profundidade em que se encontra a inconformidade que delimita duas unidades sísmicas distintas – Unidade 1 (U1) e Unidade 2 (U2) - também é variável. A média da profundidade da base das elevações é cerca de -29 m em relação ao atual fundo marinho, enquanto que o topo das elevações encontra-se, em média, próximo a esse fundo. A largura média das elevações é ampla, contemplando quase a totalidade dos perfis, os quais abrangem dezenas de km.

Nas linhas sísmicas levantadas nas adjacências do Canal de Rio Grande e na plataforma adjacente ao setor norte da Lagoa Mirim, elevações paleotopográficas com morfologia altamente irregular foram registradas, sendo -18 m a profundidade média do refletor referente à superfície de inconformidade sísmica no seu setor mais baixo, ou seja, na base das feições. A extensão dessas elevações varia de ~5 à ~17 km, tendo sido identificadas por meio da superfície de inconformidade sísmica, cuja impedância acústica detectada é proeminente em relação aos refletores sotopostos e sobrepostos. Acima da superfície de inconformidade, refletores plano-paralelos e terminações em *onlap* na direção NW (do oceano para a costa) dos perfis são identificados, delimitando-se a U2 como a unidade sísmica sobreposta à inconformidade e a U1, por sua vez, como a unidade sotoposta.

Ao longo de quase todas as linhas sísmicas, tanto nas que foram identificados vales incisos, quanto nas que foram identificadas as elevações, padrões de terminação em *downlap* foram registrados em setores do pacote sobreposto à inconformidade, como é mostrado na figura 3, na qual também são identificadas a U1 e a U2 e padrões em *toplap* nas elevações. A direção para a qual os refletores estão efetuando sua terminação em *downlap* face à superfície de inconformidade varia, ocorrendo de SE para NW ou em ambas as direções em alguns perfis. A terminação em *toplap* nas elevações ocorre próxima ao atual fundo marinho, como também é mostrado na figura 3.

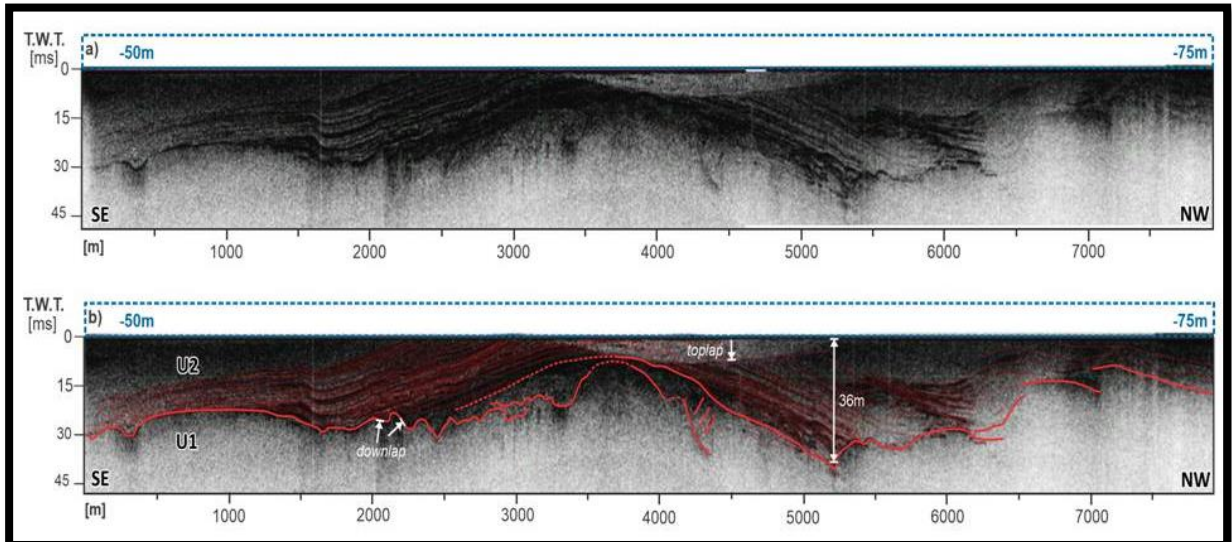


Figura 3: a) Linha sísmica 6, isóbatas de 50 à 75 m, mostrando o registro sísmico e (b) seus elementos arquiteturais sismo-deposicionais, identificando-se padrões de terminação entre refletor em *downlap* e em *toplap*. Escala vertical em *two way traveltime* (TWT), tempo de ida e volta da onda sísmica em milissegundos.

Das elevações identificadas, as que apresentam maior extensão horizontal estendem-se por ~12,8 km em média, variando de feições com extensões médias de ~7 à ~18,5 km. As extensões dessas elevações possuem, inclusive, continuidade horizontal ao longo delas, apresentando sua base em um determinado perfil da linha sísmica e seu topo em outro perfil dessa linha, base e topo esses com profundidade média, respectivamente, de quase -30 m em relação ao atual fundo marinho e adjacente a esse fundo.

#### 5.4.3 Cenários Evolutivos

A espacialização dos vales incisivos mapeados por Hahn *et al.* (2020) e dos altos paleotopográficos interpretados como paleobarreiras costeiras possibilitou a elaboração dos cenários ilustrados nos mapas das figuras 4, 5, 6 e 7. No SIG, a correlação dessas feições, caracterizadas como indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas de costa, com outros indicadores de variações do nível do mar da área de estudo, como aqueles revisados por Hahn e Weschenfelder (2020), resultou na reconstrução desses ambientes desenvolvidos no UMG e ao longo da transgressão holocênica. O modelo evolutivo de variação do nível do mar no sul do

Brasil de Corrêa (1990) e Corrêa *et al.* (1996) foram utilizados como base na qual essa reconstrução apoiou-se.

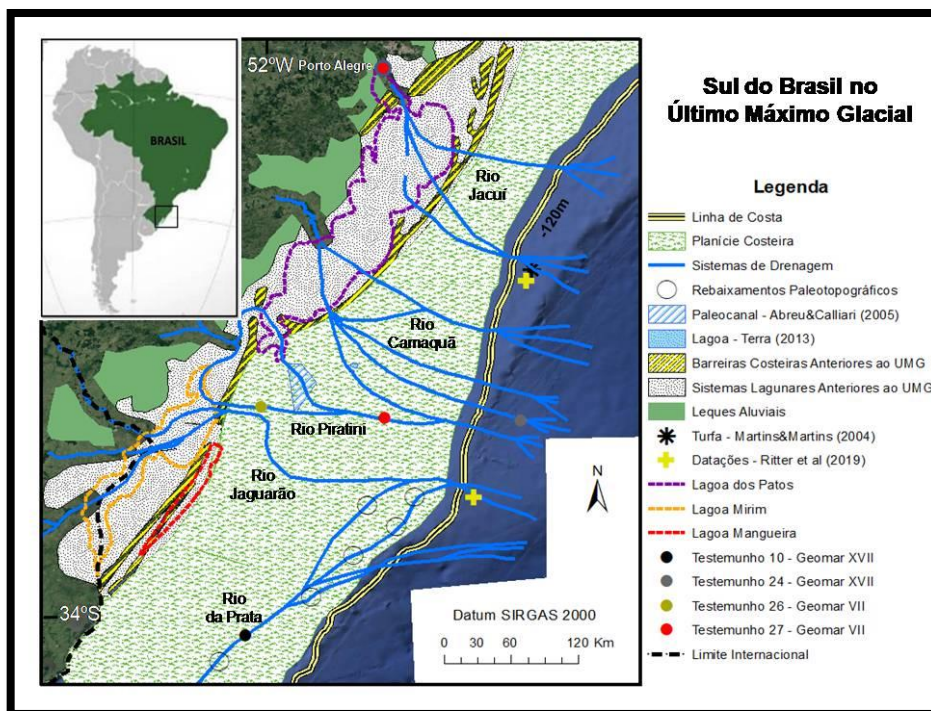


Figura 4: Possível cenário da costa do RS, sul do Brasil, durante o UMG. Modificado de Hahn *et al.* (2020).

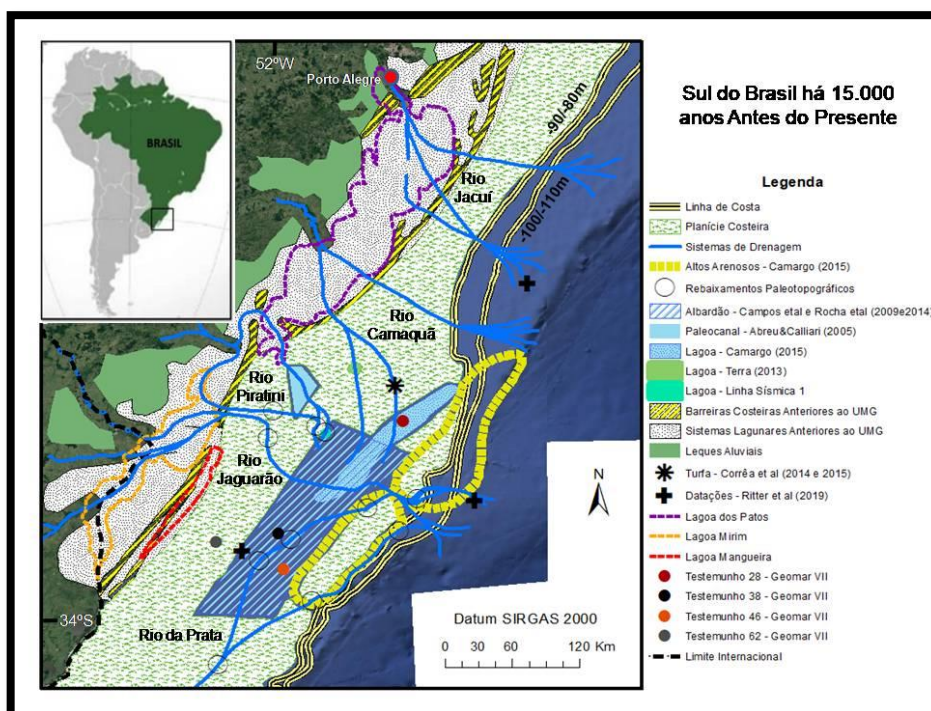


Figura 5: Possível cenário da costa do RS, sul do Brasil, há ~15 ka AP.

