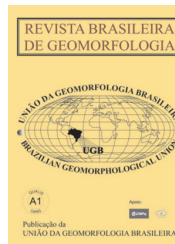


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 3 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1789>



PADRÕES DE EMPILHAMENTO ESTRATIGRÁFICO E SEUS REFLEXOS NA MORFOLOGIA DA BARREIRA COSTEIRA HOLOCÊNICA NO LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

STRATIGRAPHIC STACKING PATTERNS AND THEIR REFLECTIONS ON THE HOLOCENE COASTAL BARRIER MORPHOLOGY OF THE MIDDLE COAST OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

Volney Junior Borges de Bitencourt

Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, nº 9.500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. CEP: 91501-970. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1004-5179>
E-mail: volneybitencourt@gmail.com

Sergio Rebello Dillenburg

Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, nº 9.500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. CEP: 91501-970. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0072-7018>
E-mail: sergio.dillenburg@ufrgs.br

Eduardo Guimarães Barboza

Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, nº 9.500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. CEP: 91501-970. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2107-6904>
E-mail: eduardo.barboza@ufrgs.br

Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, nº 9.500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. CEP: 91501-970. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1963-4842>
E-mail: luiza.camara@ufrgs.br

Rogério Portantiolo Manzolli

Department of Civil and Environmental, Universidad de La Costa
Departamento del Atlántico, Barranquilla, Colombia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0223-5634>
E-mail: rportant1@cuc.edu.co

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
26/10/2019
Aceito (Accepted):
27/05/2020

Resumo:

Neste trabalho, investigou-se com detalhe a barreira holocênica do litoral médio do Rio Grande do Sul (RS), entre as localidades do Estreito e de Bacupari. Este trecho do litoral corresponde a mais expressiva projeção costeira de larga-escala da costa do RS. Dados geofísicos (Georadar) e geomorfológicos superficiais permitiram

Palavras-chave:

Georadar (GPR); Evolução Costeira; Balanço Sedimentar; SIG.

Keywords:

Ground Penetrating Radar (GPR); Coastal Evolution; Sediment Budget; GIS.

importantes descobertas. Na porção sul da projeção costeira, entre o Estreito e o setor norte da Lagoa do Peixe, a barreira holocênica exibe um comportamento evolutivo predominantemente retrogradacional (provavelmente desde 6 ka até o presente), o qual foi determinado por um longo período de balanço negativo de sedimentos. Já na porção norte da projeção, entre o Balneário Mostardense e Bacupari, a barreira mostra uma inversão de comportamento retrogradacional para progradacional. Tal mudança evolutiva, expressa numa progradação que varia de 230 a 1800 m, é possivelmente oriunda de uma alteração no balanço de sedimentos (balanço negativo para positivo)

que pode ter ocorrido somente há alguns séculos, ou mesmo poucos milênios. A mudança para um padrão de empilhamento progradacional mostrou-se crescente em dimensão (extensão do registro progradacional) do meio para o norte da projeção costeira. É possível sugerir que essas tendências evolutivas em escala geológica (10^2 - 10^3 anos) vão continuar no decorrer das próximas décadas. Informações acerca do comportamento evolutivo da linha de costa nos últimos séculos e milênios podem servir como subsídios do meio físico na gestão costeira do litoral médio do RS.

Abstract:

In this work, the Holocene barrier of the middle coast of Rio Grande do Sul (RS), located between Estreito and Bacupari, was investigated in detail. This stretch of the coast corresponds to the most expressive large-scale coastal projection of the RS coast. Important discoveries were made through subsurface geophysical (GPR) and surficial geomorphology data. In the southern portion of the projection, between Estreito and the northern sector of Lagoa do Peixe, the Holocene barrier exhibits a predominantly retrogradational evolutionary behavior (probably from 6 ka and the present), which was determined by a negative sediment budget in the long term. On the other hand, in the northern portion of the projection, between Balneário Mostardense and Bacupari, the barrier shows a reversal from retrogradational to progradational behavior. Such evolutionary change, expressed in a progradation ranging from 230 to 1800 m, is possibly attributed to a change in the sediment budget (negative to positive budget) that may have occurred only a few centuries ago, or even a few millennia. The reversal towards a progradational stacking pattern showed an increase in size (length of the progradational record) from the middle to the north of the coastal projection. It is possible to suggest that these evolutionary trends on a geological scale (10^2 - 10^3 years) will continue over the next decades. Information about the coastline evolutionary trends in the last centuries and millennia can be useful as subsidies for the coastal management of the middle coast of RS.

1. Introdução

Grande parte das costas arenosas do mundo encontra-se em uma fase de transgressão ou erosão, na qual o volume de sedimentos aportado é insuficiente para manter um perfil de equilíbrio (BIRD, 1985; GALGANO *et al.*, 1998; LEATHERMAN *et al.*, 2000; CLIFTON, 2005; LUIJENDIJK *et al.*, 2018; ATHANASIOU *et al.*, 2019). A erosão costeira no litoral do Rio Grande do Sul (RS) é um tema de estudos frequente (i.e. ESTEVES *et al.*, 2002; DILLENBURG *et al.*, 2004a, 2020; TOLDO *et al.*, 2005; PORTZ *et al.*, 2010; ALBUQUERQUE *et al.*, 2013; BARBOZA e ROSA, 2014; OLIVEIRA, U. *et al.*, 2019). Dados recentes sugerem que 45% da linha de costa do RS encontra-se em erosão moderada e cerca de 4% em erosão acentuada (NICOLODI *et al.*, 2018).

O entendimento dos fatores de controle do suprimento de sedimentos, da morfologia costeira e da dinâmica da barreira em longo prazo é fundamental para o manejo costeiro (OOST *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2014; LEAL *et al.*, 2016; OLIVEIRA, J. *et al.*, 2019). Estudos de longo período e larga-escala parecem ter pouco aproveitamento para a sociedade, devido a curta escala de vida dos seres humanos. Contudo, cada vez mais se busca a integração de escalas espaciais e temporais distintas para a predição e o melhor entendimento do ambiente costeiro, utilizando análises geomorfológicas e estratigráficas de longo período (GALLOP *et al.*, 2015; MARTINS *et al.*, 2018). Entretanto, análises isoladas do deslocamento da linha de costa podem ser resultantes de uma variabilidade natural inter-decadal (CROWELL *et al.*, 1993; STIVE *et al.*, 2002), não refletindo a tendência da zona costeira

em maior escala temporal. Assim, a história evolutiva dos sistemas costeiros pode ser elucidada através da análise morfológica e da interpretação do padrão de empilhamento dos estratos deposicionais que compõem o registro stratigráfico em subsuperfície.

O padrão de empilhamento desses estratos produz três tipos principais de comportamento de barreiras costeiras: progradação, agradacional e retrogradacional (GALLOWAY e HOBDA, 1983; BOYD *et al.*, 1992; ROY *et al.*, 1994; HESP e SHORT, 1999; DILLENBURG e HESP, 2009). Os termos stratigrafia regressiva, estacionária e transgressiva também são empregados para classificar o estilo/comportamento das barreiras (KRAFT, 1982; FITZGERALD e BUYNEVICH, 2009; FRUERGAAARD *et al.*, 2015). Esses comportamentos são resultantes da relação da taxa de suprimento de sedimentos *versus* taxa de criação do espaço de acomodação em um período de tempo específico (GALLOWAY e HOBDA, 1983; POSAMENTIER *et al.*, 1988; FLEMMING, 2002; CATUNEANU, 2006). Estes comportamentos possuem tendências de deslocamento de linha de costa distintas (em longo período).

Estudos stratigráficos precursores baseavam-se essencialmente em registros pontuais de furos de sondagens (CURRAY, 1964; HOYT, 1967; SWIFT, 1968; OTVOS, 1970; DILLENBURG, 1996; LORSCHETTER e DILLENBURG, 1998; DILLENBURG *et al.*, 2004b). Entretanto, nas últimas décadas, o Georadar (GPR – *Ground-Penetrating Radar*) se tornou um dos principais métodos de investigação de ambientes sedimentares costeiros (LEATHERMAN, 1987; DANIELS, 1996; JOL *et al.*, 1996; NEAL, 2004; ANNAN, 2009). Dentre diversas finalidades de sua aplicação, o Georadar permite caracterizar a arquitetura deposicional e a geometria dos depósitos sedimentares (BRISTOW e JOL, 2003; BUYNEVICH *et al.*, 2009). A aplicação desta ferramenta é potencializada quando utilizada em conjunto com outros produtos de Sensoriamento Remoto em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Estudos realizados por Barboza *et al.* (2009, 2011, 2013, 2014, 2018) utilizaram o Georadar para avaliar os registros em subsuperfície de trechos da barreira holocênica ao longo da Bacia de Pelotas e definir seu padrão de empilhamento; Dillenburg *et al.* (2011) compararam radarfácies de Georadar com litofácies de testemunhos sedimentares para determinar os limites entre diferentes depósitos costeiros; Lima *et al.* (2013) aplicaram o Georadar para caracterizar o modelo evo-

lutivo da barreira holocênica no extremo sul do RS (Hermenegildo); Barboza *et al.* (2014), Biancini da Silva *et al.* (2014), Dillenburg *et al.* (2014) e Leal *et al.* (2016) analisaram registros de paleocanais fluviais na região sul de Santa Catarina (SC); Rosa *et al.* (2017) utilizaram o Georadar para analisar as escalas espaciais e temporais dos depósitos quaternários e propor um arcabouço stratigráfico hierarquizado para a Bacia de Pelotas; Bitencourt *et al.* (2016), Dillenburg *et al.* (2017) e Manzolli *et al.* (2018) utilizaram o Georadar para inferir o arcabouço sedimentar e o padrão de truncamentos de cordões litorâneos regressivos; Barboza *et al.* (2018) apresentam a relação diácrona entre o máximo transgressivo e o máximo eustático do nível do mar no Holoceno. Recentemente, Leandro *et al.* (2019) integraram dados de sondagens com análise de traço de Georadar para determinar o contato entre depósitos de ambientes deposicionais costeiros.

A barreira holocênica no RS tem sido interpretada como uma barreira progradação (regressiva) ao longo de embaiamentos (reentrâncias) costeiras e como uma barreira retrogradacional (transgressiva) ao longo das suaves projeções costeiras que caracterizam a fisiografia da costa do RS (Figura 1) (DILLENBURG *et al.*, 2000; DILLENBURG e BARBOZA, 2009, 2014; BITENCOURT *et al.*, 2020). Todavia, em um extenso trecho do litoral médio do RS (200 km), situado entre as localidades de Estreito e de Bacupari (Figuras 1 e 2), correspondendo a mais expressiva projeção costeira do RS, a interpretação do caráter transgressivo (ou retrogradacional) está, até então, fundamentada nas características morfológicas do terreno e na exposição de lamias e de turfas lagunares na zona de estirâncio e pós-praia (*foreshore* e *backshore*). Boa parte deste trecho costeiro é de difícil acesso para a realização de sondagens de grande penetração, em razão da ocorrência de um grande campo de dunas situado principalmente entre Balneário Mostardense (Mostardas) e Bacupari.

Neste estudo, foram realizadas campanhas para aquisição de dados geofísicos com Georadar tendo o objetivo de estabelecer a stratigrafia (padrão de empilhamento e tendência evolutiva da linha de costa) do litoral médio do RS (entre as localidades de Estreito e de Bacupari). Os levantamentos, que ocorreram de forma perpendicular à praia, foram realizados nos primeiros 500 m a contar da linha de costa em direção ao continente (interior da barreira). Entendendo que esta

dimensão de 500 m representa a evolução da barreira nos últimos séculos a talvez poucos milênios. Tal dimensão temporal (10^2 - 10^3 anos), inclusa na escala de tempo geológica (*sensu* COWELL & THOM, 1994), tem importante aplicação na análise preditiva de potenciais cenários evolutivos, contribuindo com informações para a gestão costeira no que tange o estabelecimento de áreas indicadas para ocupação humana (setores de acreção/regressivos) ou não indicadas para a ocupação (setores de erosão/transgressivos).