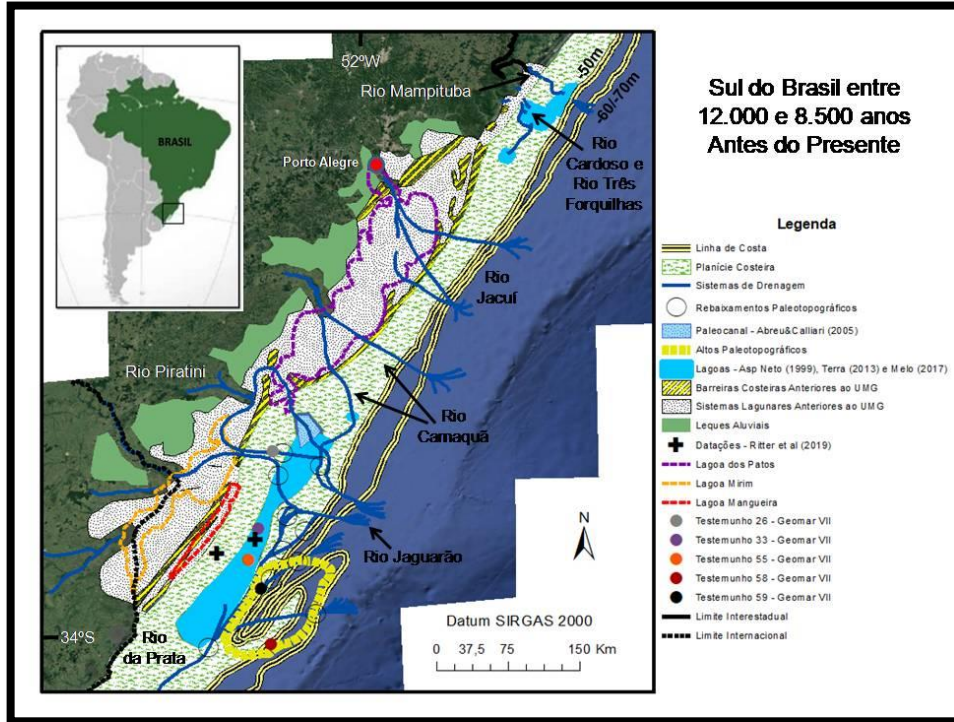


Figura 6: Possível cenário da costa do RS, sul do Brasil, entre ~12 e ~8,5 ka AP.

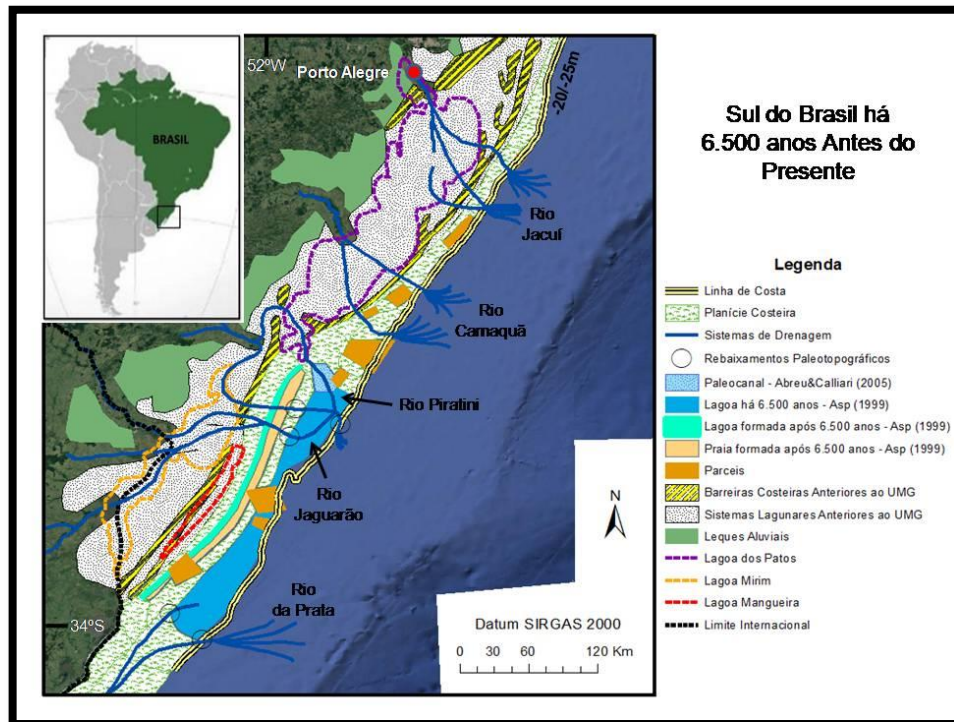


Figura 7: Possível cenário da costa do RS, sul do Brasil, há ~6,5 ka AP.

## 5.5 Discussão

Os rebaixamentos e as elevações soterradas nos pacotes sedimentares correspondem, respectivamente, a incisões fluviais e a barreiras costeiras formadas ao longo de estabilizações do nível do mar na atual plataforma continental do RS. A geometria dos refletores mapeados e os padrões de terminação em *onlaps*, *downlaps*, *toplaps* e em truncamentos erosionais entre eles correspondem a variações significativas nos processos deposicionais, variações essas associadas às mudanças no nível marinho ocorridas nos últimos 20 ka no sul do Brasil. Os padrões de preenchimento dos vales incisos, majoritariamente, apresentam descontinuidades sísmicas e fácies estratais que seguem a mesma inclinação de SE para NW, ou seja, do oceano para a costa, refletindo a transgressão subsequente ao UMG (Hahn *et al.*, 2020).

De acordo com os estudos sísmicos de Camargo (2015), a superfície pleistocênica na plataforma continental do RS encontra-se em torno de -15 a -20 m abaixo do fundo marinho atual, sendo essa a espessura média dos pacotes sedimentares. Os valores identificados por Camargo (2015) corroboram com a profundidade média em que se encontra a superfície pleistocênica dos vales incisos mapeados por Hahn *et al.* (2020) e com a profundidade média onde está situada a inconformidade sísmica das elevações identificadas neste estudo (-29 m). Essa superfície de inconformidade sísmica corresponde à discordância subaérea, representativa de intervalos deposicionais ou de erosão entre a U2 e a U1 e referente à superfície exposta em períodos de nível do mar abaixo do atual.

O modelo evolutivo elaborado por Corrêa (1990) e Corrêa *et al.* (1996) estabelece uma linha evolutiva da atual plataforma continental do sul do Brasil durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno, dividindo-a em três fases: de ~17,5 à ~16 ka AP, durante o UMG e quando o nível marinho situava-se entre -120 e -130 m abaixo do nível atual; de ~16 à ~11 ka AP, quando o nível do mar elevou-se da estabilização ocorrida entre -100 e -110 m para os níveis entre -80 e -90 m e, posteriormente, entre -70 e -60 m; e, por fim, de ~11 à ~6,5 ka AP, quando ocorreram as estabilizações nos níveis entre -45 e -32 m e entre -25 e -20 m, havendo variações nas taxas de avanço da linha de costa ao longo dessas fases (Corrêa, 1990; Corrêa *et al.*, 1996).

### 5.5.1 UMG

O mapa da figura 4 corresponde ao cenário da área de estudo durante o UMG a partir da análise sísmica de Hahn *et al.* (2020), que resultou na reconstrução de redes de drenagem da planície costeira que, atualmente, corresponde à plataforma continental do RS. No UMG, os sistemas de drenagem que, atualmente, têm suas desembocaduras no rio Guaíba, na laguna dos Patos, na lagoa Mirim e no estuário entre Argentina e Uruguai apresentavam essas desembocaduras nas atuais isóbatas de ~120 e ~130 m (Corrêa, 1990; Corrêa *et al.*, 1996; Weschenfelder *et al.*, 2014 e 2016). Esses rios - Jacuí, Camaquã, Piratini, Jaguarão e Prata – confluíam para esse paleonível, sendo um dos remanescentes dos possíveis caminhos do rio Piratini o paleocanal identificado por Abreu e Calliari (2005) nas adjacências do Canal de Rio Grande. Um dos cursos que integravam a drenagem do rio Camaquã contemplava a feição lagunar identificada por Terra (2013) (Hahn *et al.*, 2020).

A análise de quatro testemunhos da Operação GEOMAR (CECO, 1978 e 1984), que coincidem com os prováveis paleocursos dos rios da Prata, Piratini e Camaquã, identificou neles uma composição lamosa e arenosa, refletindo uma possível sucessão de ambientes de maior energia (areia) e de menor energia (lama). Na região da possível foz do Paleojacuí, Martins e Martins (2004) identificaram um depósito de turfa, o qual, apesar de não ter sido datado, constitui-se como uma base para a comprovação de que, nessa região, situava-se essa foz e de que esses depósitos associam-se a ambientes anteriores ao ambiente marinho atual (Hahn *et al.*, 2020). As datações efetuadas por Ritter *et al.* (2019) correspondem ao *time-averaging* – mistura de gerações - de conchas de moluscos bivalves em relação ao gradiente batimétrico, ou seja, analisou-se a variabilidade de idades em depósitos situados em setores mais rasos e mais profundos da área de estudo, verificando-se que as datações correspondem a depósitos que variam do Pleistoceno Superior ao Holoceno Inferior. No estudo de Erthal (2012), no qual padrões tafonômicos em distintos depósitos bioclásticos da plataforma do RS foram analisados, foi identificada uma assinatura tafonômica com características de exposição subaérea nos depósitos ao sul do Canal de Rio Grande, caracterizando-se como mais uma comprovação da existência da extensa planície costeira dissecada por rios e retratada na figura 4.

### 5.5.2 Últimos 15 ka AP

O posterior aumento das médias térmicas globais deu início ao período de deglaciação e o cenário geográfico costeiro do RS há ~15 ka AP é apresentado na figura 5. Nela, são mostradas estabilizações nos atuais níveis batimétricos de 110 e 100 m e de 90 e 80 m, isóbatas essas nas quais terraços foram identificados por Corrêa (1990) e Corrêa *et al.* (1996) e interpretados como sendo remanescentes de paleoníveis marinhos e paleolinhas de costa. Segundo esses mesmos estudos, de ~17,5 à ~16 ka AP, a velocidade da ascensão marinha foi relativamente rápida (~2 cm/ano), sendo essa velocidade reduzida para ~0,6 cm/ano a partir de ~16 ka AP (Corrêa, 1990; Corrêa *et al.*, 1996).

Conforme o estudo de Hahn *et al.* (2020), a região da foz dos rios Jacuí e Camaquã seria, aproximadamente, nas atuais isóbatas aproximadas entre 100 e 80 m durante esse período, assim como a provável região da desembocadura de um dos cursos associados ao rio da Prata, mais ao sul. Contudo, um dos caminhos do Paleocamaquã deslocaria-se mais para o sul rumo a um sistema de corpos d'água identificado por Campos *et al.* (2009) e Rocha *et al.* (2014) e correspondente à paleodrenagem do Albardão, para o qual seguiria um dos cursos do rio da Prata e o fluxo pretérito dos rios Piratini e Jaguarão, esse último ainda associado ao paleocanal de Abreu e Calliari (2005) (Hahn *et al.*, 2020). Em associação ao Paleoalbardão, encontrava-se a extensa feição identificada nas adjacências do Canal de Rio Grande e a SE do paleocanal de Abreu e Calliari (2005), entre as isóbatas de 50 e 60 m. Essa feição, devido à morfologia rebaixada no terreno, taludes nas margens e da geometria plano-paralela dos refletores no pacote de preenchimento do rebaixamento, corresponde a um provável corpo lagunar associado ao sistema do Albardão.

O Paleoalbardão, por sua vez, era separado do oceano por um sistema de barreiras identificado como altos arenosos no substrato marinho por Camargo (2015), que também identificou uma lagoa nas adjacências desse sistema fluvial. Outros três testemunhos da Operação GEOMAR, coletados nessa área do Paleoalbardão e da lagoa mapeada por Camargo (2015), apresentaram minerais pesados em sua composição, tendo sido identificada uma significativa quantidade de biodetritos e de arenitos de praia em um deles (CECO, 1978 e 1984). Segundo

Pettijohn (1975), a presença de minerais pesados pode ser associada a sistemas fluviais pretéritos, auxiliando na corroboração de que paleodrenagens podem ter confluído para essa área. O depósito de turfa de Corrêa *et al.* (2014 e 2015, datado com uma idade de ~12 ka AP) e a paleolagoa de Terra (2013) também corroboram com esse cenário, estando essa paleolagoa ativa desde o UMG, como o paleocanal de Abreu e Calliari (2005) associado ao rio Piratini. As análises de Ritter *et al.* (2019) coincidem com os resultados dos depósitos também analisados por Ritter *et al.* (2019) (figura 4), correspondendo as conchas dos depósitos mais profundos ao Pleistoceno Superior e ao Holoceno Inferior, enquanto que aqueles em profundidades menores possuem idades holocênicas.

No que se refere aos altos arenosos de Camargo (2015) interpretados como paleobarreiras, pesquisas realizadas por Cooper e Green (2016), Green *et al.* (2013, 2014 e 2020) e Pretorius *et al.* (2019), entre outros estudos, também identificaram feições na atual isóbata de ~100 m da plataforma continental da África do Sul associadas a paleobarreiras costeiras. Essas barreiras teriam sido formadas em estabilizações marinhas nesse nível durante a transgressão holocênica, sendo preservadas em função de um afogamento *in situ* – *overstepping* - dessas feições. Segundo Green *et al.* (2014), esse processo de afogamento *in situ* é considerado o principal mecanismo através do qual paleoníveis marinhos e paleolinhas de costa são preservadas, desde que o mesmo ocorra por meio de pulsos de aceleração da transgressão. De acordo com Liu *et al.* (2016), a abrupta aceleração da subida do nível marinho no paleonível de -100 m apresentou uma taxa de ~4 m a cada 100 anos, tornando possível um afogamento dos sistemas deposicionais costeiros conforme inferido por Green *et al.* (2020).

O afogamento *in situ* e consequente preservação das barreiras nas isóbatas de ~100 m da África do Sul foi associado ao evento denominado *MeltWater Pulse-1A* (MWP-1A) (Cooper e Green, 2016; Green *et al.*, 2013, 2014 e 2020; Pretorius *et al.*, 2019), o qual é descrito como um abrupto incremento na velocidade da subida do nível do mar, iniciado há ~14,6 ka AP e com pico em ~13,8 ka AP (Stanford *et al.*, 2006 e 2011; Gornitz, 2012 e 2013). Segundo esses estudos, a estabilização marinha ocorrida no paleonível de -100 m estendeu-se por tempo suficiente para que os sistemas praias fossem construídos, cimentados e litificados, sendo preservados pelo posterior pulso de aceleração referente ao MWP-1A. A



identificação de terraços de estabilização na região batimétrica entre 110 e 80 m da plataforma continental do RS (Corrêa, 1990; Corrêa *et al.*, 1996) e o desenvolvimento e preservação de altos arenosos nessa mesma batimetria (Camargo, 2015), correlata à das feições na África do Sul descritas acima, reflete esse mesmo cenário de estabilização marinha e posterior afogamento *in situ* das paleolinhas costeiras, afogamento esse decorrente do MWP-1A.

### 5.5.3 Entre 12 e 8,5 ka AP

A transgressão seguiu sob uma velocidade média mais constante, porém menor, visto que não foram identificadas feições preservadas até a região batimétrica aproximada de 70 e 60 m, provavelmente em função do ravinamento por ondas (Corrêa, 1990, Corrêa *et al.*, 1996). Na plataforma continental do E e SE da África do Sul, a ausência ou diminuição de feições preservadas nos pacotes sedimentares entre a isóbatas de 100 e 60 m foi explicada pela possível redução da velocidade da subida do nível marinho e aumento do ravinamento por ondas, o qual retrabalhou e/ou erodiu depósitos nessa área (Cooper e Green, 2016; Green *et al.*, 2013 e 2014; Pretorius *et al.*, 2019), sendo possível que o mesmo cenário tenha ocorrido na área de estudo também.

Nas atuais isóbatas de 70 e 60 m, uma nova estabilização do nível do mar teria acontecido, ocorrendo retomada da transgressão e nova estabilização no paleonível aproximado de -50 m (Corrêa, 1990; Corrêa *et al.*, 1996; Liu e Milliman, 2004; Cooper *et al.*, 2016, Green *et al.*, 2020). A figura 6 mostra o cenário da atual plataforma continental do RS no período em que o nível marinho esteve nas proximidades de -70 e -60 m e, posteriormente, em -50 m, entre ~12 e ~8,5 ka AP.

Essa estabilização foi responsável pelo desenvolvimento de um novo sistema de lagoas e de barreiras na área de estudo, semelhante aos sistemas laguna-barreira desenvolvidos na PCRGS e ao sistema de lagoas e barreiras desenvolvido na região batimétrica de 100 a 80 m, afogados *in situ* após o MWP-1A (figura 5). As barreiras formadas nessa nova estabilização entre -70 e -60 m e em -50 m, entre ~12 e ~8,5 ka AP, foram identificadas nas linhas sísmicas sob a forma de altos topográficos soterrados (figura 3), enquanto que as paleolagoas foram reconstruídas a partir de registros bibliográficos (Asp Neto, 1999; Melo, 2017). As paleobarreiras

apresentam padrão de terminação entre refletores em *downlap* na sua base tanto no sentido da costa para o oceano, quanto no sentido oposto, refletindo as terminações em *downlap* no sentido da costa para o oceano estágios de progradação costeira durante as estabilizações (Payton, 1977).

Os corpos d'água identificados por Melo (2017) situam-se no setor norte da área de estudo, correspondendo a drenagens que teriam suas desembocaduras em corpos lagunares também identificados pelo mesmo estudo. No setor sul, o sistema de corpos d'água do Paleoalbardão, a partir de ~12 ka AP, teria cedido lugar ao novo sistema de lagoas e de barreiras composto pelas elevações identificadas na presente análise e pelos corpos lagunares identificados por Asp Neto (1999), integrante desses últimos a lagoa de maior extensão mostrada na figura 6. A feição lagunar associada ao rio Camaquã há ~15 ka AP e que foi identificada por Terra (2013) permaneceu ativa entre ~12 e ~8,5 ka AP e associada a esse rio, assim como o paleocanal de Abreu e Calliari (2005) permaneceu associado ao Paleopiratini (Hahn *et al.*, 2020).

A incisão fluvial mostrada na figura 2 foi interpretada por Hahn *et al.* (2020) como integrante da rede de drenagem do rio da Prata durante essas estabilizações entre ~12 e ~8,5 ka AP, estando a incisão mais profunda associada ao curso durante a estabilização nas atuais isóbatas de ~70 e ~60 m. A incisão formada a -25 m de profundidade em relação ao fundo marinho atual, alargando o vale de ~750 m para ~1,5 km, foi associada à subida do nível de base dos paleoníveis de -70 e -60 m para a atual isóbata de 50 m (Hahn *et al.*, 2020). Em função da baixa amplitude da resposta acústica do pacote sedimentar que preenche a incisão mais profunda até o ponto em que a feição tem sua largura ampliada, Hahn *et al.* (2020) inferiram que essa subida do nível de base ocorreu por meio de mais um pulso de aceleração, afogando a feição e preservando-a. O maior número de descontinuidades sísmicas com morfologia ondulada a partir de ~30 ms indica uma redução na velocidade desse pulso, desenvolvendo-se terminações em *onlap* na direção do oceano para a costa e refletindo retrogradação costeira.

Os testemunhos da Operação GEOMAR (CECO, 1978 e 1984) mostrados na figura 6 apresentaram cascalho biodetrítico com areia no topo em contato brusco com camadas arenosas e lamosas subjacentes (testemunhos na lagoa de Asp Neto, 1999), sequência areno-lamosa com biodetritos (na porção sul da paleobarreira) e

sequência arenosa com biodetritos ao longo do testemunho (na porção norte da paleobarreira). A descrição desses testemunhos evidencia ambientes onde foram intercalados estágios de menor energia (lama) mais próximos da sua base e de maior energia (biodetritos e areia) nas proximidades do seu topo, refletindo subida do nível marinho e estabelecimento de possíveis ambientes de praia. As datações de Ritter *et al.* (2019) mostradas na figura 6 coincidem com os resultados dos depósitos situados em menores profundidades da figura 5, os quais apresentam idades inseridas no Holoceno.

Os paleoambientes associados a barreiras e a corpos lagunares mostrados na figura 6 assemelham-se àqueles identificados na atual isóbata de ~100 m (figura 5) e nessa mesma região batimétrica da plataforma continental da África do Sul (Cooper e Green, 2016; Green *et al.*, 2013, 2014 e 2020; Pretorius *et al.*, 2019). Nas atuais isóbatas aproximadas de 60 e 50 m da plataforma continental da ilha de Florianópolis – SC, assim como nessa mesma batimetria da plataforma sul-africana, paleoambientes semelhantes também foram identificados e associados a paleolinhas de costa (Cooper e Green, 2016; Green *et al.*, 2013, 2014 e 2020; Pretorius *et al.*, 2019). Nessas mesmas isóbatas, o mesmo tipo de feição foi identificado na plataforma continental da Austrália (Carter *et al.*, 1986), da Índia (Wagle *et al.*, 1994; Bandyopadhyay, 2008), do Mar Vermelho (Bailey *et al.*, 2007), do Golfo do México (Gardner *et al.*, 2007) e da Itália (Zecchin *et al.*, 2011). O desenvolvimento dessas paleolinhas de costa na região batimétrica aproximada de 60 e 50 m foi possível em função da diminuição da velocidade da transgressão, a qual resultou do resfriamento climático característico dos *Younger Dryas* (Cooper e Green, 2016; Green *et al.*, 2013, 2014 e 2020; Ardelean *et al.*, 2017; Pretorius *et al.*, 2019).

De acordo com Pretorius *et al.* (2019), a estabilização ocorrida durante os *Younger Dryas* ocorreu por tempo suficiente para que ocorresse o desenvolvimento, cimentação e litificação das formações costeiras estabelecidas nos paleoníveis aproximados de -60 e de -50 m, as quais teriam sido afogadas *in situ* devido ao pulso de aceleração da transgressão durante o MWP-1B. Segundo Stanford *et al.* (2006 e 2011) e Gornitz (2012 e 2013), o MWP-1B foi mais um abrupto incremento na velocidade de subida do nível do mar, dessa vez ocorrido entre ~11 e ~9 ka AP. Conforme Cooper e Green (2016), Green *et al.* (2013, 2014 e 2020) e Pretorius *et al.*

(2019), o afogamento *in situ* das feições formadas durante os *Younger Dryas* na plataforma de Florianópolis – SC e da África do Sul possibilitaram a preservação desses paleoambientes na transgressão, assim como ocorreu com as paleolinhas de costa na batimetria de 100 m da plataforma sul-africana devido ao MWP-1A. Durante os MWP-1B, as taxas de subida do nível marinho aproximaram-se de 13 a 15 mm/ano (Liu e Milliman, 2004), ocorrendo o afogamento *in situ* dos depósitos praias e sua preservação na plataforma continental em função de uma combinação de fatores, como velocidade rápida da transgressão, suficiente cimentação dos depósitos antes de sua ultrapassagem pelo mar e a sua granulometria mais grossa.