2. Área de Estudo

2.1 Geologia-geomorfologia

A área de estudo integra a margem continental sul-brasileira, uma margem do tipo-*rift*, formada pelo rompimento do supercontinente de Gondwana (separação da América do Sul e da África) responsável pelo desenvolvimento do Oceano Atlântico Sul, no Cretáceo Inferior (STICA *et al.*, 2014; DILLENBURG *et al.*, 2017). Esta margem continental integra a Bacia de Pelotas, uma bacia marginal limitada pelas terras altas no sentido do continente, formadas por rochas Pré-Cambrianas e Paleozoicas, e longitudinalmente limitadas por altos estruturais, representados pelo Cabo de Santa Marta (Santa Catarina) e La Coronilla (Uruguai) (Figura 1). A plataforma continental do Rio Grande do Sul é relativamente larga (>100 km), rasa (<150 m) e com uma declividade que varia entre $0,03^\circ$ e $0,08^\circ$ (DILLENBURG *et al.*, 2000; BITENCOURT e DILLENBURG, 2020). É uma plataforma dominada pelo espaço de acomodação conforme a classificação de Swift e Thorne (1991), ou seja, não recebe aporte arenoso moderno considerável (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1992).

A porção emersa da Bacia de Pelotas, principalmente a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), registra contínuos ciclos glacio-eustáticos do Nível Relativo do Mar (NRM) no Quaternário (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1992; CORRÊA, 1996). Dois sistemas deposicionais principais podem ser diferenciados: os sistemas de leques aluviais no limite oeste da planície e a sucessão de quatro sistemas do tipo laguna-barreira (I, II e III – pleistocênicas e IV – holocênica) que se desenvolvem até a linha de costa oceânica (VILLWOCK *et al.*, 1986). Na barreira holocênica, coexistem trechos com diferentes comportamentos: progradacional (regressivo) nos embaiamentos e retrogradacional (transgressivo)/agradacional (estacionário) nas projeções costeiras

(DILLENBURG *et al.*, 2000, 2009; DILLENBURG, 2012). Nos setores retrogradacionais é comum o afloramento de depósitos de fundo lagunar holocênicos, no estirâncio e no pós-praia (DILLENBURG *et al.*, 2004b, 2009). Bancos de arenitos de praia (*beachrocks*) pleistocênicos ocorrem na antepraia e na plataforma continental interna do RS, e também a afloram na face da praia no Farol da Conceição (BUCHMANN e TOMAZELLI, 2003).

A origem, evolução e o posicionamento geográfico atual da barreira holocênica remete ao final do Último Máximo Glacial (UMG), há cerca de 20-18 ka, quando teve início a Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP), com o NRM subindo mais de 120 m (CORRÊA, 1996; DILLENBURG *et al.*, 2000; WESCHENFELDER *et al.*, 2014). À época, o NRM em elevação reciclou depósitos de uma antiga planície costeira (atual plataforma continental). O nível do mar, na região, subiu de aproximadamente 18 até 5,6 ka, com taxas entre 0,6 a 1,9 cm/a (CORRÊA, 1996), e atingiu de 1 a 3 m acima do nível atual, seguido por uma suave queda até o nível moderno (BARBOZA e TOMAZELLI, 2003; DILLENBURG *et al.*, 2009, 2017).

De acordo com Rosa *et al.* (2011, 2017), os sistemas laguna-barreira da PCRS correspondem a um conjunto de sequências deposicionais de alta frequência com empilhamento degradacional que prograda em direção ao depocentro da bacia, representando parte do trato de sistemas regressivo/nível em queda de uma sequência de maior ordem (~500 ka).

Conforme Fernandez *et al.* (2019), em termos geomorfológicos, essa porção emersa da Bacia de Pelotas é caracterizada por uma planície costeira quaternária formada por barreiras costeiras e lagoas/lagunas, recobertas por vegetação de restinga sob condições de clima temperado.

As praias oceânicas abertas do RS são compostas por areias quartzosas finas e bem selecionadas (areias policíclicas) e possuem comportamento morfodinâmico que varia entre estágios dissipativo a intermediário (CALLIARI e TOLDO, 2016). Depósitos eólicos expressivos são frequentes ao longo da costa, em particular na área de estudo do presente trabalho. Alguns setores exibem dunas frontais contínuas e grandes depósitos eólicos transgressivos (TOMAZELLI, 1993; HESP *et al.*, 2007; MARTINHO *et al.*, 2008, 2010; ROCKETT *et al.*, 2017; PUHL e DILLENBURG, 2018).

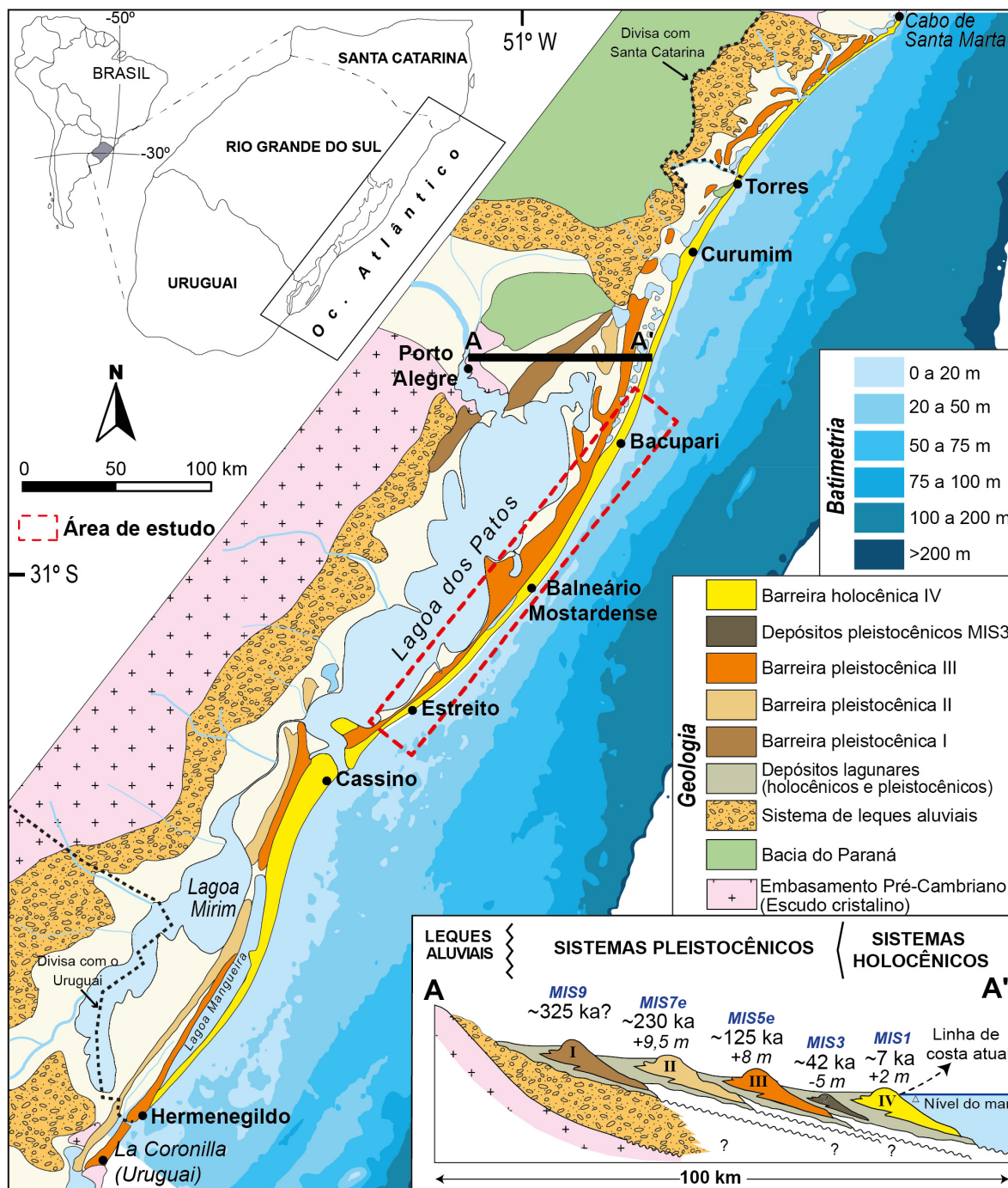


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da maior parte da porção emersa da Bacia de Pelotas. A barreira costeira holocênica contínua e cronocorrelata se estende longitudinalmente entre o Cabo de Santa Marta (Santa Catarina) e La Coronilla (Uruguai). O perfil transversal A–A' corresponde à seção geológica esquemática apresentada na porção inferior da figura. O retângulo tracejado em vermelho demarca a área de estudo, que corresponde a uma projeção costeira de larga-escala e pode ser visualizada em detalhe na Figura 2. (Modificado de DILLENBURG e BARBOZA, 2014; ROSA et al., 2017).

2.2. Aspectos oceanográficos e climáticos

As marés ao longo da costa oceânica do Rio Grande do Sul são semidiurnas com amplitude de micro-maré (<50 cm). Forçantes meteorológicas e oscilações

em frequência submareal podem sobrelevar o nível d'água em mais de 66 cm (ANDRADE et al., 2018). Com base em dados de campo e em modelagem numérica, as direções de onda predominantes na plataforma

sul do Brasil são de 100° (E) e 160° (SE), com alturas de onda variando entre 1 – 1,50 m e período entre 6 a 14 s, com média de 8 s para vagas (*sea*) e 12 s para ondulação (*swell*) (CUCHIARA *et al.*, 2009; STRAUCH *et al.*, 2009; ROMEU *et al.*, 2015; CECÍLIO e DILLENBURG, 2019). As alturas e os períodos das ondas exibem um aumento progressivo com a propagação das ondas de leste para sul, sendo as ondas do quadrante S – SE as mais altas (CALLIARI e TOLDO, 2016). No geral, há uma deriva litorânea líquida de sedimentos para NE (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1992; TOLDO *et al.*, 1993).

O litoral do RS se insere na zona climática oceânica (Cfa), conforme a classificação de Köppen (1936), com verões quentes e invernos frios, sem estação de seca (ALVARES *et al.*, 2013). Dois sistemas atmosféricos modelam a normal climatológica (principalmente temperatura, precipitação e regime de ventos): o Anticiclone do Atlântico Sul, que produz massas de ar quentes e úmidas (com maior atuação na primavera e verão) e o Anticiclone Polar Migratório, que gera massas de ar secas e frias (mais atuante no outono e inverno) (MONTEIRO, 1963; GRIMM, 2009). No verão a temperatura média se situa em $23 \pm 1^\circ\text{C}$ e no inverno em $13 \pm 1^\circ\text{C}$ (GRIMM, 2009). A precipitação pluviométrica é relativamente constante na área de estudo, com cerca de 1350 mm mensais bem distribuídos ao longo do ano.

Conforme Tomazelli (1993), ventos do quadrante NE são os mais frequentes durante todo o ano e têm atividade intensificada nos meses quentes, seguidos em ordem de importância por ventos do quadrante W e SW. O regime de ventos não é homogêneo por todo o litoral, e sofre grande influência do planalto e da orientação da linha de costa (MARTINHO *et al.*, 2010; ROCKETT *et al.*, 2017; PUHL e DILLENBURG, 2018).

3. Materiais e Métodos

3.1 Análises em SIG

Os dados espaciais foram manipulados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) por meio do ArcGIS® 10.5. Nessa etapa, foram utilizados diferentes produtos de SIG e de sensoriamento remoto, como: imagens de satélite do BaseMap do ArcGIS® e do Landsat 8 (composição R4G3B2); perfis altimétricos coletados com um receptor GNSS Trimble® ProXRT (datum WGS84); e o Modelo Digital de Superfície (MDS) TanDEM-X de 0,4 arco-segundos de resolução (~12 m de tamanho de pixel) com precisão absoluta de

altura de 10 m (erro linear de 90%) e precisão relativa de altura de 2 m (HAWKER *et al.*, 2019). A comparação do TanDEM-X com os perfis de GNSS da área de estudo resultou numa acurácia vertical de menos de 2 m, de acordo com o RMSE (*root mean square error*).

3.2 Levantamentos com Georadar

Oito perfis, perpendiculares à linha de costa barreira holocênica (direção SE-NW), foram adquiridos nas seguintes localidades: Bacupari, Solidão, São Simão, Balneário Mostardense, Lagoa do Peixe (norte e sul), Bujuru e Estreito (Figura 2). A aquisição se deu por meio de um coletor Cobra Plug-In GPR (Radarteam Sweden AB) com uma antena aérea mono-estática modelo Subecho SE-70, na frequência central de 80 MHz (largura de banda de 120 MHz e alcance de frequência de 20–140 MHz). Essa frequência central corresponde a um comprimento de onda “ λ ” de 1,25 m em subsuperfície. O deslocamento da antena transmissora e receptora foi mantido numa distância fixa e constante (*common-offset mode*) com a emissão de aquisição de tempo em 900 ns para a coleta de 512 amostras. O equipamento foi acoplado a um receptor GNSS Trimble® ProXRT (datum WGS84).