O espaço de acomodação que a topografia antecedente propicia à deposição dos pacotes sedimentares transgressivos exerce um papel fundamental na preservação das feições sob esses pacotes (Storms *et al.*, 2008). A ampla rede de vales incisos na plataforma continental E e SE da África do Sul foi uma das variáveis identificadas por Green *et al.* (2018) que proporcionou a acomodação suficiente para o afogamento e preservação desses vales, assim como de outras feições formadas durante estabilizações. A existência de incisões fluviais na topografia antecedente à transgressão, portanto, é uma variável que possibilitará maior deposição e maiores potenciais de preservação dos pacotes sedimentares transgressivos costeiros (Mattheus e Rodriguez, 2011).

A zona costeira do RS, como uma margem passiva não-glacial (Inman e Nordstrom, 1971), é predisposta não apenas ao desenvolvimento de barreiras costeiras devido ao substrato suave ((Dillenburg e Hesp, 2009), mas também à formação de incisões fluviais (Mattheus e Rodriguez, 2011), como as incisões mapeadas na região (figura 2) em estudos anteriores (Hahn e Weschenfelder, 2020; Hahn *et al.*, 2020). Essa característica torna a costa do RS, por conseguinte, um ambiente favorável para o afogamento *in situ* dessas feições desenvolvidas durante níveis do mar abaixo do atual (figura 8).

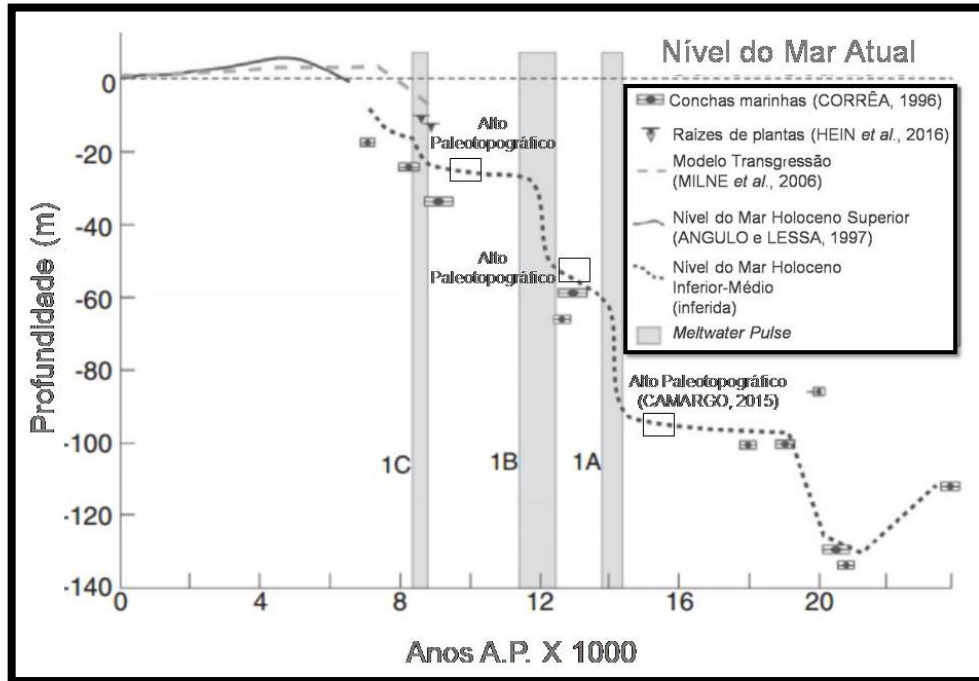


Figura 8: Altos topográficos de Camargo (2015) e os identificados neste estudo posicionados na curva da variação do nível do mar desde o UMG. O período de ocorrência dos MWPs e sua relação com a batimetria é de Liu e Milliman (2004) e Hijma e Cohen (2010). Terraços abaixo do nível médio do mar e datações são de Corrêa (1996), considerando depósitos sedimentares em superfícies de estabilização temporária do nível marinho. A curva no Holoceno Superior é de Angulo e Lessa (1997). As datações de raízes de plantas de Hein *et al.* (2016) são de depósitos sedimentares em Tijucas – SC. O modelo transgressivo é de Milne *et al.* (2005) para a costa do sul do Brasil. Modificado de Cooper *et al.* (2016).

#### 5.5.4 Últimos 6,5 ka AP

Por fim, um último cenário é ilustrado no mapa da figura 7, referente a outra possível estabilização do nível do mar nos atuais níveis batimétricos de 25 e 20 m, há ~6,5 ka AP. Após o pulso transgressivo sobre as paleolinhas costeiras de -70, -60 e -50 m, a transgressão foi retomada e seguiu sob uma velocidade mais constante, ocorrendo essa possível estabilização do nível do mar nas atuais isóbatas de ~25 e ~20 m. A pesquisa de Asp Neto (1999) também identificou depósitos praias entre a lagoa identificada em seu estudo e as isóbatas de 25 e 20 m, corroborando acerca dessa estabilização nesse nível, tendo Corrêa (1990) também identificado terraços de estabilizações marinhas nos atuais níveis batimétricos de ~45 e ~32 m. De acordo com Hahn *et al.* (2020), o paleocanal de Abreu e Calliari (2005) permaneceu

ativo e possivelmente associado a um dos cursos do rio Piratini, o qual se deslocava rumo à lagoa de Asp Neto (1999), desenvolvida entre ~12 e ~8,5 ka AP e ainda ativa há ~6,5 ka AP. As demais redes de drenagem do período confluíam rumo a essa lagoa também, a partir da qual uma provável desembocadura rumava para o oceano (Hahn *et al.*, 2020).

Nos estudos de Buchmann (2002), Buchmann *et al.* (2001), Lopes e Buchmann (2011) e Cruz *et al.* (2017), analisaram-se os depósitos de bioclastos, coquinas e *beach rocks* da plataforma continental do RS, denominados parceis e associados a paleolinhas de praias holocênicas. Esses mesmos estudos constataram que, pelo menos há ~8 ka AP, ocorreu um período favorável à litificação de rochas sedimentares em uma linha de praia situada sob uma profundidade inferior à atual, onde se formaram arenitos e coquinas de alguns desses depósitos, corroborando de que o cenário de estabilização marinha da figura 7 é passível de ter ocorrido há ~6,5 ka AP.

Enquanto a transgressão permaneceu sendo retomada e interrompida através de pulsos, novos depósitos praias e lagunares foram desenvolvidos em estabilizações nas isóbatas aproximadas de 18, 16, 12 e 10 m (Asp Neto, 1999), até o nível marinho atual ser estabelecido. Segundo Gornitz (2012 e 2013), o pulso de aceleração da subida marinha referente ao MWP-1C ocorreu quando o nível do mar encontrava-se na atual isóbata aproximada de 20 m, o que coincide com o nível de estabilização mostrado na figura 7. Contudo, esses mesmos estudos apontam que o MWP-1C teria ocorrido anteriormente a ~6,5 ka AP, mais precisamente entre ~8,2 e ~7,6 ka AP - logo após o evento de 8,2 ka AP, correspondente ao resfriamento do clima global em função do rompimento da represa natural de lagos glaciais na região da Baía Hudson (Sallun *et al.*, 2011). Outros estudos apontam que o MWP-1C teria ocorrido entre ~9 e ~8 ka AP, como o modelo evolutivo de Cooper *et al.* (2016) (figura 8), ou entre ~9,8 e ~7 ka AP (Herrle *et al.*, 2018). Esse último estudo correlacionou as mudanças no nível marinho resultantes do MWP-1C ao evento de 8,2 ka AP, os quais teriam impactado o nível dos oceanos atuando em conjunto. O cenário apresentado na figura 7 teria sua gênese, portanto, correspondente a uma estabilização posterior ao evento de 8,2 ka AP e ao MWP-1C, enquanto que os terraços identificados por Corrêa (1990) nas isóbatas de ~45 e ~32 m seriam passíveis de correlação a esses dois eventos.

## 5.6 Conclusões

A integração da análise sísmica com indicadores múltiplos de variação do nível do mar possibilitou a reconstrução da evolução da zona costeira do RS nos últimos 20 ka AP. No UMG, as redes de drenagem costeira deslocavam-se até a atual isóbata de ~120 m, paleonível do período. O posterior aumento das médias térmicas globais resultou na retração dos mantos de gelo e consequente aumento do nível médio do oceano, deslocando a linha de costa no RS para as atuais isóbatas entre 100 e 80 m, onde um sistema de barreiras costeiras no sul da área de estudo foi estabelecido adjacente ao sistema de corpos d'água do Albardão há ~15 ka AP. Rumo ao Paleoalbardão, durante essa época, confluía uma parte da rede de drenagem. A retomada da transgressão após essa estabilização caracterizou-se como abrupta em função do MWP-1A, resultando no afogamento *in situ* das paleolinhas de costa e sua consequente preservação na atual plataforma continental.

A transgressão seguiu até uma nova estabilização do nível marinho na região batimétrica entre 70 e 50 m, provocada pelo resfriamento climático característico dos *Younger Dryas* e responsável pelo desenvolvimento de um novo sistema de lagoas e de barreiras costeiras entre ~12 e ~8,5 ka AP. A preservação dos sistemas lagunares e das barreiras costeiras no registro geológico, identificados no registro sísmico, foi possível em função de mais um pulso de aceleração da transgressão, resultante do MWP-1B. A transgressão permaneceu sendo interrompida e retomada, em pulsos, até ocorrer uma nova estabilização há ~6,5 ka AP nas atuais isóbatas de 25 e 20 m, possibilitando a formação de alguns dos parciais da plataforma continental do RS e de outros depósitos lagunares e praias.

A plataforma continental do RS apresenta fatores relevantes para uma maior deposição e maiores potenciais de preservação de feições desenvolvidas em estágios regressivos do nível do mar sob os pacotes sedimentares transgressivos subjacentes. O caráter de margem continental passiva não-glacial da área de estudo predispõe a região à formação de incisões fluviais e ao estabelecimento de barreiras costeiras durante estabilizações do nível marinho, em função da declividade suave do substrato. A presença de incisões fluviais, associadas a altas taxas de acomodação, possibilita significativos potenciais de preservação dos

pacotes sedimentares transgressivos costeiros ao serem inundadas. Essa característica, somada à transgressão por meio de pulsos de redução e/ou aceleração da velocidade, tornou possível o afogamento *in situ* das feições e a preservação tanto das incisões fluviais, quanto das barreiras na atual plataforma continental.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através da concessão das bolsas n. 140451/2016-1 e n. 301668/2017-5, e ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por meio da estrutura concedida.

Ao prof. Gilberto Griep (*in memoriam*), pela disponibilização dos dados sísmicos e participação no estudo.

## Referências Bibliográficas

Abreu, J. G. N. & Calliari, L. J. 2005. Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23(2), p. 123-132.

Angulo, R. J.; Lessa, G. C. 1997. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, v. 140, p. 141–166.

Ardelean, C. F.; Israde-Alcántara, I.; González-Hernández, R.; Arroyo-Cabrales, J.; Solis-Rosales, C.; Rodríguez-Ceja, M.; Pears, B. R.; Watling, J.; Macías-Quintero, J. I.; Ocampo-Díaz, Y. Z. E. 2017. The Younger Dryas black mat from Ojo de Agua, a geoarchaeological site in Northeastern Zacatecas, Mexico. *Quaternary International*, v. 463, p. 140-152.

Asp Neto, N. E. 1999. *Evidências de Estabilizações do Nível do Mar no Quaternário da Plataforma Continental Interna entre Rio Grande e Chuí – RS, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Bailey, G. N.; Flemming, N. C.; King, G. C. P.; Lambeck, K.; Momber, G.; Moran, L. J.; Al-Sharekh, A.; Vita-Finzi, C. 2007. Coastlines, submerged landscapes and human evolution: the Red Sea Basin and the Farasan Islands. *Journal of Island and Coastal Archaeology*, v. 2, p. 127– 160.



Bandyopadhyay, A. 2008. Records of sea level change and realignment of Indian coasts during last glacial rebound in continental shelves during the last glacial cycle: knowledge and applications. *Proceedings, Workshop on IGCP 464, Visakhapatnam, Kolkota, Geological Survey of India*, p. 146–153.

Batista, C. M. A. 2015. *Bacia de Pelotas: sumário geológico e setores em oferta*. Superintendência de Definição de Blocos da Agência Nacional do Petróleo, Disponível em: [www.brasil-rounds.gov.br](http://www.brasil-rounds.gov.br). Acesso em setembro de 2019.

Bitencourt, V. J. B.; Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C. C.; Manzolli, R. P. 2020a. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da barreira costeira holocênica no Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n.º 3.

Bitencourt, V. J. B.; Dillenburg, S. R.; Manzolli, R. P. & Barboza, E. G. 2020b. Control factors in the evolution of Holocene coastal barriers in Southern Brazil. *Geomorphology*, 107180.

Buchmann, F. S.; Seeliger, M.; Zanella, L. R.; Madureira, L.; Tomazelli, L. J.; Calliari, L. Análise batimétrica e sedimentológica no estudo do Parcel do Carpinteiro, uma paleolinha de praia pleistocênica na antepraia do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, v. 28, n. 2, p. 109-115, 2001.

Buchmann, F. S. 2002. *Bioclastos de Organismos Terrestres e Marinhos na Praia e Plataforma Interna do Rio Grande do Sul: natureza, distribuição, origem e significado geológico*. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Buchmann, F. S. C.; Oliveira, L. C.; Figueiredo, A. M. G.; Kinoshita, A.; Baffa, O. 2010. ESR dating of pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Quaternary International*, v. 212, p. 213-222.

Camargo, C. M. L. 2015. *Mapeamento Sismoestratigráfico da Superfície do Pleistoceno na Plataforma Continental da Bacia de Pelotas*. Monografia de Conclusão de Curso (Curso de Oceanologia), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.

Campos, P. C.; Weigert, S. C.; Madureira, L. S. P. 2009. Ecobatimetria e características acústicas do leito oceânico na região do Canal do Albardão–Rio Grande do Sul-Brasil. *Atlântica (Rio Grande)*, v. 31, n. 1, p. 05-24.

Carraro, C. C.; Gamermann, N.; Eick, N. C.; Bortoluzzi, C. A.; Jost, H.; Pinto, J. F. 1974. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Série Mapas, n. 8.

Carter, R.M.; Johnson, D.P. 1986. Sea-level controls on the post-glacial development of the Great Barrier Reef, Queensland. *Marine Geology*, v. 71, p. 137–164.

CECO – Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica. 1978. *Notas Técnicas: descrição dos testemunhos da plataforma continental sulbrasileira – GEOMAR VII*. Porto Alegre: CECO/Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CECO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica. 1984. *Notas Técnicas: aspectos texturais e mineralógicos dos sedimentos superficiais da plataforma continental brasileira*. Porto Alegre: CECO/Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Chen, W.; Zhu, D.; Ciais, P.; Huang, C.; Viovy, N. & Kageyama, M. 2019. Response of vegetation cover to CO<sub>2</sub> and climate changes between Last Glacial Maximum and pre-industrial period in a dynamic global vegetation model. *Quaternary Science Reviews*, 218, p. 293-305.

Cooper, A. & Green, A. 2016. Geomorphology and Preservation Potential of Coastal and Submerged Aeolianite: examples from Kwazulu-Natal, South Africa. *Geomorphology*, v. 271, p. 1-12.

Cooper, J. A. G.; Green, A. N.; Meireles, R. P.; Klein, A. H.; Souza, J. & Toldo Jr., E. E. 2016. Sandy barrier overstepping and preservation linked to rapid sea level rise and geological setting. *Marine Geology*, v. 382, p. 80-91.

Cooper, J. A. G.; Green, A. N. & Loureiro, C. 2018. Geological constraints on mesoscale coastal barrier behaviour. *Global and Planetary Change*, v. 168, p. 15-34.

Corrêa, I. C. S. 1987. Sedimentos superficiais da plataforma e talude continental do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 19(19): p. 95-104.

Corrêa, I. C. S. 1990. *Analyse Morphostructurale et evolution paleogeographique de la plate-forme continentale atlantique sud-bresilienne (Rio Grande do Sul – Bresil)*. Tese (Doutorado em Geociências). Universite de Bourdeaux, França.

Corrêa, I. C. S. 1994. *Morphostructurale de La plate-forme continentale du Rio Grande do Sul, a partir de L'analyse cartographique*. Notas Técnicas. Porto Alegre: CECO/Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 7, p. 3-26.

Corrêa, I. C. S. 1996. Les variations du niveau de la mer Durant lês derniers 17.500 B.P.: léxemple de la plateforme continentale du Rio Grande do Sul – Brésil. *Marine Geology*, v. 130, p. 163-178.

Corrêa, I. C. S.; Martins, L. R. S.; Ketzer, J. M. M.; Elias, A. R. D.; Martins, R. 1996. *Evolução sedimentológica e paleogeográfica da plataforma continental sul e sudeste do Brasil*. Notas Técnicas. Porto Alegre: CECO/Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 9, p. 51-61.

Corrêa, I. C. S.; Ayup-Zouain, R. N.; Weschenfelder, J.; Tomazelli, L. J. 2008. Áreas fontes dos minerais pesados e sua distribuição sobre a plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina. *Pesquisas em Geociências*. v. 35, n. 1, p. 137-150.

Corrêa, I. C. S.; Medeanic, S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Nunes, J. C.; Baitelli, R.; Santos-Fischer, C. B. 2013. Registro sedimentario del antiguo canal de desembocadura del Río de La Plata en la plataforma continental del sur de Brasil. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 30, n. 1, p. 51-64.

Corrêa, I. C. S.; Medeanic, S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Nunes, J. C.; Baitelli, R. 2014. The Paleo-Drainage of the La Plata River in Southern Brazil Continental Shelf. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 32(2), p. 259-271.

Corrêa, I. C. S.; Weschenfelder, J.; Toldo Jr., E. E.; Baitelli, R.; Santos-Fischer, C. B. 2015. Gênese de um depósito de turfa na plataforma continental do Rio Grande do Sul, Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 06(2): p. 1-9.

Cruz, E. A.; Dillenburg, S. R.; Buchmann, F. S. 2017. Description and controls on distribution of Pleistocene vertebrate fossils from the central and southern sectors of the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 19, p. 425-438.

Dillenburg, S. R. & Hesp, P. 2009. *Geology and Geomorphology Coastal Barriers of Brazil*. Springer. Lecture Notes in Earth Sciences, 400 p.

Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C.; Caron, F.; Cancelli, R.; Santos-Fischer, C. B.; Lopes, R. P. & Ritter, M. 2019. Sedimentary records of Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3) in southern Brazil. *Geo-Marine Letters*, p. 1-10.

Erthal, F. 2012. *Assinaturas tafonômicas em bivalves marinhos recentes na costa do Brasil e seu significado paleoambiental*. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Gardner, J. V.; Calder, B. R.; Clarke, J. H.; Mayer, L. A.; Elston, G. & Rzhhanov, Y. 2007. Drowned shelf-edge deltas, barrier islands and related features along the outer continental shelf north of the head of De Soto Canyon, NE Gulf of Mexico. *Geomorphology*, v. 89(3-4), p. 370-390.

Gornitz, V. 2012. *The Great Ice Meltdown and Rising Seas: lessons for tomorrow*. Science Briefs of NASA. Disponível em: <https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/>. Acesso em agosto de 2019.

Gornitz, V. 2013. *Rising Seas: past, present, future*. Nova Iorque: Columbia University Press, 360 p.

Green, A.; Cooper, A. G.; Leuci, R.; Thackeray, Z. 2013. Formation and Preservation of an Overstepped Segmentd Lagoon Complex on a High Energy Continental Shelf. *Sedimentology*, v. 60, p. 1755-1768.

Green, A.; Cooper, A.; Salzmann, L. 2014. Geomorphic and Stratigraphic Signals of Postglacial Meltwater Pulses on Continental Shelves. *Geology*, v. 42.2, p. 151-154.

Green, A. N.; Cooper, J. A. G.; Salzmann, L. 2018. The role of shelf morphology and antecedent setting in the preservation of palaeo-shoreline (beachrock and aeolianite) sequences: the SE African shelf. *Geo-Marine Letters*, 38(1): p. 5-18.

Green, A. N.; Cooper, J. A. G.; Dlamini, N. P.; Dladla, N. N.; Parker, D.; Kerwath, S. E. 2020. Relict and contemporary influences on the postglacial geomorphology and evolution of a current swept shelf: The Eastern Cape Coast, South Africa. *Marine Geology*, 427, 106230.

Hahn, A. R. O. H.; Weschenfelder, J. 2020. Indicadores da posição do nível do mar e da linha de costa durante o Quaternário na bacia de Pelotas, sul do Brasil. *Revista Caminhos de Geografia*. Submetido.

Hahn, A. R. O.; Weschenfelder, J.; Melo, B. F.; Calliari, L. J.; Lague, J. P. G.; Oliveira, N. 2020. Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*. Sociedade Brasileira de Geologia. Submetido.

Hein, C. J.; Fitzgerald, D. M.; De Souza, L. H. P.; Georgiou, I. Y.; Klein, A. H. F.; Buynevich, I. V.; Menezes, J. T.; Scolaro, T.; Cleary, W. J. 2016. Complex coastal change in response to autogenic basin infilling: an example from a sub-tropical Holocene strandplain. *Sedimentology*, v. 63, p. 1362–1395.

Herrle, J. O.; Bollmann, J.; Gebühr, C.; Schulz, H.; Sheward, R. M.; Giesenberg, A. 2018. Black Sea outflow response to Holocene meltwater events. *Scientific reports*, 8(1), 1-6.

Hesp, P. A. 1999. The Beach Backshore and Beyond. In: SHORT, A. D. (Editor). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley, p. 145-170.

Hijma, M.P.; Cohen, K.M. 2010. Timing and magnitude of the sea-level jump precluding the 8200 yr event. *Geology*, v. 38, p. 275–278.

Inman, D. L.; Nordstrom, C. E. 1971. On the Tectonic and Morphologic Classification of Coasts. *The Journal of Geology*, v. 79, p. 1-21.

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

Liu, J. P.; Milliman, J. D. 2004. Reconsidering melt-water pulses 1A and 1B: global impacts of rapid sea-level rise. *Journal of Ocean University of China*, v. 3(2), p. 183-190.