A constante dielétrica de valor 10 foi utilizada para a conversão do tempo em velocidade (velocidade média de propagação de $0,095 \text{ m}\cdot\text{ns}^{-1}$ em subsuperfície). Essa constante foi calibrada com dados litológicos de testemunhos sedimentares (DILLENBURG *et al.*, 2011). Alguns testemunhos feitos na área de estudo também auxiliaram na calibração das profundidades e validação da constante dielétrica de 10 (DILLENBURG *et al.*, 2004b, 2009; AREJANO, 2006; MARTINHO *et al.*, 2008).

Depósitos de ambientes sedimentares exibem escalas entre 10^{-3} a 10^1 m, tanto verticalmente quanto horizontalmente (JOL e BRISTOW, 2003); portanto, 80 MHz possibilita definir o padrão de empilhamento (comportamento) da barreira holocênica no trecho estudado. Em razão dos objetivos do trabalho foram analisados e interpretados apenas os primeiros 500 m de registros de Georadar, a contar da linha de costa.

3.3 Processamento dos dados do Georadar

Os dados geofísicos foram pós-processados em quatro programas específicos para tratamento de Georadar: Radan™ (GSSI – Geophysical Survey Systems, Inc.), Reflexw® (Sandmeier Geophysical Research), Prism2®

(Radar Systems, Inc.) e matGPR (TZANIS, 2010).

Os diferentes depósitos da barreira holocênica e seu substrato pleistocênico foram individualizados com base no método da sismoestratigrafia adaptado aos registros de GPR por Neal (2004). Este método baseia-se nas terminações das reflexões (*onlap*, *downlap*, *toplap* e truncamentos) geometria e padrão das reflexões (MITCHUM Jr. *et al.*, 1977; VAIL, 1987; CATUNEANU *et al.*, 2009; ABREU *et al.*, 2010; BARBOZA *et al.*, 2009; 2014; BITENCOURT *et al.*, 2016).

4. Resultados

Na Figura 2 é apresentado o MDS da área de estudo, com a localização dos registros de Georadar e dos perfis topográficos na barreira holocênica em cada localidade estudada. Tanto no MDS como nos perfis topográficos é muito claro o aumento no volume de areia na barreira holocênica de sul para o norte da área de estudo. Este aumento de volume se expressa tanto pelo aumento na largura como na altura da barreira.

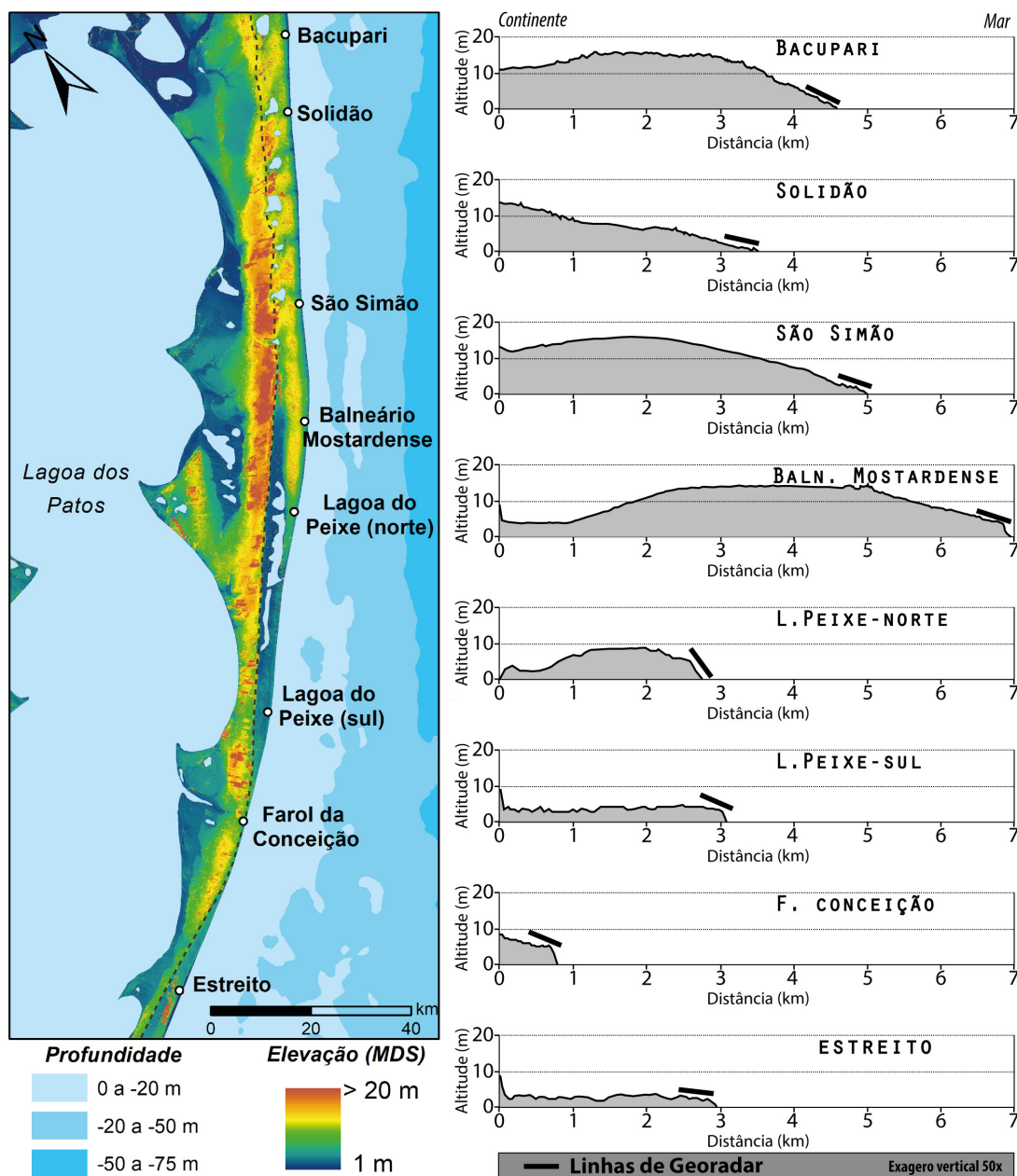


Figura 2 - Modelo Digital de Superfície (MDS), com as localidades onde foram realizados os perfis de Georadar na barreira holocênica, e seus respectivos perfis topográficos com uma linha preta que marca a localização das seções de Georadar (500 m partindo da linha de costa em direção ao continente). A linha pontilhada no MDS demarca o contato dos depósitos lagunares holocênicos com a Barreira pleistocênica III. Os levantamentos geofísicos foram realizados de forma perpendicular à costa. Contexto geológico na Figura 1.

Os registros processados e interpretados de Georadar de cada uma das localidades estudadas da barreira costeira holocênica estão apresentados nas Figuras 3 a 10. No conjunto dos registros foram interpretados quatro distintos depósitos e/ou ambientes: I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico; II – lagunares; III – eólicos; IV – praial (incluindo pós-praia, estirâncio e antepraia).

Os depósitos do substrato pleistocênico (I) apresentam tanto reflexões com alta amplitude do sinal e relativamente contínuas, como na forma de hipérboles, interpretadas como o resultado de uma cimentação incipiente, que confere a porções do substrato pleistocênico uma característica de *hardground*, conforme já descrito para o arenito Conceição por Buchmann e Tomazelli (2003).

Os depósitos lagunares (II) apresentam-se como depósitos de fundo lagunar (reflexões planas e contínuas, horizontais a sub-horizontais) e de margem lagunar (reflexões que mergulham no sentido do continente, interpretadas como estratos obliquo progradantes). Estes dois tipos de depósitos lagunares estão muito

bem representados no perfil de Georadar da Lagoa do Peixe-norte (Figura 6). Esta unidade ocorre de forma contínua (lateralmente) no conjunto de perfis da porção sul da área de estudo, compreendendo os perfis de Estreito (Figura 3), do Farol da Conceição (Figura 4), da Lagoa do Peixe-sul (Figura 5) e da Lagoa do Peixe-norte (Figura 6).

Os depósitos eólicos (III) correspondem aos campos de dunas transgressivos, cujas reflexões caracterizam-se por serem descontínuas e onduladas, e ocorrentes no topo dos registros.

Por fim, os depósitos praias (IV) apresentam-se como reflexões inclinadas no sentido do mar, contínuas e por vezes onduladas, e que iniciam sua formação (*downlap*) a partir de uma superfície erosiva. As variações nas reflexões internas desta unidade (Figura 10) estão relacionadas à mudança de energia no perfil da antepraia, desde a zona de surf até a zona de antepraia inferior. Em algumas seções foi demarcada uma linha pontilhada que significa uma inversão nos padrões de reflexão ou mudança no ângulo dos estratos progradantes, representando uma superfície erosiva.

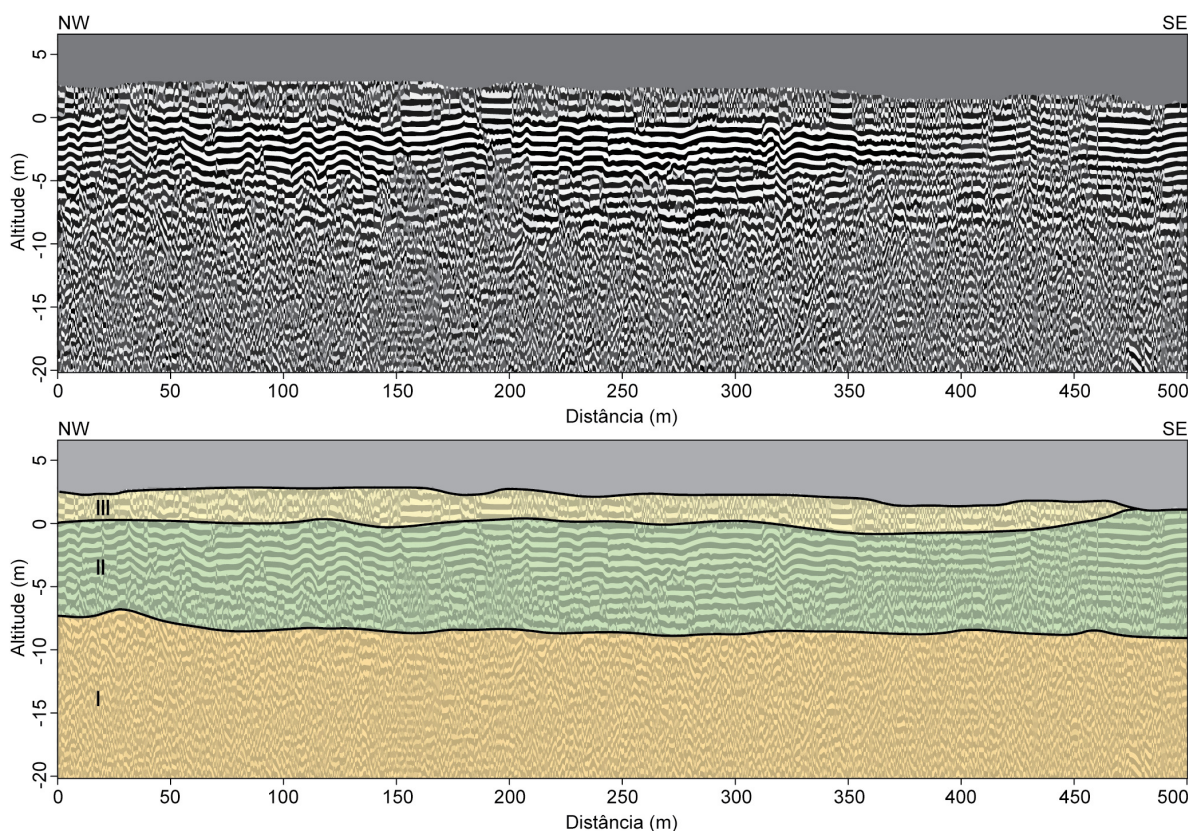


Figura 3 - Registro de Georadar do Estreito, obtido com antena de 80 MHz, processado e interpretado. I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico, II – lagunares e III – eólicos.