- Liu, J.; Milne, G. A.; Kopp, R. E.; Clark, P. U.; Shenann, I. 2016. Sea-level constraints on the amplitude and source distribution of Meltwater Pulse 1A. *Nature Geoscience*, 9(2): p. 130-134.
- Lopes, R.; Pereira, J. C. 2010a. Fossils of Scelidotheriinae Ameghino, 1904 (Xenarthra, Pilosa) in the Pleistocene deposits of Rio Grande do Sul, Brazil. *Gaea – Journal of Geoscience*, v. 6, p. 44-52.
- Lopes, R.; Pereira, J. C. 2010b. Um novo sítio paleontológico na planície costeira do Rio Grande do Sul. In: *Resumos do Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados*, 7. Rio de Janeiro: SBPV, p. 93.
- Lopes, R.; Oliveira, L. C.; Figueiredo, A. M. G.; Kinoshita, A.; Baffa, O.; Buchmann, F. S. C. 2010c. ESR dating pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Quaternary International*, v. 212, p. 213-222.
- Lopes, R. P.; Buchmann, F. S. C. 2011. Pleistocene mammals from the southern Brazilian continental shelf. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 31, p. 17-27.
- Martins, I. D. R. 1984. Modelo sedimentar do cone de Rio Grande. *Pesquisas em Geociências*, 16(16), p. 91-189.
- Martins, L. R.; Martins, I. R. 2004. Presença de turfa na plataforma continental do Rio Grande do Sul. *Gravel*, n.º 2, p. 77-85.
- Martins, L. R.; Urien, C. M.; Martins, I. R. 2005. Gênese dos sedimentos da plataforma continental atlântica entre o Rio Grande do Sul (Brasil) e Tierra del Fuego (Argentina). *Gravel*, n.º 3, p. 85-102.
- Mattheus, C. R.; Rodriguez, A. B. 2011. Controls on late Quaternary incised-valley dimension along passive margins evaluated using empirical data. *Sedimentology*, v. 58(5), p. 1113-1137.
- Melo, B. F. 2017. *Estudo do Sistema de Drenagem Quaternário da Plataforma Continental na Porção Norte da Bacia de Pelotas*. Monografia de Conclusão de Curso (Curso de Oceanologia), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.
- Mitchum, R.M. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy. In: Payton, C.E. (Ed.), *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, p. 205-212.
- Milne, G. A.; Long, A. J.; Bassett, E. 2005. Modeling Holocene relative sea level observations from the Caribbean and South America. *Quaternary Science*, Rev. 24, p. 1183–1202.

Payton, C. E. (Ed.). 1977. *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, 516p.

Pettijohn, F. J. 1975. *Sedimentary Rocks*. Nova Iorque: Harper e How, 718p.

Pretorius, L.; Green, A. N.; Cooper, J. A. G.; Hahn, A.; Zabel, M. 2019. Outer-to inner-shelf response to stepped sea level rise: insights from incised valleys and submerged shorelines. *Marine Geology*, v. 416, p. 105979.

Ritter, M. D. N.; Erthal, F. & Coimbra, J. C. 2019. Depth as an overarching environmental variable modulating preservation potential and temporal resolution of shelly taphofacies. *Lethaia*, v. 52(1), p. 44-56.

Rocha, R.; Griep, G.; Weigert, S. 2014. Mapeamento do Paleoleito do Canal do Albardão, Bacia de Pelotas – Brasil. *Revista Geonorte*, edição especial 4, v. 10, n. 1, p. 203-207.

Rosa, M. L. C. C.; Barboza, E. G.; Abreu, V. S.; Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R. 2017. High-frequency sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2): 183-207.

Roy, P. S.; Cowell, P. J.; Ferland, M. A. & Thom, B. G. 1994. Wave-dominated coasts. In: CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. *Coastal evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics*, Cambridge University Press, p. 121-186.

Sallun, A. E. M.; Sallun Filho, W.; Suguio, K.; Babinski, M.; Gioia, S. M. C. L.; Harlow, B. A.; Duleba, W.; De Oliveira, P. E.; Garcia, M. J.; Weber, C. Z.; Christofoletti, S. R.; Santos, C. S.; Medeiros, V. B.; Silva, J. B.; Santiago-Hussein, M. C.; Fernandes, R. S. 2011. Geochemical evidence of the 8.2 ka event and other Holocene environmental changes recorded in paleolagoon sediments, southeastern Brazil. *Quaternary Research*, 77(1), p. 31-43.

Stanford, J. D.; Rohling, E. J.; Hunter, S. E.; Roberts, A. P.; Rasmussen, S. O.; Bard, E.; Mcmanus, J.; Fairbanks, R. G. 2006. Timing of meltwater pulse 1a and climate responses to meltwater injections. *Paleoceanography*, v. 21(4), p. 1-9.

Stanford, J. D.; Hemingway, R.; Rohling, E. J.; Challenor, P. G.; Medina-Elizalde, M.; Lester, A. J. 2011. Sea Level Probability for the Last Deglaciation: a statistical analysis of far-field records. *Global Planet Change*, v. 79, p. 193-203.

Storms, J. E.; Weltje, G. J.; Terra, G. J.; Cattaneo, A.; Trincardi, F. 2008. Coastal dynamics under conditions of rapid sea-level rise: Late Pleistocene to Early Holocene evolution of barrier-lagoon systems on the northern Adriatic shelf (Italy). *Quaternary Science Reviews*, 27(11-12), p. 1107-1123.

Terra, L. 2013. *Padrões de Drenagem Pretérita na Plataforma Continental Interna entre o Estreito e a Barra do Rio Grande*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.

Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. (Eds). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p. 375-406.

Vail, P. R.; Mitchum, R. M. & Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 4. Global cycles of relative changes of sea level: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation. In: Payton, C. E. (Ed.). *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, p. 51-116.

Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J.; Loss, E. L.; Dehnhardt, E. A.; Horn Filho, N.; Bachi, F. A.; Dehnhardt, B. A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, v. 4, p. 79-97.

Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J. 1995. *Geologia Costeira do Rio Grande do Sul*. Notas Técnicas. Porto Alegre: CECO/Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 8, p. 1-45.

Wagle, B. G.; Vora, K. H.; Karisiddaiah, S. M.; Veerayya, M.; Ahneida, F. 1994. Holocene submarine terraces on the western continental shelf of India: implications for sea-level changes. *Marine Geology*, v. 117, p. 207–225.

Weschenfelder, J.; Baitelli, R.; Corrêa, I.C.S.; Bortolin, E.C., Santos-Fischer, C.B. 2014. Quaternary incised valleys in Southern Brazil coastal zone. *Journal of South American Earth Sciences*. v. 55, p. 83 – 93.

Weschenfelder, J.; Klein, A. H. F.; Green, A. N.; Aliotta, S.; Mahiques, M. M.; Neto, A. A.; Terra, L. C.; Corrêa, I. C. S.; Calliari, L.; 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*, v. 172, p. 93-107.

Zecchin, M.; Ceramicola, S.; Gordini, E.; Deponte, M. & Critelli, S. 2011. Cliff overstep model and variability in the geometry of transgressive erosional surfaces in high-gradient shelves: the case of the Ionian Calabrian margin (southern Italy). *Marine Geology*, v. 281(1-4), p. 43-58.

**PARTE 3**

**CONCLUSÕES DA TESE**



## Considerações Finais

A integração entre a sismoestratigrafia rasa na plataforma continental do RS e a revisão crítica de indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas costeiras da zona costeira do sul do Brasil, oriundos de múltiplas fontes, possibilitou corroborar as hipóteses levantadas nesta Tese de Doutorado. A identificação e mapeamento de elementos associados a cenários do UMG e da transgressão subsequente correspondia a uma das hipóteses que o presente estudo levantou ao analisar dados sísmicos de alta resolução da plataforma continental do RS e associá-los a indicadores emersos e submersos da área de estudo.

Na revisão crítica (Capítulo 2), esses indicadores de nível marinho regressivo, anteriormente utilizados em pesquisas sobre a evolução da bacia sedimentar de Pelotas no Pleistoceno Superior e Holoceno, tiveram sua aplicabilidade avaliada de acordo com o contexto evolutivo dessa bacia. Por meio dessa avaliação, constatou-se que foram mais numerosas as pesquisas que tiveram como base indicadores geológico-geomorfológicos e biológicos com resolução espacial horizontal, ou seja, correspondentes a registros do deslocamento horizontal da costa.

Esses indicadores de resolução espacial horizontal referem-se a paleoambientes associados a sistemas laguna-barreira, como paleolinhas de praias e corpos lagunares, e a sistemas de paleodrenagens, sendo esses indicadores interpretados como de alta aplicabilidade no contexto evolutivo da plataforma continental do RS. Um exemplo dessa aplicabilidade é o fato de que esse tipo de indicador possui como análogos os sistemas laguna-barreira I, II, III e IV da PCRGS e os paleocanais e vales incisos identificados nos pacotes sedimentares subsuperficiais da laguna dos Patos. Os sistemas laguna-barreira da PCRGS indicam níveis marinhos transgressivos e as incisões fluviais na laguna, por sua vez, níveis regressivos.

A aplicação da sismoestratigrafia rasa no artigo do Capítulo 3 e sua associação aos indicadores de sistemas de paleodrenagens existentes na plataforma continental do RS possibilitaram a reconstrução dessas redes pretéritas de fluxos de rios. Durante o UMG, as drenagens dos rios que, atualmente, têm suas desembocaduras no rio Guaíba (Jacuí), na laguna dos Patos (Camaquã), no Canal São Gonçalo (Piratini), na lagoa Mirim (Jaguarão) e no estuário entre a Argentina e o

Uruguai (Prata) confluíam até a atual isóbata aproximada de 120 m, uma vez que a atual plataforma continental do RS encontrava-se sob exposição subaérea.

A reconstrução dessas redes foi possível em função da identificação de vales incisos e de paleocanais que, associados aos indicadores de paleodrenagens analisados em estudos anteriores, possibilitaram inferir acerca da localização aproximada desses cursos na atual plataforma. Nos registros sísmicos analisados, foram identificados os horizontes HS1 e HS2, sendo o primeiro a superfície de inconformidade sísmica referente à discordância subaérea, ou seja, à superfície pleistocênica soterrada nos pacotes sedimentares, onde é identificado o maior número de incisões fluviais. O HS2 corresponde aos pacotes de preenchimento dessas incisões, os quais foram depositados durante a transgressão subsequente ao UMG.

Em estudos anteriores na área de estudo, a superfície pleistocênica correspondente à discordância subaérea foi identificada, em média, sob uma profundidade de -20 a -5 m do fundo atual. A base do centro dos vales incisos e dos paleocanais identificados na presente Tese encontram-se sob uma profundidade média de -22,4 m, enquanto que o HS1 referente às margens dessas feições situa-se, em média, sob uma profundidade de -9,5 m no pacote sedimentar, coincidindo com os valores registrados na literatura e corroborando de que esse horizonte sísmico corresponde à superfície pleistocênica na área de estudo, escavada durante o UMG.

Os padrões de preenchimento arquitetural da maior parte dos vales incisos e paleocanais identificados apresentaram características de desativação e reativação da paleodrenagem, as quais foram associadas a oscilações que provocaram elevação e queda do nível de base. O pacote sedimentar transgressivo a partir do qual as paleodrenagens não foram mais reativadas é verificado como outro padrão arquitetural de preenchimento das feições, no qual os refletores mostram geometrias menos irregulares e mais plano-paralelas. De uma maneira geral, esse pacote transgressivo que preenche os paleovales e paleocanais é composto por sedimentos fluviais mais próximos da base dessas feições, estuarinos em suas porções intermediárias e marinhos no seu topo, representando um ciclo completo de variação do nível de base.

O estudo evolutivo das costas ao redor do mundo e dos impactos das variações do nível de base nesses ambientes postula que um dos principais fatores de acomodação sedimentar nas plataformas continentais de margens passivas não-glaciais, como é o caso da área de estudo, é as mudanças eustáticas e isostáticas, essa última possuindo relação com a morfologia da costa sobre a qual ocorre a transgressão. A morfologia mais característica desse tipo de margem continental são as incisões fluviais, as quais são formadas em períodos de nível marinho regressivo, afogadas pelas transgressões marinhas subsequentes e associadas a altas taxas de acomodação. Essa última característica possibilita, então, que ocorra uma maior deposição e maiores potenciais de preservação dos pacotes sedimentares regressivos e transgressivos nesses setores, como foi verificado na área de estudo.

No entanto, o Capítulo 3 mostra que essa maior preservação dos pacotes sedimentares foi possibilitada, também, por outro processo, dissertando esse capítulo acerca da associação dessas incisões fluviais a paleobarreiras costeiras também soterradas na plataforma continental do RS e identificadas nos dados sísmicos. Por meio da associação de ambos com outros indicadores múltiplos de paleoníveis marinhos e paleolinhas costeiras atualmente submersos na área de estudo, reconstruiu-se os cenários paleoambientais e a sua evolução desde o UMG até os últimos 6,5 ka.

Após o UMG, a deglaciação e a consequente elevação do nível global dos mares tiveram início, estabilizando-se o nível marinho, entre ~15 e ~13 ka AP, na região batimétrica aproximada de 100 e 80 m da área de estudo, para onde confluíam alguns dos sistemas de drenagem do período. Nesse paleonível, não apenas no sul da área de estudo, como também na plataforma continental da África do Sul, desenvolveu-se um sistema de barreiras costeiras cuja preservação sob os pacotes sedimentares transgressivos ocorreu em função de um afogamento *in situ* - *overstepping* - dessas feições. Esse afogamento *in situ* foi promovido por um pulso de aceleração na velocidade da transgressão associado ao *Melt Water Pulse* (MWP) -1A, iniciado há ~14,6 ka AP e com pico em ~13,8 ka AP. Nas adjacências desse sistema de paleobarreiras, havia o sistema de corpos d'água do Albardão, para o qual confluíam os cursos dos rios Camaquã, Piratini, Jaguarão e um dos cursos do rio da Prata.

Após a retomada da transgressão, entre ~12 e ~8,5 ka AP, uma nova estabilização nas atuais isóbatas de 70, 60 e 50 m ocorreu, desenvolvendo-se um novo sistema de lagoas e de barreiras: no setor norte, os rios Mampituba, Cardoso e Três Forquilhas teriam suas desembocaduras em corpos lagunares da região há ~8,5 ka AP. No setor sul, o sistema do Albardão, a partir de ~12 ka AP, teria cedido lugar a esse novo sistema de lagoas e de barreiras, cujo corpo lagunar de maior extensão era destino de algumas das drenagens da região. Na plataforma continental da África do Sul, da ilha de Florianópolis - SC, do Golfo do México, da Itália, da Austrália, da Índia e do Mar Vermelho, paleobarreiras foram identificadas nessa mesma região batimétrica, tendo sido essa estabilização associada ao resfriamento climático característico dos *Younger Dryas* e a preservação dessas feições, por sua vez, associada ao pulso de aceleração da transgressão resultante do MWP-1B (entre ~11 e ~9 ka AP).

O sistema de paleobarreiras na área de estudo, nos paleoníveis de -70, -60 e -50 m, teve sua gênese e preservação associadas a essas mesmas oscilações climáticas e pulsos transgressivos resultantes delas. Durante o resfriamento climático dos *Younger Dryas*, o nível marinho estabilizou nessa região batimétrica da costa do Sul do Brasil, possibilitando a formação desses depósitos análogos aos depósitos do tipo laguna-barreira existentes na PCRGS. Assim como ocorreu nos paleoníveis entre -100 e -80 m da área de estudo, o pulso transgressivo referente ao MWP-1B também provocou o afogamento *in situ* dessas feições. Esse pulso e afogamento *in situ* correspondem às outras variáveis que, associadas ao caráter de margem continental passiva não-glacial da área de estudo (predisposta à formação de incisões fluviais e de barreiras), favoreceram a preservação desses depósitos durante a transgressão.

Após ~8,5 ka AP, a transgressão foi retomada, ocorrendo novas estabilizações em distintos níveis batimétricos, como nas atuais isóbatas aproximadas de 25 e 20 m há ~6,5 ka AP. Nessa estabilização, um novo sistema costeiro foi desenvolvido. A oscilação climática associada ao MWP-1C teria resultado em mais um pulso de aceleração da transgressão quando o nível marinho encontrava-se nessa batimetria aproximada de 20 m, porém antes de 6,5 ka AP. Esse pulso de aceleração, segundo apontaram alguns estudos, teria ocorrido em associação com o evento de 8,2 ka AP, quando um resfriamento climático global foi

provocado pelas mudanças na circulação dos oceanos, modificando o nível dos mares também. Na área de estudo, a estabilização do nível do mar entre -25 e -20 m, há ~6,5 ka AP, teria acontecido após o evento de 8,2 ka AP e o MWP-1C, enquanto que depósitos associados a estabilizações nas isóbatas em torno de 45 e 32 m poderiam ser associadas às mudanças no nível do mar correlacionadas a esses dois eventos.

Logo, a revisão crítica de estudos acerca da evolução da costa do sul do Brasil durante o Quaternário, efetuada no Capítulo 2, permitiu uma melhor compreensão sobre esses indicadores de paleoníveis marinhos e de paleolinhas de costa abaixo do nível atual. Com essa compreensão, corrobora-se que a costa do RS apresenta uma ampla gama de indicadores que possibilitam reconstruções do deslocamento horizontal da linha de costa. Esses indicadores constituem paleoambientes associados a sistemas análogos aos depósitos do tipo laguna-barreira e de paleodrenagens da PCRGS, os quais correspondem às feições identificadas na presente Tese por meio da sísmica rasa. Nas feições referentes a barreiras costeiras, a identificação e análise dessas feições possibilitaram visualizar a dinâmica transgressiva por meio de pulsos de estabilização marinha e retomada da transgressão.

A sismoestratigrafia, através da identificação e análise de incisões fluviais (Capítulo 3) e de paleobarreiras costeiras (Capítulo 4) soterradas sob o atual fundo marinho da costa sul-brasileira, associada a essa revisão crítica de indicadores múltiplos (Capítulo 2), permitiu corroborar com a hipótese de que elementos deposicionais desenvolvidos sob níveis do mar regressivos eram passíveis de identificação. A corroboração da hipótese de que era possível a reconstrução paleogeográfica e da dinâmica da transgressão holocênica - ocorrida sob a forma de pulsos de aceleração e desaceleração - possibilitou constatar que o caráter de margem continental passiva não-glacial da área de estudo permitiu o desenvolvimento de amplas redes de drenagem e de barreiras costeiras nas estabilizações. Por conseguinte, a soma dessa dinâmica transgressiva sob a forma de pulsos com a alta capacidade de acomodação sedimentar dessa região, concedida por seu caráter morfotectônico, resultou na acomodação dessas feições durante as estabilizações e sua posterior preservação sob o atual fundo oceânico.

## **ANEXOS**

I) Comprovante de Submissão do Artigo *Indicadores da posição do nível do mar e da linha de costa durante o Quaternário na bacia de Pelotas, Sul do Brasil*, à Revista Caminhos de Geografia.

The screenshot shows the OJS submission management interface. The user is logged in as 'hahn'. The page title is 'Submissões'. There are tabs for 'Fila' and 'Arquivos'. The main section is 'Minhas Submissões Designadas', which contains a search bar and a 'Nova Submissão' button. A single submission is listed with ID 57428, author 'Ana Rita Hahn, Jair Weschenfelder', and title 'INDICADORES DA POSIÇÃO DO NÍVEL DO MAR E DA LINHA DE COSTA DURANTE O ...'. A 'Submissão' button is highlighted with a red circle. The footer indicates 'Platform & workflow by OJS / PKP'.

The screenshot shows the submission details page. The title is 'INDICADORES DA POSIÇÃO DO NÍVEL DO MAR E DA LINHA DE COSTA DURANTE O QUATERNÁRIO NA BACIA DE PELOTAS, SUL DO BRASIL' by Ana Rita Hahn, Jair Weschenfelder. There are tabs for 'Submissão', 'Avaliação', 'Edição de Texto', and 'Editoração'. The 'Arquivos da Submissão' section shows a file named 'hahn, Manuscrito.doc' with a date of 'setembro 22, 2020'. There is a 'Baixar Todos os Arquivos' button. The 'Discussão da pre-avaliação' section is currently empty, with a table header for 'Nome', 'De', 'Última resposta', 'Respostas', and 'Fechado'. The footer indicates 'Nenhum item'.

The screenshot shows an email notification from Paulo Cezar Mendes, dated 'ter., 22 de set. 16:09 (há 1 dia)'. The subject is '[RCG] Agradecimento pela submissão'. The email content reads: 'Agradecemos a submissão do trabalho "Indicadores INDICADORES DA POSIÇÃO DO NÍVEL DO MAR E DA LINHA DE COSTA DURANTE O QUATERNÁRIO NA BACIA DE PELOTAS, SUL DO BRASIL" para a revista Caminhos de Geografia. Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:'.

II) Comprovante de Submissão do Artigo *Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil*, ao periódico *Brazilian Journal of Geology*.

ScholarOne Manuscripts™ Ana Rita Hahn ▾ Instructions & Forms Help Log Out

**SciELO** Brazilian Journal of Geology

Home Author

Author Dashboard

**Author Dashboard**

- 1 Unsubmitted and Manuscripts in Draft
- 1 Submitted Manuscripts
- Start New Submission
- Legacy Instructions
- 5 Most Recent E-mails

### Submitted Manuscripts

STATUS	ID	TITLE	CREATED	SUBMITTED
ADM: <a href="#">Watanabe, Karina</a>	BJGEO-2020-0103	Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil	22-Sep-2020	23-Sep-2020
<ul style="list-style-type: none"> <li>Awaiting Admin Processing</li> </ul>				

# BRAZILIAN JOURNAL OF GEOLOGY

**Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil**

Journal:	Brazilian Journal of Geology
Manuscript ID	BJGEO-2020-0103
Manuscript Type:	Original articles
Date Submitted by the Author:	23-Sep-2020
Complete List of Authors:	Hahn, Ana Rita; Universidade Federal do Rio Grande do Sul Weschenfelder, Jair; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências Melo, Beatriz Farias; FURG, Instituto de Oceanografia Calliari, Lauro Júlio; FURG, Instituto de Oceanografia Lague, João Pedro; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências de Oliveira, Natacha; Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Oceanografia e Ecologia

Brazilian Journal of Geology - Manuscript ID BJGEO-2020-0103 Doutorado x

**Tatiana Alonso** <onbehalf@manuscriptcentral.com> 00:43 (há 18 horas)

para mim, jair.weschenfelder, beatrizfariasmelo, lcalliari, joaopedrogrosslague, natoliveiran

23-Sep-2020

Dear Miss Hahn:

Your manuscript entitled "Fluvial incision as indicative of the Quaternary coastal evolution in a non-glacial passive continental margin: Southern Brazil" has been received by the Editorial Office of the Brazilian Journal of Geology.