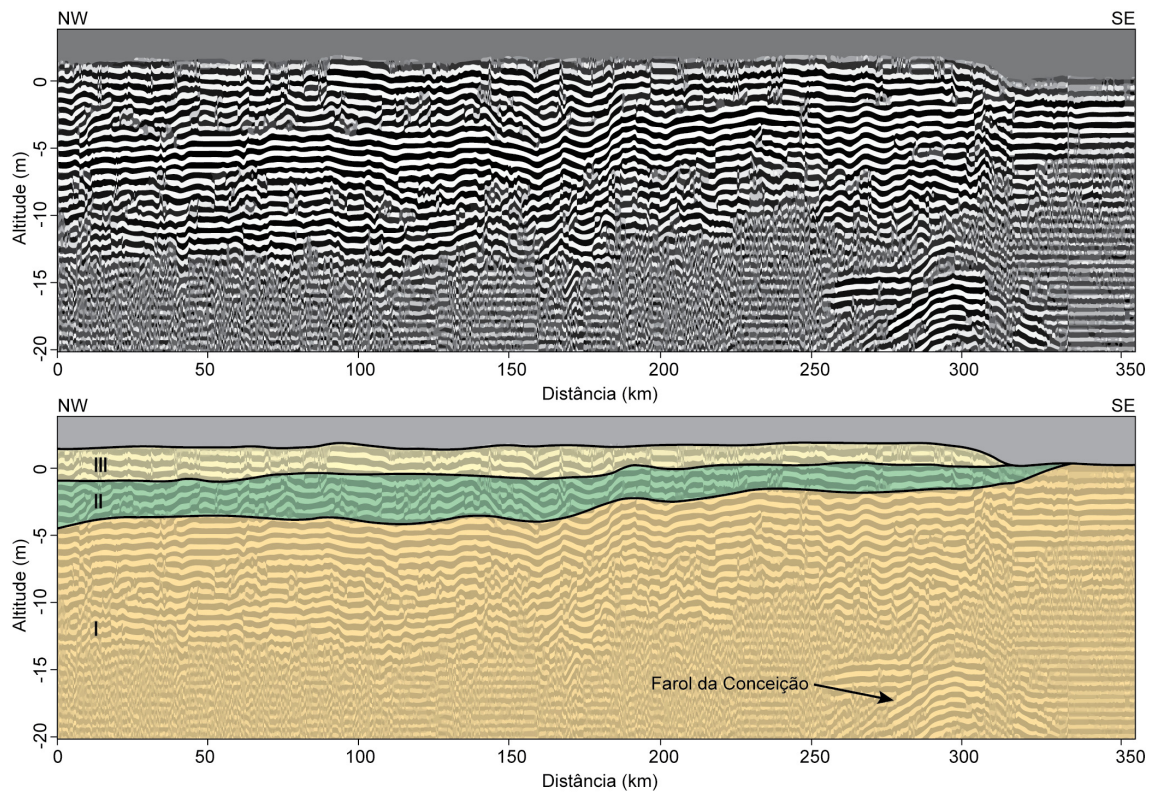


Figura 4 - Registro de Georadar do Farol da Conceição, obtido com antena de 80 MHz, processado e interpretado. I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico, II – lagunares e III – eólicos.

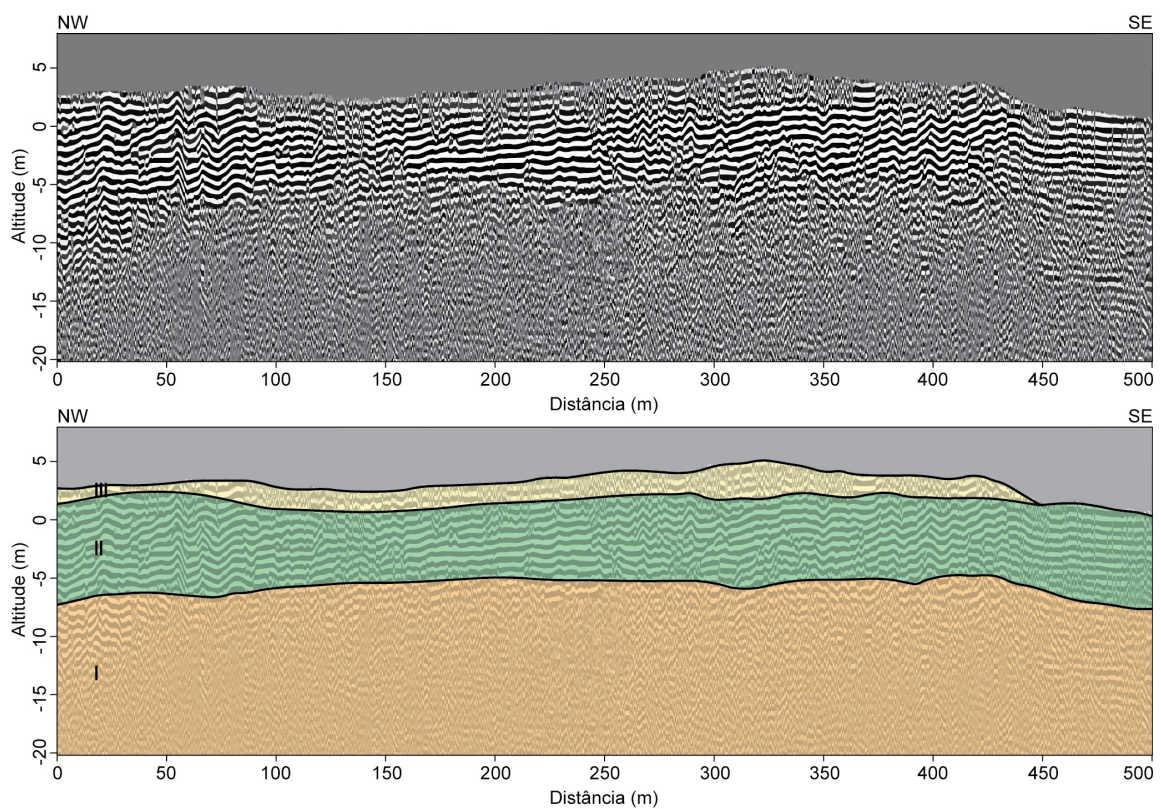


Figura 5 - Registro de Georadar da Lagoa do Peixe-sul, obtido com antena de 80 MHz, processado e interpretado. I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico, II – lagunares e III – eólicos.

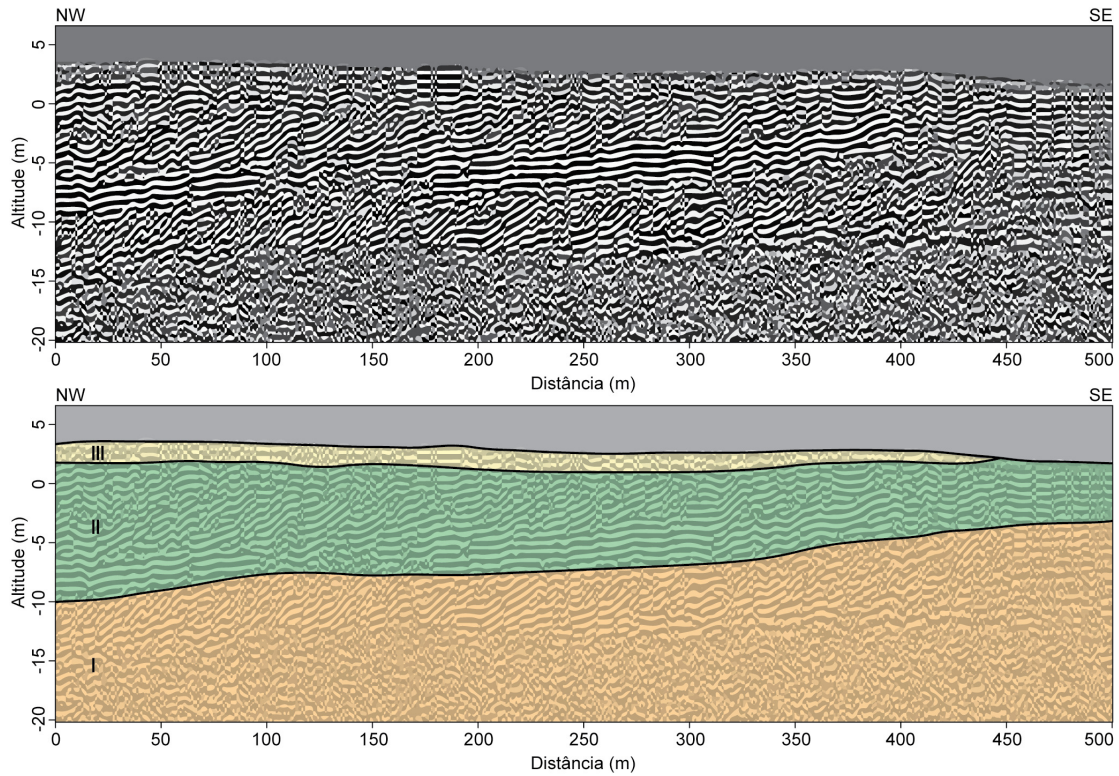


Figura 6 - Registro de Georadar da Lagoa do Peixe-norte, obtido com antena de 80 MHz, processado e interpretado. I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico, II – lagunares e III – eólicos.

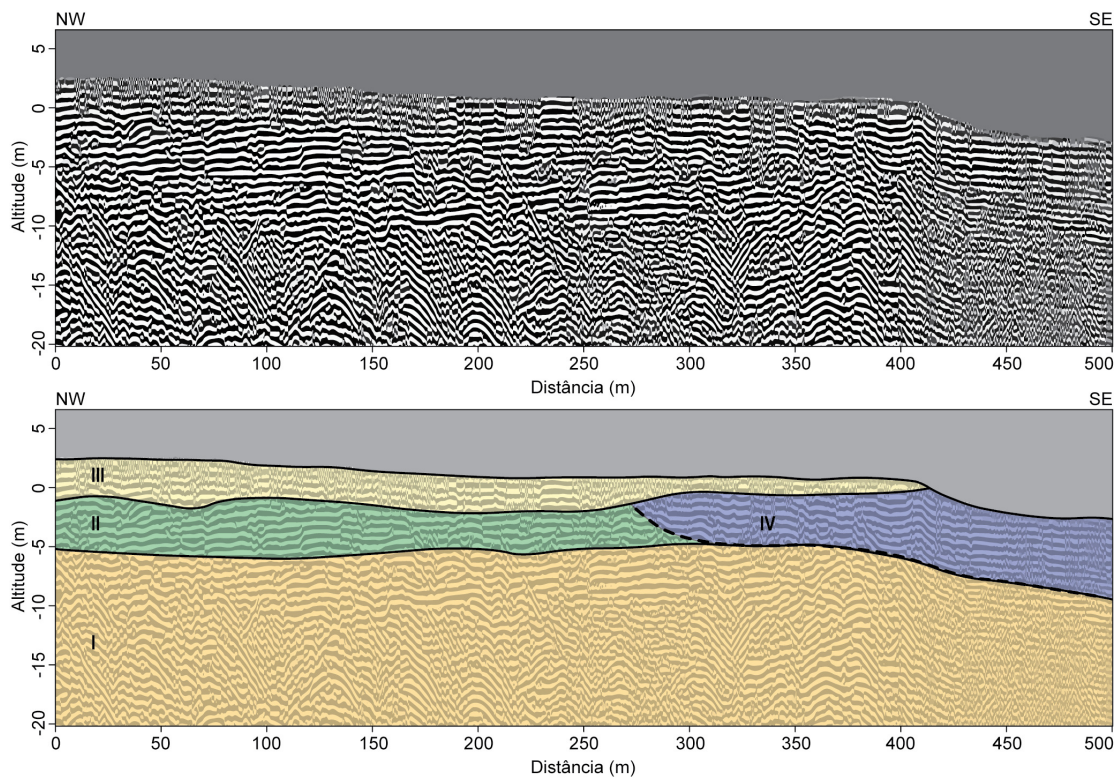


Figura 7 - Registro de Georadar do Balneário Mostardense, obtido com antena de 80 MHz, processado e interpretado. I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico, II – lagunares, III – eólicos e IV – praial (incluindo pós-praia, estirâncio e antepraia). A linha pontilhada marca uma inversão nos padrões de reflexão.

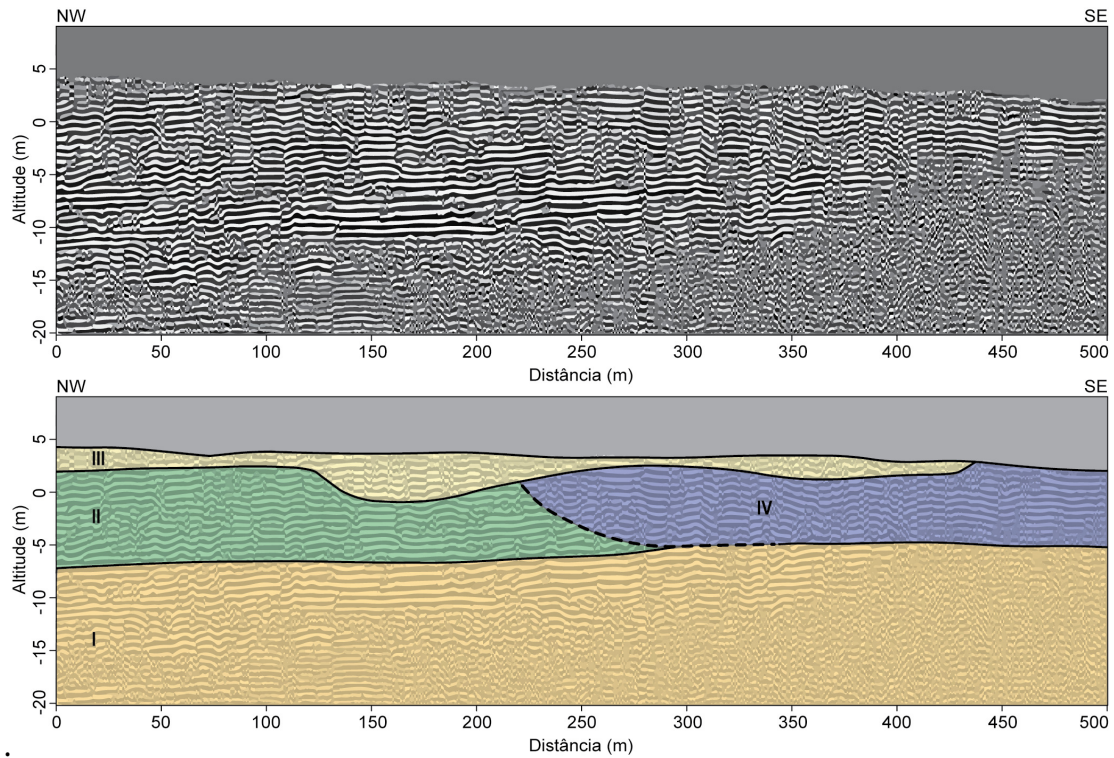


Figura 8 - Registro de Georadar de São Simão, obtido com antena de 80 MHz, processado e interpretado. I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico, II – lagunares, III – eólicos e IV – praial (incluindo pós-praia, estirâncio e antepraia). A linha pontilhada marca uma inversão nos padrões de reflexão.

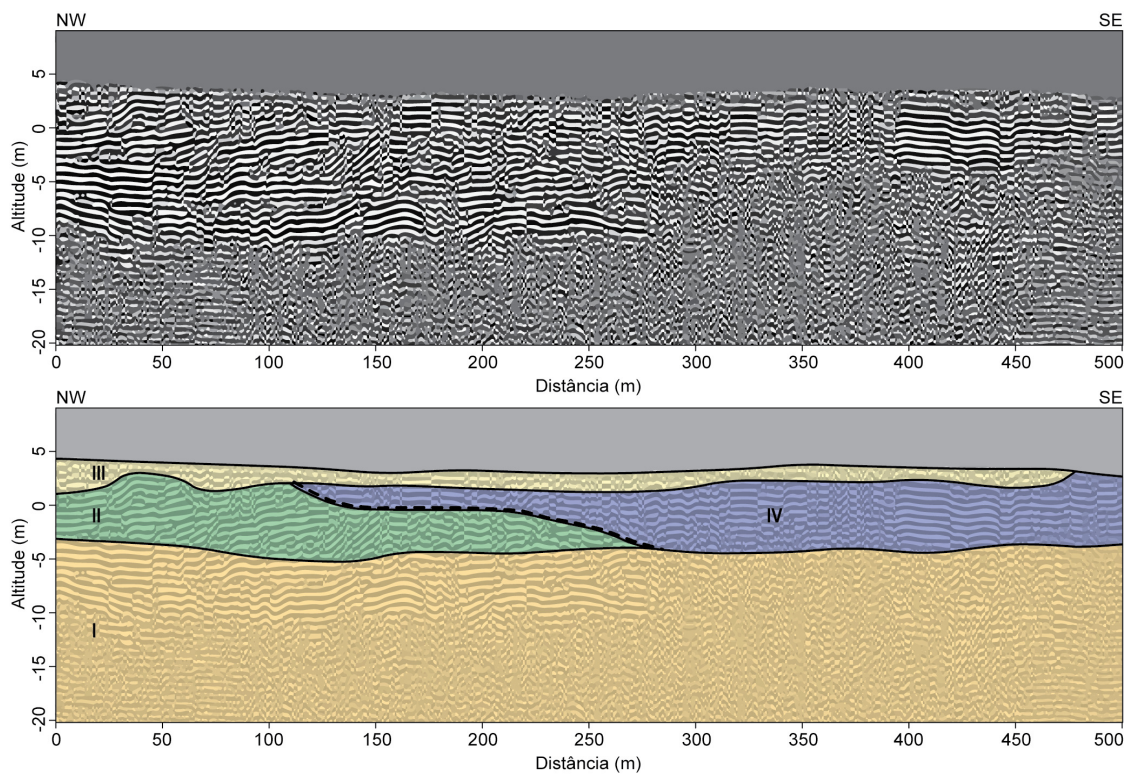


Figura 9 - Registro de Georadar de Solidão, obtido com antena de 80 MHz, processado e interpretado. I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico, II – lagunares, III – eólicos e IV – praial (incluindo pós-praia, estirâncio e antepraia). A linha pontilhada marca uma inversão nos padrões de reflexão.

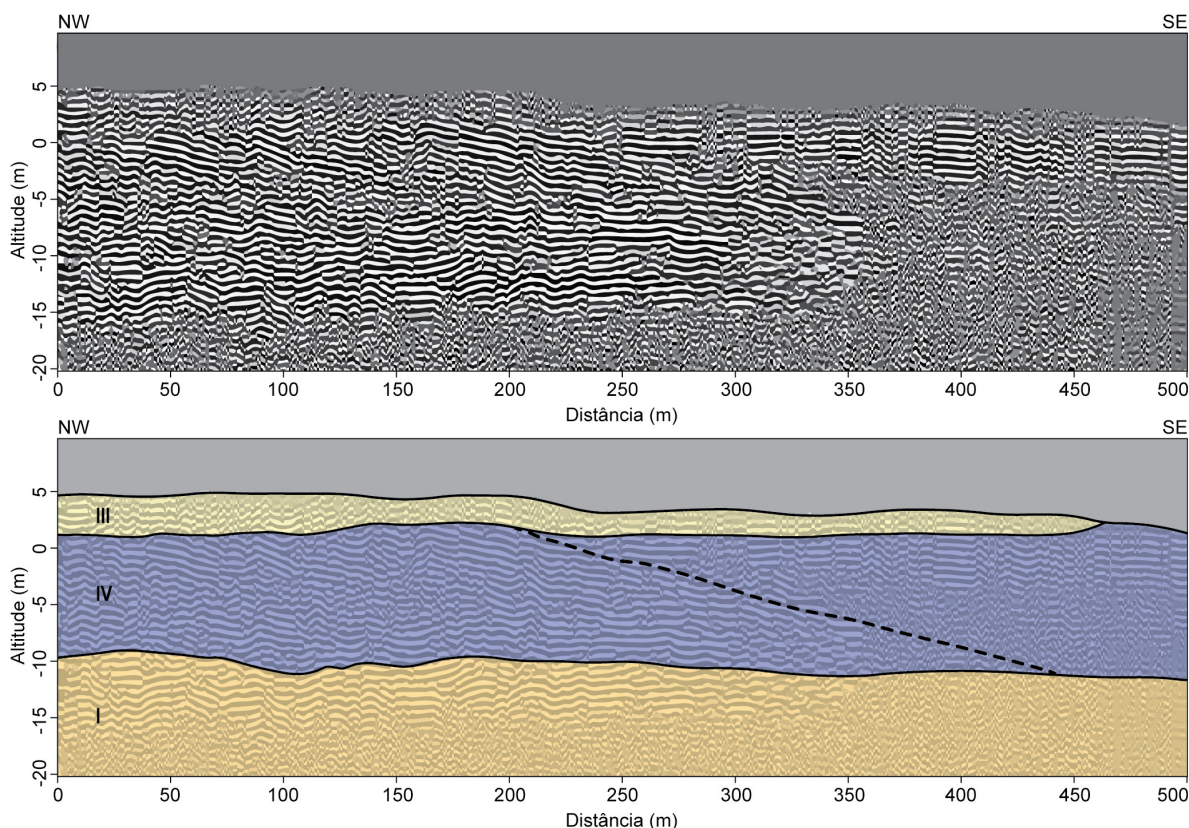


Figura 10 - Registro de Georadar de Bacupari, obtido com antena de 80 MHz, processado e interpretado. I – depósitos não diferenciados, correspondentes ao substrato pleistocênico, II – lagunares, III – eólicos e IV – praias (incluindo pós-praia, estirâncio e antepraia). A linha pontilhada marca uma superfície erosiva.

5. Discussão

Em todos os perfis de Georadar na área estudada foram observadas a presença de registros do substrato pleistocênico. Por muito tempo, este substrato foi identificado e interpretado em vários locais da costa do RS como correspondente aos depósitos sedimentares da denominada Barreira III, cuja formação está vinculada ao período interglacial correlacionado ao estágio isotópico marinho MIS 5e, há cerca de 125 ka atrás (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995; ROSA *et al.* 2017) (ver inset A-A' na Figura 1). No entanto, recentemente foi identificada a presença de registros pleistocênicos mais jovens, correspondentes ao estágio isotópico MIS 3, em áreas ao sul (Cassino) e ao norte (Curumim e Pinheira) da área de estudo (DILLENBURG *et al.*, 2019). Estes depósitos foram registrados em profundidades variáveis entre 5 e 23 m abaixo do nível de mar atual. Portanto, os depósitos sedimentares do substrato pleistocênico, ocorrentes em profundidades abaixo dos 5 m, nos registros de Georadar, podem estar relacionados ao estágio isotópico MIS 3. Ou seja, os registros correlatos ao MIS

3, caso ocorram continuamente e lateralmente ao longo da Bacia de Pelotas, podem estar sotopostos por depósitos mais jovens por toda a extensão do litoral médio.

A unidade basal holocênica (unidade II) é representada por depósitos interiorizados da barreira, correspondentes às margens lagunares conforme também interpretado por Rosa *et al.* (2016) no litoral norte do RS, as quais, por vezes, ocorrem recobrimo depósitos de fundo lagunar. Tal unidade é muito evidente no registro da Lagoa do Peixe-norte (Figura 6). Esta situação de continuidade até a linha de praia tem determinado o comum afloramento de depósitos lagunares na zona de pós-praia-estirâncio nesta porção sul da área de estudo (DILLENBURG *et al.* 2004b), evidenciando o caráter erosivo do trecho.

A localidade do Estreito era até então considerada, com base em interpretações da morfologia do terreno, uma porção progradacional da barreira; uma continuidade, ao norte, da barreira do Cassino (DILLENBURG e BARBOZA, 2014). Todavia o registro de Georadar do Estreito (Figura 3) mostra-se inteiramente com caracte-

rísticas retrogradacionais. Embora o trecho apresentado corresponda apenas aos 500 m de registro próximo à linha de costa, em razão dos objetivos do presente trabalho, o registro completo de Georadar da barreira holocênica no Estreito mostra-se inteiramente retrogradacional. Considerando que Barboza *et al.* (2018) identificaram um registro progradacional da barreira, em um local situado 8 km ao sul do Estreito, afirma-se aqui que a caráter progradacional da barreira holocênica do Cassino estende-se, no sentido norte, pelo menos até o local situado 8 km ao sul do Estreito. Em outras palavras, a transição entre domínios progradacionais e retrogradacionais da barreira costeira holocênica, ocorre em apenas poucos quilômetros, situados imediatamente ao sul do Estreito. Esta mesma curta transição foi recentemente observada por Watanabe (2019) no litoral norte do RS.

O registro de Georadar da Lagoa do Peixe-norte é o último no sentido norte com assinatura de empilhamento retrogradacional da barreira, pois, 20 km ao norte, o perfil executado no Balneário Mostardense possui um registro de progradação nos últimos 230 m próximos da linha de costa (Figura 7). Este comportamento progradacional adquire crescente e progressiva dimensão até Bacupari. O registro completo do perfil adquirido na barreira em Bacupari permite observar que a progradação tem início a 1800 m de distância da linha de costa, correspondendo a 1/3 da largura da barreira. Os primeiros 2/3 apresentam um registro predominantemente retrogradacional. O registro de Bacupari (Figura 10), no intervalo dos 300 m junto à linha de costa – demarcado pela linha pontilhada, apresenta uma superfície erosiva, provavelmente gerada em decorrência de uma mudança na orientação das ondas incidentes, a partir da qual ocorreu um redirecionamento (deslocamento no sentido NE) da progradação. Este fato resultou na visualização de um mergulho aparente (com menor ângulo de inclinação no sentido do mar) de estratos oblíquo progradantes.

Essa mudança de ângulo na progradação, ou a inversão nos padrões de reflexão observados nos dados de Georadar também são identificadas nos perfis mais ao sul, em Solidão, em São Simão e no Balneário Mostardense (Figuras 9, 8 e 7), respectivamente, e está demarcada pela linha pontilhada.

Assim, os registros de Georadar que incluem o Balneário Mostardense, São Simão, Solidão e Bacupari (Figuras 7, 8, 9 e 10), que integram a porção norte da área de estudo, apresentam em seus registros evolutivos recentes uma clara progradação, a qual deve ser enten-

dida como uma consequência de um balanço positivo de sedimentos. Possivelmente essa situação de balanço positivo de sedimentos se iniciou nos últimos séculos ou até mesmo nos últimos milênios, considerando a largura total da barreira. Dessa forma, estabelece-se aqui uma contradição com os trabalhos apresentados nos últimos 20 anos, que discorreram sobre a evolução deste trecho da barreira holocênica, compreendido entre Estreito e Bacupari. Dillenburg *et al.* (2000) interpretaram que esta pronunciada projeção costeira era dominada por barreiras transgressivas (retrogradacionais), basicamente em razão da presença comum de lamas lagunares e turfas aflorantes no ambiente de pós-praia da barreira, e da comum associação com o desenvolvimento de campos de dunas transgressivos (BARBOZA e ROSA, 2014; DILLENBURG e BARBOZA, 2014).

Os registros do Balneário Mostardense, de São Simão e de Solidão mostram que anteriormente ao registro progradacional houve uma fase de desenvolvimento retrogradacional da barreira nos três locais, e o registro completo de Georadar de Bacupari apresenta também esta fase. Pelo crescente e progressivo aumento de extensão do registro progradacional, partindo de Balneário Mostardense até Bacupari, torna-se também evidente um progressivo aumento no balanço positivo de sedimentos neste mesmo sentido. Em se considerando que esta porção norte está submetida a uma relativamente alta energia de ondas (DILLENBURG *et al.*, 2003) e a uma alta taxa líquida de transporte longitudinal de sedimentos (LIMA *et al.*, 2001); qual a razão deste balanço positivo de sedimentos? A resposta pode estar no mecanismo de retenção da deriva litorânea, ativo a partir do Balneário Mostardense de acordo com Toldo *et al.* (2006) e Absalonsen e Toldo (2007). Segundo os autores, na altura do Balneário Mostardense ocorre uma mudança de 11° na orientação da linha de costa que produz uma redução no fluxo de sedimentos no sentido NE. Esta redução de fluxo gera um engarrafamento de sedimentos que representa uma potencial e importante fonte de alimentação de areia para os campos de dunas transgressivos e para a antepraia adjacente (imediatamente mais a norte); ou seja, cria um balanço positivo de sedimentos no Balneário Mostardense e ao norte deste local. Esta interpretação é corroborada pelos resultados do MDS e dos perfis topográficos, que mostram um significativo aumento no volume da barreira holocênica, no sentido norte, a partir do Balneário Mostardense (Figura 2).

Os depósitos eólicos transgressivos, responsáveis pelo expressivo volume na porção norte da projeção costeira, chegam a cobrir o contato do sistema holocênico com a Barreira pleistocênica III. Conforme Motta *et al.* (2015) o volume de areia eólica entre o Balneário Mostardense até as imediações de Bacupari é da ordem de 3,5 bilhões de m³. De acordo com os autores, este trecho também é o segmento que apresenta o maior volume líquido de sedimentos transportados pela deriva litorânea ao longo do litoral médio.

Desta forma, fica evidente que o comportamento predominantemente retrogradacional da barreira holocênica, na área estudada, limita-se a porção sul da grande projeção costeira existente no litoral médio do RS. Em um exercício de predição evolutiva, podemos considerar que esta porção sul da projeção tem retrogradado nos últimos milênios e continuará com este comportamento nos próximos séculos, ou mesmo milênios (escala geológica), enquanto não houver uma mudança nas forçantes autogênicas determinantes do balanço negativo de sedimentos (de longo período). Ou mesmo mudanças alogênicas que passem a dominar sobre as autogênicas. Da mesma forma, o recente (provavelmente de escala secular a poucos milênios) comportamento progradação da porção norte da projeção costeira permite a predição da continuidade deste comportamento evolutivo, em uma escala de longo período. Contudo, essa tendência evolutiva em escala geológica (10²-10³ anos) pode contrastar com variabilidades interanuais e cíclicas que são rotineiramente observadas em praias arenosas e, por isso, não deve ser considerada como a verdade única e absoluta. Fatores estocásticos como a incidência de tempestades severas, que podem acarretar numa erosão momentânea de dezenas de metros (OLIVEIRA, U. *et al.*, 2019), devem ser levados em consideração. Além disso, o aumento projetado no nível global dos oceanos para as próximas décadas (IPCC, 2019) também deve ser avaliado em futuras análises preditivas da tendência evolutiva da linha de costa das barreiras costeiras, pois tal aumento acarreta em mudanças no espaço de acomodação e nos padrões de sedimentação.

6. Conclusões

A barreira costeira holocênica do RS, em seu trecho no litoral médio, situado entre Estreito e Bacupari, apresenta um comportamento evolutivo diferenciado em suas porções ao sul e ao norte. A porção ao sul,

coincidente com a porção ao sul da grande projeção costeira que caracteriza a área de estudo, apresentou um comportamento predominantemente retrogradacional nos últimos milênios (aproximadamente desde 6 ka até o presente). Por sua vez, a porção ao norte apresentou o mesmo comportamento, em um intervalo de tempo menor. Em algum momento, que se especula em poucos séculos atrás, ou talvez poucos milênios, houve uma importante mudança nos fatores condicionantes do balanço de sedimentos. O balanço que era negativo passou a ser positivo e determinou o início de uma fase progradação da porção norte, e que se desenvolveu de forma crescente do Balneário Mostardense a Bacupari.

É possível prever uma continuidade evolutiva destas duas porções (sul e norte) seguindo a evolução, em escala geológica, ocorrida nestes últimos séculos e milênios, e assim contribuir com a gestão costeira deste setor da costa do RS ainda pouco ocupado. O Georadar, aliado à análise da morfologia do terreno, propiciou caracterizar de forma efetiva a tendência evolutiva do litoral médio, contribuindo para conhecer melhor um dos trechos menos estudados do RS.

Agradecimentos

Volney Bitencourt agradece ao CNPq pela sua bolsa de doutorado (141007/2015-0). Sergio Dillenburg e Eduardo Barboza agradecem ao CNPq pela concessão de suas bolsas de produtividade em pesquisa. Os autores agradecem o Centro Aeroespacial Alemão (DLR – *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) por fornecer o TanDEM-X (Proposal iD 2630).

Referências Bibliográficas

- ABREU, V.S.; NEAL, J.E. & VAIL, P.R. (2010). Integration of Sequence Stratigraphy concepts. In ABREU, V.S.; NEAL, J.E.; BOHACS, K.M. & KALBAS, J.L. (org.) **Sequence Stratigraphy of siliciclastic systems - The ExxonMobil Methodology: atlas of exercises**. SEPM Concepts in Sedimentology & Paleontology, v. 9, p. 209-224.
- ABSALONSEN, L.; TOLDO, E.E. A Influência da Inflexão Costeira na Variabilidade da Linha de Praia em Mostardas – RS. **Pesquisas em Geociências**, v. 34, n. 1, p. 3-18, 2007. DOI: 10.22456/1807-9806.19457
- ALBUQUERQUE, M.G.; ESPINOZA, J.M.A.; TEIXEIRA, P.; DE OLIVEIRA, A.O.; CORREA, I.C.S.; CALLIARI, L.J.

- Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches. **Journal of Coastal Research**, v. SI 65, p. 1710-1714, 2013. DOI: 10.2112/SI65-289.1
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ANDRADE, M.M.; TOLDO, E.E.; NUNES, J.C.R. Tidal and subtidal oscillations in a shallow water system in southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 3, p. 245-254, 2018. DOI: 10.1590/s1679-87592018017406603
- ANNAN, A.P. (2009). Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar. In JOL, H.M. (org.) **Ground Penetrating Radar: Theory and Applications**. Elsevier, University of Wisconsin, Madison: p. 4-40.
- AREJANO, T.B. **Geologia e Evolução Holocênica do Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe, Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006. 94p.
- ATHANASIOU, P.; VAN DONGEREN, A.; GIARDINO, A.; VOUSDOKAS, M.; GAYTAN-AGUILAR, S.; RANASINGHE, R. Global distribution of nearshore slopes with implications for coastal retreat. **Earth System Science Data**, v. 11, n. 4, p. 1515-1529, 2019. DOI: 10.5194/essd-11-1515-2019
- BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L.J. Erosional Features of the Eastern Margin of the Patos Lagoon, Southern Brazil: Significance for Holocene History. **Journal of Coastal Research**, SI 35, v. 1, p. 260-264, 2003.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C. (2014). Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul. In GOSO, C. (org.) **Nuevas miradas a la problemática de los ambientes costeros**. Facultad de Ciencias, Montevideo: p. 83-98. DOI: 10.13140/2.1.4628.9602
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J. Preservation potential of foredunes in the stratigraphic record. **Journal of Coastal Research**, SI 65, v. 2, p. 1265-1270, 2013. DOI: 10.2112/SI65-214.1
- BARBOZA, E.G.; DILLENBURG, S.R.; ROSA, M.L.C.C.; TOMAZELLI, L.J.; HESP, P.A. Ground-penetrating radar profiles of two Holocene regressive barriers in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 56, v. 1, p. 579-583, 2009.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; BIANCINI da SILVA, A.; TOMAZELLI, L.J. Stratigraphic analysis applied on the recognition of the interface between marine and fluvial depositional systems. **Journal of Coastal Research**, v. SI 66, p. 687-692, 2014. DOI: 10.2112/SI70-116.1
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; AYUP-ZOUAIN, R.N. Evolution of the Holocene coastal barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) - A new approach with GPR data. **Journal of Coastal Research**, v SI 64, p. 646-650, 2011.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; WATANABE, D.S.Z.; ESTEVES, T.; MARTINS, E.M.; GRUBER, N.L.S. Diachronic Condition Between Maximum Transgressive and Maximum Eustatic Sea-Level in Holocene: Subsides for Coastal Management. **Journal of Coastal Research**, v. SI 85, n. 1, p. 446-450, 2018. DOI: 10.2112/SI85-090.1
- BIANCINI DA SILVA, A; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R. Meandering Fluvial System Influencing the Evolution of a Holocene Regressive Barrier in Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI 70, p. 205-210, 2014. DOI: 10.2112/SI70-035.1
- BIRD, E.C.F. **Coastline changes: A Global Review**. Wiley:Chichester, 1985. 219p.
- BITENCOURT, V.J.B.; DILLENBURG, S.R. Application of multivariate statistical techniques in alongshore differentiation of coastal barriers. **Marine Geology**, v. 419, 106077, 2020. DOI: 10.1016/j.margeo.2019.106077
- BITENCOURT, V.J.B.; DILLENBURG, S.R.; MANZOLLI, R.P.; BARBOZA, E.G. Control factors in the evolution of Holocene coastal barriers in Southern Brazil. **Geomorphology**, v. 360, 107180, 2020. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107180
- BITENCOURT, V.J.B.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; MANZOLLI, R.P.; CARON, F. Geomorfologia e arquitetura deposicional de uma planície de cordões litorâneos na margem NE da Lagoa dos Quadros, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 43, n. 3, p. 249-269, 2016. DOI: 10.22456/1807-9806.79582
- BOYD, R.; DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A. Classification of coastal sedimentary environments. **Sedimentary Geology**, v. 80, p. 139-150, 1992. DOI: 10.1016/0037-0738(92)90037-R
- BRISTOW, C.S.; JOL, H.M. An introduction to ground penetrating radar (GPR) in sediments. **Geological Society of London**, Special Publications, v. 211, p. 1-7, 2003. DOI: 10.1144/GSL.SP.2001.211.01.01

- BUCHMANN, F.S.; TOMAZELLI, L.J. Relict nearshore shoals of Rio Grande do Sul, southern Brazil: Origin and effects on nearby modern beaches. **Journal of Coastal Research**, v. SI 35, p. 318-322, 2003.
- BUYNEVICH, I.V.; JOL, H.M.; FITZGERALD, D.M. (2009). Coastal Environments. In JOL, H.M. (org.) **Ground Penetrating Radar: Theory and Applications**. Elsevier, University of Wisconsin, Madison: p. 299-322.
- CALLIARI, L.J.; TOLDO, E.E. (2016). Ocean Beaches of Rio Grande do Sul. In SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F. (org.) **Brazilian Beach Systems**. Springer, Coastal Research Library 17, Cham: p. 507-541. DOI: /10.1007/978-3-319-30394-9_18
- CATUNEANU, O. **Principles of Sequence Stratigraphy**. New York: Elsevier, 2006. 386p.
- CATUNEANU, O.; ABREU, V.S.; BHATTACHARYA, J.P.; BLUM, M.D.; DALRYMPLE, R.W.; ERIKSSON, P.G.; FIELDING, C.R.; FISHER, W.L.; GALLOWAY, W.E.; GIBLING, M.R.; GILES, K.A.; HOLBROOK, J.M.; JORDAN, R.; KENDALL, C.G.St.C.; MACURDA, B.; MARTINSEN, O. J.; MIALL, A.D.; NEAL, J.E.; NUMMEDAL, D.; POMAR, L.; POSAMENTIER, H.W.; PRATT, B. R.; SARG, J.F.; SHANLEY, K.W.; STEEL, R.J.; STRASSER, A.; TUCKER, M.E.; WINKER, C. Towards the standardization of sequence stratigraphy. **Earth-Science Reviews**, v. 92, p. 1-33, 2009. DOI: 10.1016/j.earscirev.2008.10.003
- CECÍLIO, R.O.; DILLENBURG, S.R. An ocean wind-wave climatology for the Southern Brazilian Shelf. Part II: Variability in space and time. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 88, 101103, 2019. DOI: 10.1016/j.dynatmoce.2019.101103
- CLIFTON, H.E. (2005). Shoreface. In SCHWARTZ, M.L. (org.) **Encyclopedia of Coastal Science**. Springer, Encyclopedia of Earth Science Series, Dordrecht: p. 877-881.
- CORRÊA, I.C.S. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. **Marine Geology**, v. 130, n. 1-2, p. 163-178, 1996. DOI: 10.1016/0025-3227(95)00126-3
- CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P.; BUCKLEY, M.K. Shoreline Change Rate Analysis: Long Term Versus Short Term Data. **Shore and Beach**, v. 61, n. 2, p. 13-20, 1993.
- CUCHIARA, D.C.; FERNANDES, E.H.; STRAUCH, J.C.; WINTERWERP, J.C.; CALLIARI, L.J. Determination of the wave climate for the southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 3, p. 545-555, 2009. DOI: 10.1016/j.csr.2008.09.025
- CURRAY, J.R. (1964). Transgressions and regressions. In MILLER, R.L. (org.) **Papers in Marine Geology**. MacMillan, New York: p. 175-203.
- COWELL, P.J.; THOM, B.G. (1994) Morphodynamics of coastal evolution. In CARTER, R.W.G.; WOODROFFE, C.D. (org) **Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics**. Cambridge University Press, Cambridge: p. 33-86.
- DANIELS, D.J. (1996). Properties of materials. In DANIELS, D.J. (org.) **Ground Penetrating Radar**. The Institution of Electrical Engineering: London, p. 73-129.
- DILLENBURG, S.R. Oscilações Holocênicas do Nível Relativo do Mar Registradas na Sucessão de Fácies Lagunares na Região da Laguna de Tramandaí, RS. **Pesquisas em Geociências**, v. 23, n. 1-2, p. 17-24, 1996. DOI: 10.22456/1807-9806.21222
- DILLENBURG, S.R. The role of shelf morphology on coastal evolution during Middle and Late Holocene in southern Brazil. **Quaternary International**, v. 279-280, p. 118-119, 2012. DOI: 10.1016/j.quaint.2012.07.525
- DILLENBURG, S.R.; HESP, P.A. (2009). Coastal barriers: an introduction. In DILLENBURG, S.R.; HESP, P.A. (org.) **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Springer, Lecture Notes in Earth Sciences 107, Berlin: p. 1-15. DOI: 10.1007/978-3-540-44771-9_1
- DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G. Long- and short-term progradation of a regressive barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 56, v. 1, p. 599-601, 2009.
- DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G. (2014) The Strike-Fed Sandy Coast of Southern Brazil. In: MARTINI, I.P., WANLESS, H.R. (eds.) **Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences**. Geological Society of London, Special Publications v. 388, p. 333-352. DOI: 10.1144/SP388.16
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; CLEROT, L.C.P. Gradients of wave energy as the main factor controlling the evolution of the coast of Rio Grande do Sul in southern Brazil during the Late Holocene. In: **Coastal Sediments'03**, Clearwater Beach: ASCE. 2003. 9p.
- DILLENBURG, S.R.; ESTEVES, L.S.; TOMAZELLI, L.J. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 76, n. 3, p. 611-623, 2004a. DOI: 10.1590/S0001-37652004000300014
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; BARBOZA, E.G. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, v. 203, n. 1-2, p. 43-56, 2004b. DOI: 10.1016/

S0025-3227(03)00330-X

DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI 64, p. 651-655, 2011.

DILLENBURG, S.R.; ROY, P.S.; COWELL, P.J.; TOMAZELLI, L.J. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). **Journal of Coastal Research**, v. 16, p. 71-81, 2000.

DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; CARON, F.; BITENCOURT, V.B. Changes in the littoral drift of the Uruguayan coast during the Holocene and its influence in the continuing erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 95, v. 1, p. 453-457, 2020. DOI: 10.2112/SI95-088.1

DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; CARON F.; SAWAKUCHI, A.O. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7–6 ka. **Marine Geology**, v. 390, p. 106-119, 2017. DOI: 10.1016/j.margeo.2017.06.007

DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; HESP, P.A.; CLEROT, L.C.P.; AYUP-ZOUAIN, R.N. (2009). The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S.R.; HESP, P.A. (org.) **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Springer, Lecture Notes in Earth Sciences 107, Berlin: p. 53-91. DOI: 10.1007/978-3-540-44771-9_3

DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; HESP, P.A.; ROSA, M.L.C.C.; ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C.; GIANNINI, P.C.F.; SAWAKUCHI, A.O. Discussion: “Evidence for a transgressive barrier within a regressive strandplain system: implications for complex response to environmental change” por Hein et al. (2013), *Sedimentology*, v. 60, p. 469-502, 2013. A transgressive barrier at Pinheira, Southern Brazil around 3 ka?. **Sedimentology**, v. 61, p. 2205-2212, 2014. DOI: 10.1111/sed.12132

DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; CARON, F.; CANCELLI, R.; SANTOS-FISCHER, C.R.; LOPES, R.P.; RITTER, M.N. Sedimentary records of Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3) in southern Brazil. **Geo-Marine Letters**, p. 1-10, 2019. DOI: 10.1007/s00367-019-00574-2

ESTEVEZ, L.S.; TOLDO, E.E., DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J. Long- and Short-Term Coastal Erosion in Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI 36, p. 273-282, 2002.

FERNANDEZ, G.B.; ROCHA, T.B.; BARBOZA, E.G.; DILLENBURG, S.R.; ROSA, M.L.C.C.; ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C.; OLIVEIRA, L.H.S.; DOMINGUEZ, J.M.L. (2019). Natural landscapes along Brazilian coastline. In SALGADO, A.A.R.; SANTOS, L.J.C.; PAISANI, J.C. (org.) **The Physical Geography of Brazil - Environment, Vegetation and Landscape**. Springer, Cham: p. 199-218. DOI: 10.1007/978-3-030-04333-9_10

FITZGERALD, D.M.; BUYNEVICH, I.V. (2009). Coastal Barriers. In ISLA, F.I. & IRIBARNE, O. (org.) **Coastal Zones and Estuaries**. UNESCO, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Oxford: p. 164-189.

FLEMMING, B.W. (2002). Effects of climate and human interventions on the evolution of the Wadden Sea depositional system (southern North Sea). In WEFER, G., BERGER, W., BEHRE, K.E.; JANSEN, E. (org.) **Climate development and history of the North Atlantic Realm**. Springer, Berlin: p. 399-413.

FRUERGAARD, M.; MØLLER, I.; JOHANNESSEN, P.N.; NIELSEN, L.H.; ANDERSEN, T.J.; NIELSEN, L.; SANDER, L.; PERJUP, M. Stratigraphy, Evolution, And Controls Of A Holocene Transgressive–regressive Barrier Island Under Changing Sea Level: Danish North Sea Coast. **Journal of Sedimentary Research**, v. 85, 820-844, 2015. DOI: 10.2110/jsr.2015.53

GALGANO, F.A.; DOUGLAS, B.C.; LEATHERMAN, S.P. Trends and Variability of Shoreline Position. **Journal of Coastal Research**, v. SI 26, p. 282-291, 1998.

GALLOP, S.L.; COLLINS, M.; PATTIARATCHI, C.B.; ELIOT, M.J.; BOSSERELLE, C.; GHISALBERTI, M.; COLLINS, L.B.; ELIOT, I.; ERFTEMEIJER, P.L.A.; LARCOMBE, P.; MARIGÓMEZ, I.; STUL, T.; WHITE, D.J. Challenges in transferring knowledge between scales in coastal sediment dynamics. **Frontier in Marine Science**, v. 2, 00082, 2015. DOI: 10.3389/fmars.2015.00082

GALLOWAY, W.E.; HOBDAY, D.K. 1983. **Terrigenous Clastic Depositional Systems – Applications to Petroleum, Coal and Uranium Exploration**. New York: Sprin-Verlag, 1983. 423p.

GRIMM, A.M. (2009). Clima da Região Sul do Brasil. In CAVALCANTI, I.F.; FERREIRA, N.J.; JUSTI DA SILVA, M.G.A.; SILVA DIAS, M.A.F.A. (org) **Tempo e Clima no Brasil**. Oficina de Textos, São Paulo: p. 259-276.

HAWKER, L.; NEAL, J.; BATES, P. Accuracy assessment of the TanDEM-X 90 Digital Elevation Model for selected floodplain sites. **Remote Sensing of Environment**, v. 232, 111319, 2019.

DOI: 10.1016/j.rse.2019.111319

HESP, P.A.; SHORT, A.D. (1999). Barrier morphodynamics. In: SHORT, A.D. (org.) **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Wiley, Chichester: p. 307-368.

HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; CLEROT, L.C.P.; TOMAZELLI, L.J.; AYUP ZOUAIN, R.N. Morphology of the Itapeva to Tramandai transgressive dunefield barrier system and mid- to late Holocene sea level change. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, n. 3, p. 407-414, 2007. DOI: 10.1002/esp.1408

HOYT, J.H. Barrier Island formation. **Geological Society of America Bulletin**, v. 78, n. 9, p. 1125-1136, 1967. DOI: 10.1130/0016-7606(1967)78[1125:BIF]2.0.CO;2

IPCC-Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. (2019). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In IPCC **Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**, Geneva: p. 321-447.

JOL, H.M.; BRISTOW, C.S. (2003). GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide. In: JOL, H.M.; BRISTOW, C.S. (org.) **Ground penetrating radar in sediments**. Geological Society of London, Special Publication, v. 211, p. 9-28.

JOL, H.M.; SMITH, D.G.; MEYERS, R.A. Digital Ground Penetrating Radar (GPR): A New Geophysical Tool for Coastal Barrier Research (Examples from the Atlantic, Gulf and Pacific Coasts, U.S.A.). **Journal of Coastal Research**, v. 12, n. 4, p. 960-968, 1996.

KÖPPEN, W. (1936). Das geographische system der klimare. In KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (org) **Handbuch der klimatologie**. Gebruder Borntraeger, Berlin: p. 1-44.

LEAL, R.A.; BARBOZA, E.G.; BITENCOURT, V.J.B.; BIANCINI da SILVA, A.; MANZOLLI, R.P. Geological and Stratigraphic Characteristics of a Holocene Regressive Barrier in Southern Brazil: GIS and GPR Applied for Evolution Analysis. **Journal of Coastal Research**, v. SI 75, p. 750-754, 2016. DOI: 10.2112/SI75-151.1

LEANDRO, C.G.; BARBOZA, E.G.; CARON, F.; DE JESUS, F.A.N. GPR trace analysis for coastal depositional environments of southern Brazil. **Journal of Applied Geophysics**, v. 162, p. 1-12, 2019. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2019.01.002

LEATHERMAN, S.P. Coastal Geomorphological Applications Of Ground-penetrating Radar. **Journal of Coastal Research**, v. 3, n. 3, p. 397-399, 1987.

LEATHERMAN, S.P.; ZHANG, K.; DOUGLAS, B.C. Sea

level rise shown to drive coastal erosion. **EOS, Transactions American Geophysical Union**, v. 81, n. 6, p. 55-57, 2000. DOI: 10.1029/00EO00034

LIMA, S.F.; ALMEIDA, L.E.S.B.; TOLDO, E.E. Estimativa da Capacidade de Transporte Longitudinal de Sedimentos a partir de Dados de Ondas para a Costa do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 99-107, 2001. DOI: 10.22456/1807-9806.20272

LIMA, L.G.; DILLENBURG, S.R.; MEDEANIC, S.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; TOMAZELLI, L.J.; DEHNHARDT, B.A.; CARON, F. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 42, p. 27-38, 2013. DOI: 10.1016/j.jsames.2012.07.002

LORSCHTEITTE, M.L.; DILLENBURG, S.R. Holocene palaeoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, v. 11, p. 73-97, 1998.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The State of the World's Beaches. **Scientific Reports**, v. 8, n. 6641, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-24630-6

KRAFT, J.C. (1982). Barrier islands, transgressive and regressive. In TANNER, W.F. (org.) **Beaches and Coastal Geology**. Springer, Encyclopedia of Earth Science, Boston: p. 133-135.

MANZOLLI, R.P.; PORTZ, L.; BITENCOURT, V.J.B.; LEAL, R.A.; MARTINS, E.M.; BIANCINI DA SILVA, A.; BARBOZA, E.G.; CARON, F.; CARRIÓ, J.A.; SAWAKUCHI, A.O. Process Control in The Geneses and Evolution of A Lagoon-Barrier System inside of The Patos Lagoon, South of Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI 85, p. 651-655, 2018. DOI: 10.2112/SI85-131.1

MARTINHO, C.T.; DILLENBURG, S.R.; HESP, P.A. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. **Marine Geology**, v. 256, n. 1-4, p. 49-64, 2008. DOI: 10.1016/j.margeo.2008.09.006

MARTINHO, C.T.; HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. **Geomorphology**, v. 117, p. 14-32, 2010. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.11.002

MARTINS, E.M.; OLIVEIRA, J.F.; BITENCOURT, V.J.B.; SCARELLI, F.M.; BIANCINI da SILVA, A.; GRUBER, N.L.S.;

- ROSA, M.L.C.C.; BARBOZA, E.G. Comportamento Evolutivo da Barreira Costeira junto ao Balneário do Camacho, Jaguaruna/SC. **GRAVEL** (Porto Alegre), v. 12, p. 109-118, 2014.
- MARTINS, E.M.; GRUBER, N.S.; BARBOZA, E.G.; CRISTIANO, S.C.; PRESTES, L.D.; MANZOLLI, R.P.; PORTZ, L.; ROCKETT, G.; OLIVEIRA, J.F.; OLIVEIRA, R.M.; FRANCHINI, R.; BITENCOURT, V.J.B.; WATANABE, T.; LEAL, R.; BRAGA, R.B.; FONTES, J.L.B.; WATANABE, D.; VIANNA, N.; FERREIRA, B. FAGUNDES, M.R.; VILELLA, M.M.; ESTEVES, T.; AZARIAS, P.C. Subsídios para o planejamento estratégico costeiro do município de Jaguaruna, Santa Catarina. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** (UFPR), v. 44, p. 267-289, 2018. DOI: 10.5380/dma.v44i0.54885
- MITCHUM, R.M.; VAIL, P.R.; SANGREE, J.B. (1977). Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In PAYTON, C.E. (org.) **Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration**. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, v. 16, p. 117-123.
- MONTEIRO, C.A.F. **O clima da Região Sul, Geografia do Brasil, Grande Região Sul**. IBGE: Rio de Janeiro, 1963. 114-166 p.
- MOTTA, L.M.; TOLDO, E.E.; ALMEIRA, L.E.S.B.; NUNES, J.C. Sandy sediment budget of the midcoast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Marine Research**, v. 73, n. 3-4, p. 49-69, 2015. DOI: 10.1357/002224015815848839
- NEAL, A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews**, v. 66, n. 3-4, p. 261-330, 2004. DOI: 10.1016/j.earscirev.2004.01.004
- NICOLODI, J.L.; CALLIARI, L.J.; TOLDO, E.E.; FIGUEIREDO, S.A. & MACHADO, V.C. (2018). Rio Grande do Sul. In MUEHE, D. (org.) **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. MMA, Brasília: p. 690-760.
- OLIVEIRA, J.F.; BARBOZA, E.G.; MARTINS, E.M.; SCARELLI, F.M. Geomorphological and stratigraphic analysis applied to coastal management. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 96, n. 102358, 2019. DOI: 10.1016/j.jsames.2019.102358
- OLIVEIRA, U.R.; SIMÕES, R.S.; CALLIARI, L.J.; GAUTÉRIO, B.C. Erosão de dunas sob ação de um evento extremo de alta energia de ondas na costa central e sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, p. 137-158, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i1.1352
- OOST, A.P.; HOEKSTRA, P.; WIERSMA, A.; FLEMMING, B.; LAMMERTS, E.J.; PERJUP, M.; HOFSTEDÉ, J.; VAN DER VALK, B.; KIDEN, P.; BARTHOLDY, J.; VAN DER BERG, M.W.; VOS, P.C.; VRIES, S.; WANG, Z.B. Barrier island management: Lessons from the past and directions for the future. **Ocean & Coastal Management**, v. 68, p. 18-38, 2012. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2012.07.010
- OTVOS, E.J. Development and Migration of Barrier Islands, Northern Gulf of Mexico. **Geological Society of America Bulletin**, v. 81, n. 1, 241-246, 1970. DOI: 10.1130/0016-7606(1970)81[241:DAMOB]2.0.CO;2
- PORTZ, L.C.; MANZOLLI, R.P.; GRUBER, N.L.S.; CORRÊA, I.C.S. Turismo e degradação na orla do Rio Grande do Sul: conflitos e gerenciamento. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** (UFPR), v. 22, p. 153-166, 2010. DOI: 10.5380/dma.v22i0.20351
- POSAMENTIER, H.W.; JERVEY, M.T.; VAIL, P.R. (1988). Eustatic controls on clastic deposition I — conceptual framework. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.ST.C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A.; VAN WAGONER, J.C. (org.) **Sea Level Changes — An Integrated Approach**. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Special Publication, v. 42, p. 110-124.
- PUHL, P.R.; DILLENBURG, S.R. Controles no desenvolvimento dos campos transgressivos de dunas da barreira costeira holocênica, litoral norte do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 45, n. 1, e0652, 2018. DOI: 10.22456/1807-9806.85642
- ROCKETT, G.C.; TELLES, P.; BARBOZA, E.G.; GRUBER, N.L.S.; SIMAO, C.E. Análise espaço-temporal dos ventos no extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 44, n. 2, p. 203-219, 2017. DOI: 10.22456/1807-9806.78271
- ROMEU, M.A.R.; FONTOURA, J.A.; MELO, E. Typical Scenarios of Wave Regimes off Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 299, n. 1, p. 61-68, 2015. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-12-00085.1
- ROSA, M.L.C.C.; BARBOZA, E.G.; DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; AYUP-ZOUAIN, R.N. The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior during the Quaternary: A cyclostratigraphic analysis. **Journal of Coastal Research**, v. SI 64, p. 686-690. 2011.
- ROSA, M.L.C.C.; HOYAL, D.C.; BARBOZA, E.G.; FEDELE, J.; ABREU, V.S. (2016) River-dominated deltas: upscaling autogenic and allogenic processes observed in laboratory experiments to field examples of small deltas in southern Brazil. In: BUDD, D.A., HAJEK, E.A., PURKIS, S.J. (eds.) **Autogenic Dynamics and Self-Organization in Sedimentary**

- Systems**, vol. 106, SEPM Special Publication, p. 176-197. DOI: 10.2110/sepmssp.106.13.
- ROSA, M.L.C.C.; BARBOZA, E.G.; ABREU, V.S.; TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R. 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**, v. 47, n. 2. p. 183-207, 2017. DOI: 10.1590/2317-4889201720160138
- ROY, P.S.; COWELL, M.A.; FERLAND, M.A.; THOM, B.G. (1994). Wave-dominated coasts. In CARTER, R.W.G. & WOODROFFE, C.D. (org.) **Coastal Evolution – Late Quaternary Shoreline Morphodynamics**. Cambridge University Press, Cambridge: p. 121-186.
- STICA, J.M.; ZALÁN, P.V.; FERRARI, A.L. The evolution of rifting on the volcanic margin of the Pelotas Basin and the contextualization of the Paraná–Etendeka LIP in the separation of Gondwana in the South Atlantic. **Marine and Petroleum Geology**, v. 50, p. 1-21, 2014. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2013.10.015
- STIVE, M.J.F.; AARNINKHOF, S.G.J.; HAMM, L.; HANSON, H.; LARSON, M.; WIJNBERG, K.M.; NICHOLLS, R.J.; CAPOBIANCO, M. Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal Engineering**, v. 47, p. 211-235, 2002. DOI: 10.1016/S0378-3839(02)00126-6
- STRAUCH, J.C.; CUCHIARA, D.C.; TOLDO, E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B. O Padrão das Ondas de Verão e Outono no Litoral Sul e Norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 4, p. 29-37, 2009. DOI: 10.21168/rbrh.v14n4.p29-37
- SWIFT, D.J.P. Coastal Erosion and Transgressive Stratigraphy. **The Journal of Geology**, v. 76, n. 4, p. 444-456, 1968. DOI: 10.1086/627342
- SWIFT D.J.P.; THORNE J.A. (1991). Sedimentation on continental margins, I: a general model for continental shelf sedimentation. In SWIFT, D.J.P.; OERTEL, G.F.; TILLMAN R.W.; THORNE, J.A. (org.) **Shelf Sand and Sandstone Bodies: Geometry, Facies and Sequence Stratigraphy**. Blackwell Scientific Publications, Oxford: p. 3-31.
- TOLDO, E.E.; DILLENBURG, S.R.; ALMEIDA, L.E.S.B.; MARTINS, R.R.; CUNHA, L.O.B.P. Parâmetros Morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. **Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 27-32, 1993. DOI: 10.22456/1807-9806.21279
- TOLDO, E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B.; NICOLODI, J.L.; MARTINS, L.R. Retração e Progradação da Zona Costeira do Estado do Rio Grande do Sul. **GRAVEL** (Porto Alegre), v. 3, p. 31-38, 2005.
- TOLDO, E.E.; NICOLODI, J.L.; ALMEIDA, L.E.S.B.; CORRÊA, I.C.S. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. **Journal of Coastal Research**, v. SI 39, p. 390-394, 2006.
- TOMAZELLI, L.J. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 18-26, 1993. DOI: 10.22456/1807-9806.21278
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. Considerações Sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 19, n. 1, p. 3-12, 1992. DOI: 10.22456/1807-9806.21318
- TZANIS, A. matGPR Release 2: A freeware MATLAB® package for the analysis & interpretation of common and single offset GPR data. **FastTimes**, v. 15, n. 1, p. 17-43, 2010.
- VAIL, P.R. (1987). Seismic Stratigraphy Interpretation Using Sequence Stratigraphy: Part 1: Seismic Stratigraphy Interpretation Procedure. In BALLY, A.W. (org.) **AAPG Studies in Geology**, v. 27, n. 1, p. 1-10.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. **Geologia Costeira do Rio Grande do Sul**. Notas Técnicas 8, Porto Alegre: CECO, 1995. 45p.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; HORN, N.O.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. (1986). Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In RABASSA, J. (org.) **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**. Balkema, Rotterdam: p. 79-97.
- WATANABE, D.S.Z. **Comportamento evolutivo em subsuperfície da barreira holocênica no litoral norte do Rio Grande do Sul: registros progradacionais, retrogradacionais e transicionais**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2019. 91p.
- WESCHENFELDER, J.; BAITELLI, R.; CORRÊA, I.C.S.; BORTOLIN, E.C.; SANTOS-FISCHER, C.B. Quaternary incised valleys in southern Brazil coastal zone. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 55, p. 83-93, 2014. DOI: 10.1016/j.jsames.2014.07.004