**III) Comprovante de Submissão do Artigo *Indicadores múltiplos na reconstrução da evolução paleogeográfica do Quaternário costeiro do Sul do Brasil*, à Revista Brasileira de Geomorfologia.**

The screenshot shows the submission details for article #2035. The page header includes the journal title and navigation links. The main content is organized into sections: 'Submissão' (Submission) and 'Situação' (Status).

**Submissão**

Autores	Ana Rita Oliveira Hahn, Jair Weschenfelder, Beatriz Farias Melo, Lauro Julio Calliani, João Pedro Gross Lague, Natacha Oliveira
Título	Indicadores Múltiplos na Reconstrução da Evolução Paleogeográfica do Quaternário Costeiro do Sul do Brasil
Documento original	<a href="#">2035-386391787-1-SM.DOCX</a> 2020-09-22
Docs. Sup.	Nenhum(a) <a href="#">INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR</a>
Submetido por	Ana Rita Oliveira Hahn
Data de submissão	setembro 22, 2020 - 11:58
Seção	Artigos
Editor	Nenhum(a) designado(a)

**Situação**

Situação	Aguardando designação
Iniciado	2020-09-22
Última alteração	2020-09-22

On the right side, there are user and search options. The user is logged in as 'ana-rita-oliveira-hahn15'. The search section includes a search bar and a 'Pesquisar' button. The 'AUTOR' section shows submission status: 'Submissões' (Active: 1, Archived: 0, New: 0).

The screenshot displays the 'Metadados da submissão' page, which lists the authors and their contact information. It includes fields for Name, ORCID, Institution/Affiliation, Country, and Biography Summary.

**Metadados da submissão**

[EDITAR METADADOS](#)

**Autores**

Nome	Ana Rita Oliveira Hahn
ID ORCID	<a href="http://orcid.org/0000-0002-6551-2803">http://orcid.org/0000-0002-6551-2803</a>
Instituição/Afiliação	Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
País	—
Resumo da Biografia	Concluindo o Doutorado em Geociências no Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS.
Contato principal para correspondência	—
Nome	Jair Weschenfelder
ID ORCID	<a href="http://orcid.org/0000-0002-2075-4067">http://orcid.org/0000-0002-2075-4067</a>
Instituição/Afiliação	Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
País	Brasil
Resumo da Biografia	—
Nome	Beatriz Farias Melo
ID ORCID	<a href="http://orcid.org/0000-0001-9322-297X">http://orcid.org/0000-0001-9322-297X</a>
Instituição/Afiliação	Laboratório de Oceanografia Geológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande
País	Brasil
Resumo da Biografia	—
Nome	Lauro Julio Calliani
ID ORCID	<a href="http://orcid.org/0000-0002-5503-8300">http://orcid.org/0000-0002-5503-8300</a>
Instituição/Afiliação	Laboratório de Oceanografia Geológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande
País	Brasil
Resumo da Biografia	—
Nome	João Pedro Gross Lague
ID ORCID	<a href="http://orcid.org/0000-0002-6033-2221">http://orcid.org/0000-0002-6033-2221</a>
Instituição/Afiliação	Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
País	Brasil
Resumo da Biografia	—
Nome	Natacha Oliveira
ID ORCID	<a href="http://orcid.org/0000-0003-4969-6443">http://orcid.org/0000-0003-4969-6443</a>
Instituição/Afiliação	Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo
País	Brasil
Resumo da Biografia	—

At the top right, there are links for 'Ajuda do sistema' and 'IDIOMA' (Português (Brasil)).

The screenshot shows a message from Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, dated September 22, 2020, at 22:54. The message is addressed to Ana Rita Oliveira Hahn and expresses gratitude for her submission.

**[RBG] Agradecimento pela submissão** Doutorado x

**Roberto Arnaldo Trancoso Gomes**  
para mim ▾

Ana Rita Oliveira Hahn,

Agradecemos a submissão do trabalho "Indicadores Múltiplos na Reconstrução da Evolução Paleogeográfica do Quaternário Costeiro do Sul do Brasil" para a revista Revista Brasileira de Geomorfologia.

ter., 22 de set. 22:54 (há 20 horas)

## ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

**“Paleoníveis Marinhos e Paleolinhas de Costa na Bacia de Pelotas: reconstruções do nível do mar durante o Quaternário Superior a partir de sismoestratigrafia e indicadores múltiplos”**

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autora: Ana Rita Oliveira Hahn

Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Examinador: Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa

Data: 22/10/2020

Conceito: A (EXCELENTE)

### PARECER:

A Tese encontra-se bem elaborada seguindo os padrões do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS. Os objetivos são claros e foram totalmente atingidos. Algumas sugestões foram apresentadas a dotouranda em relação a estrutura da tese.

Foi observado que na estrutura faltou um capítulo dedicado a Materiais e Métodos empregados no desenvolvimento do trabalho bem como um item dedicado a Área de Estudo.

Algumas correções foram sugeridas:

Pág 77 - Fig 3 - Na legenda é citado um Perfil 8ª o qual não é referenciado em nenhum lugar, bem como em outras figuras do texto onde também aparece citação Line 1 e não há relação que localize esta linha nos mapas.

Na Fig 2 aparece citado a Fig 4b e Fig. 4c entretanto na Fig 4 só aparece as letras "b" e "c".

Pág. 78 - Fig. 4 - a escala vertical dos perfis "b" e "c" está errada, onde conta 45, na realidade é 30.

Pág. 79 - Fig. 5 - na legenda aparece descrito o perfil (E-E') onde deve ser perfil (D-D').

Pág. 81 - Figura 7, na legenda aparece descrito o perfil (G-G') onde deve ser perfil (F-F').

Pág. 102 - Fig. 1 - faltam coordenadas e escala. No último parágrafo desta página é informado que a quebra da plataforma se encontrava a 150-180 m, quando na realidade é em torno de 120 m.

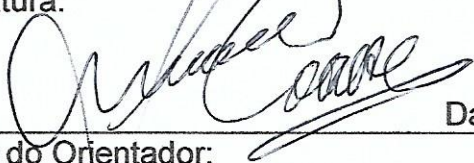
Pág. 108 - Fig. 3 - O perfil está mostrando que a direção do mesmo é de SE para NW, quando na verdade é o inverso.

Pág 111 - último parágrafo - É informado que na transgressão entre o período de 17,5 ka e 16 ka o nível do mar variou de 130 para 120 m, quando na realidade é de 130 para 100 m.

No geral a bibliografia encontra-se fora das normas estabelecidas pelo Pós-Graduação e pelas revistas a que os artigos foram submetidos. Necessita uma revisão.

No restante a tese alcançou seus objetivos tendo o trabalho apresentado uma integração com dados da literatura e estabelecendo um teoria de que os altos encontrados na plataforma externa possam estar relacionados a antigos cordões litorâneos quando o nível do mar encontrava-se mais baixo que o atual. A doutoranda alcançou seus objetivos e o trabalho alcançou conceito A (EXCELENTE) de aprovação.

Assinatura:



Data: 22/10/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>	
Título da Dissertação/Tese:	
<b>“Paleoníveis Marinhos e Paleolinhas de Costa na Bacia de Pelotas: reconstruções do nível do mar durante o Quaternário Superior a partir de sismoestratigrafia e indicadores múltiplos”</b>	
Área de Concentração: Geologia Marinha	
Autora: <b>Ana Rita Oliveira Hahn</b>	
Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder	
Examinador: Profa. Dra. Carina Petsch	
Data: 22/10/2020	
Conceito: A	
<b>PARECER:</b>	
<p>A tese apresenta um tema pertinente ao propor a reconstrução de cenários do comportamento do nível marinho da bacia sedimentar de Pelotas no Quaternário Superior. Os artigos apresentam conexão e demonstram resultados e discussões inovadores para a área. Contudo, sugiro a apresentação da justificativa nos artigos 2 e 3, de como foi feita a escolha do método, aliando os dados sísmicos aos indicadores múltiplos levantados. Recomendo a adição de uma explicação detalhada de como os dados brutos da Sismografia foram processados e inseridos no Sistema de Informação Geográfica, no item “materiais e métodos” dos artigos 2 e 3. É necessário inserir autores que já realizaram reconstruções de evolução paleogeográfica, em outras áreas de estudo, utilizando o mesmo método utilizado na tese em questão. Por fim, justificar nos artigos 2 e 3, que a confiabilidade dos cenários de reconstrução ocorre em função da quantidade de indicadores ambientais e dados sísmicos considerados.</p>	
Assinatura: <i>Carina Petsch</i>	Data: 22/10/2020
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>“Paleoníveis Marinhos e Paleolinhas de Costa na Bacia de Pelotas: reconstruções do nível do mar durante o Quaternário Superior a partir de sismoestratigrafia e indicadores múltiplos”</b>
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autora: <b>Ana Rita Oliveira Hahn</b>
Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder
Examinador: Profa. Dra. Nina Simone Moura
Data: 22/10/2020
Conceito: A
<b>PARECER:</b>
<p>A tese desenvolvida apresenta grande contribuição aos estudos sobre as variações do nível do mar na costa brasileira, em especial as pesquisas realizadas no Estado do Rio Grande do Sul.</p> <p>A estrutura da tese encontra-se de acordo com as orientações do PPGeo, pois foi apresentada, basicamente, na forma de três artigos que expressam as etapas e os resultados obtidos durante o período de doutoramento. Destaca-se pela adequação conceitual, revisão bibliográfica, utilização de ferramentas de tecnologia recente e representações gráficas de síntese que demonstram os resultados obtidos.</p> <p>Para qualificar o trabalho faz-se as seguintes observações e/ou sugestões:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- refletir sobre a contribuição epistemológica da tese, visto que apresenta duas linhas de investigação: discutir as características das variações do nível do mar e a utilização da sismoestratigrafia como recurso para confirmar as interpretações já existentes por outros indicadores.</li> <li>- a revisão bibliográfica relacionada aos indicadores de paleoníveis marinhos e paleolinhas de costa foi abrangente e qualificada, porém não percebeu-se nenhuma bibliografia com propostas interpretativas controversas às hipóteses indicadas. Além disso, muitos indicadores reconhecidos em várias partes do mundo precisam ser cuidadosamente comparados ou correlacionados, pois referem-se a escalas temporo-espaciais distintas.</li> <li>- os procedimentos metodológicos e operacionais para a elaboração dos mapas com os cenários reconstituídos das variações do nível do mar não foram apresentados. A tese careceu de um capítulo de maior detalhe relacionado aos procedimentos de interpretação dos dados sismográficos e da elaboração</li> </ul>

cartográfica.

Assinatura:

Data: 27/10/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: