

Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira



caliandra



ORGANIZADORES

Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villaça Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes



CONSELHO EDITORIAL

Membros internos:

Prof. Dr. André Cabral Honor (HIS/UnB) - **Presidente**

Prof. Dr. Herivelto Pereira de Souza (FIL/UnB)

Prof^ª Dr^ª Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

Prof. Dr. Rafael Sânzio Araújo dos Anjos (GEA/UnB)

Membros externos:

Prof^ª Dr^ª Ângela Santana do Amaral (UFPE)

Prof. Dr. Fernando Quiles García (Universidad Pablo de Olavide - Espanha)

Prof^ª Dr^ª Ilía Alvarado-Sizzo (UniversidadAutonoma de México)

Prof^ª Dr^ª Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof^ª Dr^ª Marine Pereira (UFABC)

Prof^ª Dr^ª Paula Vidal Molina (Universidad de Chile)

Prof. Dr. Peter Dews (University of Essex - Reino Unido)

Prof. Dr. Ricardo Nogueira (UFAM)



A UnB quem faz
é a gente

Organizadores: Osmar Abílio de Carvalho Júnior

Maria Carolina Villança Gomes

Renato Fontes Guimarães

Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Título: Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira

Volume: 1

Local: Brasília

Editor: Selo Caliandra

Ano: 2022

Parecerista: João Cândido André da Silva Neto

Capa: Luiz H S Cella



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília
Heloiza Faustino dos Santos - CRB 1/1913

R454 Revisões de literatura da geomorfologia brasileira [recurso eletrônico] / organizadores Osmar Abílio de Carvalho Júnior ... [et al.]. – Brasília : Universidade de Brasília, 2022.
1057 p. : il.

Inclui bibliografia.

Modo de acesso: World Wide Web:
<<http://caliandra.ich.unb.br/>>.
ISBN 978-65-86503-85-2.

1. Geomorfologia - Brasil. I. Carvalho Júnior, Osmar Abílio de.

CDU 551.4

Lista de autores

Abner Monteiro Nunes Cordeiro
Adão Osdayan Cândido de Castro
Alberto Oliva
Alex de Carvalho
Ana Camila Silva
André Augusto Rodrigues Salgado
André Luiz Carvalho da Silva
André Paulo Ferreira da Costa
Antônio Carlos de Barros Corrêa
Antonio José Teixeira Guerra
Antônio Pereira Magalhães Junior
Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Archimedes Perez Filho
Beatriz Abreu Machado
Breno Ribeiro Marent
Bruno Venancio da Silva
Carlos de Oliveira Bispo
Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira
César Augusto Chicarino Varajão
Claudia Rakel Pena Pereira
Cristiano da Silva Rocha
Cristina Helena Ribeiro Augustin
Daniel Françoso de Godoy
Daniel Peifer
Danielle Lopes de Sousa Lima
Danilo Vieira dos Santos
David Hélio Miranda de Medeiros
Delano Nogueira Amaral
Dirce Maria Antunes Suertegaray
Edison Fortes
Edivando Vitor do Couto
Eduardo Souza de Moraes
Edwilson Medeiros dos Santos
Éric Andrade Rezende
Fabiana Souza Ferreira
Fábio Perdigão Vasconcelos
Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Fabrizio do Nascimento Garritano
Felipe Gomes Rubira
Flávio Rodrigues do Nascimento
Francisco Dourado
Francisco Edmar de Sousa Silva
Francisco Leandro de Almeida Santos
Frederico de Holanda Bastos
Gisele Barbosa dos Santos
Giselle Ferreira Borges
Guilherme Borges Fernandez
Hugo Alves Soares Loureiro
Idjarrury Gomes Firmino
Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia
Jáder Onofre de Moraes
Jémison Mattos dos Santos
João Paulo de Carvalho Araújo
José Fernando Rodrigues Bezerra
Juliana Sousa Pereira
Julio Cesar Paisani
Jurandyr L. Sanches Ross
Karine Bueno Vargas
Kleython de Araújo Monteiro
Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes
Leonardo dos Santos Pereira
Leonardo José Cordeiro Santos
Letícia Augusta Faria de Oliveira
Lidriana de Souza Pinheiro,
Lígia Padilha Novak
Luiz Fernando de Paula Barros
Manoel do Couto Fernandes
Marcel Hideyuki Fumiya,
Marcelo Martins de Moura Fé
Marcos César Pereira Santos
Maria Bonfim Casemiro
Mariana Silva Figueiredo
Marli Carina Siqueira Ribeiro
Martim de Almeida Braga Moulton
Michael Vinicius de Sordi
Mônica dos Santos Marçal
Neiva Barbalho de Moraes
Nelson Ferreira Fernandes
Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
Oswaldo Girão da Silva
Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Otávio Cristiano Montanher
Paulo Cesar Rocha
Paulo de Tarso Amorim Castro
Paulo Roberto Silva Pessoa
Pedro Val
Peter Christian Hackspacher
Rafaela Soares Niemann
Raphael Nunes de Souza Lima
Roberto Marques Neto

Roberto Verdum
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa
Rubson Pinheiro Maia
Sandra Baptista da Cunha
Sarah Lawall
Sérgio Cadena de Vasconcelos
Sérgio Murilo Santos de Araújo
Silvio Carlos Rodrigues
Silvio Roberto de Oliveira Filho
Simone Cardoso Ribeiro
Tania Cristina Gomes

Thais Baptista da Rocha
Thiago Gonçalves Pereira
Thiago Pereira Gonçalves
Thomaz Alvisi de Oliveira
Tulius Dias Nery
Úrsula de Azevedo Ruchkys
Vanda de Claudino-Sales
Vanessa Martins Lopes
Vinícius Borges Moreira
Vitor Hugo Rosa Biffi

PREFÁCIO

O presente livro consiste em um conjunto de revisões sobre os avanços teóricos e tecnológicos nos diversos temas da Geomorfologia. Concebido para estar em uma plataforma on-line com acesso gratuito, o livro destina-se aos cursos de graduação e pós-graduação que utilizam os conhecimentos geomorfológicos, incluindo Geografia, Geologia, Ecologia, Engenharia, Planejamento Territorial, entre outros. Para atender o escopo e o desafio imposto, a obra possui um total de 36 capítulos que congregam 111 pesquisadores das diversas regiões do Brasil, trazendo relatos relevantes de nossa paisagem e dos avanços alcançados pela Geomorfologia brasileira. Os capítulos do livro estão segmentados em contextos temáticos e geográficos de estudo, incluindo: dinâmica fluvial, ambientes costeiros, evolução de vertentes, micro relevo, ambientes cársticos, geomorfologia regional, geomorfologia estrutural; mapeamento geomorfológico, patrimônio natural, mitigação de riscos naturais; interações pedo-geomorfológicas, etnogeomorfologia, modelos numéricos, novas abordagens tecnológicas em geomorfologia. Além de abranger os conceitos e o estado da arte na análise dos processos e sistemas geomorfológicos, os capítulos realizam uma visão crítica dos diversos temas abordados.

Na última década, inúmeros avanços foram alcançados com o aumento da disponibilidade de dados de monitoramento da superfície terrestre, métodos computacionais e compartilhamento de experiências. A grande quantidade de dados e métodos resulta em novos desafios de análise e processamento na busca de respostas científicas dentro de uma apreciação crítica. A concepção desse livro integra revisões e discussões sobre essas novas abordagens teóricas, instrumentais e tecnológicas que passam a ter um fator primordial para estabelecer os novos rumos da ciência geomorfológica.

Dada a magnitude continental do nosso território, não é surpreendente que a paisagem brasileira seja evidenciada e detalhada em suas peculiaridades nos textos. Portanto, vários capítulos exploram e refletem a natureza distinta da paisagem e da biota brasileira, revelando os processos naturais e as perturbações antrópicas que alteram o meio ambiente e desencadeiam processos erosivos, movimento de massa, inundações, entre outros. Nesse contexto, as pesquisas aplicadas são extremamente oportunas devido à alta demanda para solução de problemas prementes e complexo de nossos ambientes e sociedade, necessitando continuamente de alternativas, novos conceitos, perspectivas tecnológicas e inovações metodológicas. Muitos capítulos abordam revisões sobre trabalhos aplicados na investigação geomorfológica e resolução de problemas, normalmente desencadeados por perturbações humanas com consequências variadas nos diferentes sistemas.

Os editores abnegaram a oportunidade de contribuir com capítulos para garantir a imparcialidade na seleção dos textos que compõe o livro. Por fim, os editores agradecem especialmente a União de Geomorfologia Brasileira e a todos os colaboradores que contribuíram com seus conhecimentos específicos para a elaboração dessa obra abrangente e de grande relevância para o conhecimento da Geomorfologia nacional.

Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villaça Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

SUMARIO

1. CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS EM TORNO DA PESQUISA EM GEOMORFOLOGIA: DO PROJETO AO ARTIGO CIENTÍFICO

André Augusto Rodrigues Salgado
Alberto Oliva

----- 16

2. ARQUIVOS FLUVIAIS QUATERNÁRIOS NO INTERIOR CONTINENTAL: O CONTEXTO SERRANO DE MINAS GERAIS, BRASIL

Antônio Pereira Magalhães Junior
Luiz Fernando de Paula Barros
Alex de Carvalho
Letícia Augusta Faria de Oliveira

----- 39

3. PROCESSOS DE REORGANIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM NO BRASIL

Breno Ribeiro Marent
Éric Andrade Rezende
Michael Vinícius de Sordi
André Augusto Rodrigues Salgado

----- 76

4. AVALIAÇÃO INTEGRADA DE SISTEMAS FLUVIAIS: SUBSÍDIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE VALORES PATRIMONIAIS

Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira
Paulo de Tarso Amorim Castro
Úrsula de Azevedo Ruchkys

----- 98

5. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES

Claudia Rakel Pena Pereira
Sandra Baptista da Cunha

----- 124

6. AJUSTAMENTO FLUVIAL À AGROPECUÁRIA, URBANIZAÇÃO E RESERVATÓRIO E ANÁLISE CIENTOMÉTRICA DO IMPACTO DESSAS ATIVIDADES NOS RIOS BRASILEIROS	
Eduardo Souza de Morais Otávio Cristiano Montanher	
-----	143
7. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO BRASIL ASSOCIADA AO ATUAL CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL	
Giselle Ferreira Borges Neiva Barbalho de Morais Ana Camila Silva Leonardo dos Santos Pereira Sarah Lawall	
-----	176
8. CONTROLE TECTONO-ESTRUTURAL DOS SISTEMAS DE DRENAGEM: REVISÃO LITERÁRIA E PROPOSTAS METODOLÓGICAS	
Idjarrury Gomes Firmino Karine Bueno Vargas Edison Fortes	
-----	212
9. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DOS RIOS NO BRASIL	
Mônica dos Santos Marçal Adão Osdayan Cândido de Castro Raphael Nunes de Souza Lima	
-----	240
10. INUNDAÇÕES E CONCEITOS CORRELATOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE COMPARATIVA.	
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa Paulo Cesar Rocha	
-----	265
11. SISTEMAS LACUSTRES INTERIORES: AVANÇOS E TÉCNICAS DE ESTUDO	
Gisele Barbosa dos Santos Paulo de Tarso Amorim Castro	
-----	278

12. EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DE PLANÍCIES COSTEIRAS:
DO QUATERNÁRIO AOS EVENTOS ATUAIS

Guilherme Borges Fernandez
Thais Baptista da Rocha
Silvio Roberto de Oliveira Filho
Sérgio Cadena de Vasconcelos
André Luiz Carvalho da Silva
Thiago Gonçalves Pereira
Martim de Almeida Braga Moulton

----- 308

13. MORFOLOGIA COSTEIRA EM LITORAIS URBANOS

Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Fábio Perdigão Vasconcelos
Cristiano da Silva Rocha
Maria Bonfim Casemiro
Danilo Vieira dos Santos
Francisco Edmar de Sousa Silva
Delano Nogueira Amaral

----- 351

14. DELTAS DOMINADOS POR ONDAS: TRAJETÓRIA CONCEITUAL,
DINÂMICA E EVOLUÇÃO A PARTIR DE EXEMPLOS DO COMPLEXO
DELTAICO DO RIO PARAÍBA DO SUL

Thaís Baptista da Rocha
Sérgio Cadena de Vasconcelos
André Paulo Ferreira da Costa
Beatriz Abreu Machado
Mariana Silva Figueiredo
Lígia Padilha Novak
Thiago Pereira Gonçalves
Guilherme Borges Fernandez

----- 381

15. REGISTROS DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NO
LITORAL BRASILEIRO E AS IMPLICAÇÕES
PERANTE A MORFOGÊNESE DE SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGI-
CAS EM AMBIENTES COSTEIROS

Felipe Gomes Rubira
Archimedes Perez Filho

----- 410

16. VALES INCISOS SUBMERSOS DA PLATAFORMA
CONTINENTAL SEMIÁRIDA DO BRASIL

Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Lidriana de Souza Pinheiro
David Hélio Miranda de Medeiros
Paulo Roberto Silva Pessoa
Jáder Onofre de Moraes

----- 445

17. GEOMORFOLOGIA EÓLICA CONTINENTAL E OS
CAMPOS DE DUNAS HOLOCÊNICAS DO PAMPA NO RIO
GRANDE DO SUL, BRASIL

Tania Cristina Gomes
Roberto Verdum

----- 471

18. EROSÃO POR VOÇOROCAS: ESTADO DA ARTE

Juliana Sousa Pereira
Silvio Carlos Rodrigues

----- 499

19. MONITORAMENTO DA EROSÃO HÍDRICA NO BRASIL:
DOS MÉTODOS MANUAIS AOS DIGITAIS

Hugo Alves Soares Loureiro
Antonio José Teixeira Guerra
José Fernando Rodrigues Bezerra
Leonardo dos Santos Pereira
Fabrizio do Nascimento Garritano

----- 526

20. MOVIMENTOS DE MASSA: ESTADO DA ARTE,
ESCALAS DE ABORDAGEM, ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO
E DIFERENTES MODELOS DE PREVISÃO

Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Tulius Dias Nery
Carlos de Oliveira Bispo
Fabiana Souza Ferreira
Edwilson Medeiros dos Santos

----- 560

21.	MORFOGÊNESE DE MICRORRELEVOS SIMILARES A MURUNDUS NA PAISAGEM	
	Vinícius Borges Moreira Archimedes Perez Filho	
	-----	593
22.	APLAINAMENTO NO NOROESTE DO PARANÁ: DE MODELOS POLICÍCLICO À MORFOTECTÔNICA QUATERNÁRIA	
	Marcel Hideyuki Fumiya Edivando Vitor do Couto Leonardo José Cordeiro Santos	
	-----	615
23.	GEOMORFOLOGIA DO QUATERNÁRIO E GEOARQUEOLOGIA: ASPECTOS CONCEITUAIS, METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES NO SUL DO BRASIL	
	Vitor Hugo Rosa Biffi Marcos César Pereira Santos Julio Cesar Paisani Nelson Vicente Lovatto Gasparetto	
	-----	648
24.	TERMOCRONOLOGIA APLICADA À EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL: UMA BREVE REVISÃO	
	Francisco Leandro de Almeida Santos Flávio Rodrigues do Nascimento Peter Christian Hackspacher (In Memoriam) Marli Carina Siqueira Ribeiro Bruno Venancio da Silva & Daniel França de Godoy	
	-----	677
25.	A TAXONOMIA DO RELEVO E A CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA REGIONAL	
	Jurandyr L. Sanches Ross Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia	
	-----	701

26.	RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO: UMA PROPOSTA TAXONÔMICA	
	Frederico de Holanda Bastos Danielle Lopes de Sousa Lima Abner Monteiro Nunes Cordeiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	733
27.	REVISITANDO OS MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Daniel Peifer Cristina Helena Ribeiro Augustin	
	-----	759
28.	SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGICAS E MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Karine Bueno Vargas Idjarrury Firmino Michael Vinicius de Sordi	
	-----	793
29.	A GEOMORFOLOGIA NOS ESTUDOS INTEGRADOS DA PAISAGEM: ENFOQUE EVOLUTIVO E DINÂMICO NA INTERPRETAÇÃO DOS SISTEMAS GEOMORFOLÓGICOS	
	Roberto Marques Neto Thomaz Alvisi de Oliveira	
	-----	813
30.	ESTADO DA ARTE DOS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA SÍNTESE (E VÁRIAS TESES)	
	Vanda de Claudino-Sales Antonio Carlos Barros Côrrea Kleython de Araújo Monteiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	845
31.	AS SUPERFÍCIES DE EROSÃO DO “BRASIL ORIENTAL”	
	César Augusto Chicarino Varajão	
	-----	875

32.	ETNOGEOMORFOLOGIA - RELAÇÕES ENTRE POPULAÇÕES TRADICIONAIS E A PAISAGEM FÍSICA	
	Simone Cardoso Ribeiro Vanessa Martins Lopes Osvaldo Girão da Silva Antônio Carlos de Barros Corrêa	
	-----	886
33.	DESAFIOS E PERSPECTIVAS DAS PESQUISAS SOBRE O PATRIMÔNIO GEOMORFOLÓGICO NO BRASIL	
	Vanda de Claudino-Sales Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes	
	-----	910
34.	USO DO LIDAR NA GEOMORFOLOGIA: APLICAÇÕES E DESAFIOS FUTUROS	
	João Paulo de Carvalho Araújo Rafaela Soares Niemann Francisco Dourado Manoel do Couto Fernandes Nelson Ferreira Fernandes	
	-----	927
35.	MODELOS NUMÉRICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO (LEMS) E SUA IMPORTÂNCIA PARA ESTUDOS DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM	
	Nelson F. Fernandes Daniel Peifer Pedro Val	
	-----	953
36.	SOLO HISTÓRICO DA DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL	
	Jémison Mattos dos Santos Sérgio Murilo Santos de Araújo Dirce Maria Antunes Suertegaray	
	-----	1000

37. GEOMORFOLOGIA ESTRUTURAL:
REVISITANDO TEORIAS, MÉTODOS E ESTUDOS
DE CASO NO NORDESTE BRASILEIRO

Frederico de Holanda Bastos
Abner Monteiro Nunes Cordeiro
Marcelo Martins de Moura Fé

----- 1029



14. DELTAS DOMINADOS POR ONDAS: TRAJETÓRIA CONCEITUAL, DINÂMICA E EVOLUÇÃO A PARTIR DE EXEMPLOS DO COMPLEXO DELTAICO DO RIO PARAÍBA DO SUL

Thaís Baptista da Rocha¹, Sérgio Cadena de Vasconcelos², André Paulo Ferreira da Costa¹, Beatriz Abreu Machado¹, Mariana Silva Figueiredo¹, Lígia Padilha Novak¹, Thiago Pereira Gonçalves³ & Guilherme Borges Fernandez¹

¹Universidade Federal Fluminense (UFF); Laboratório de Geografia Física (LAGEF)
thaisbaptista@id.uff.br; dacostaandre01@gmail.com; abreu_beatriz@id.uff.br;
marianasf@id.uff.br; ligianovak@id.uff.br; guilhermefernandez@id.uff.br

²Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio); sergio-cadena@puc-rio.br

³Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); thiagopereira.uerj@gmail.com

Resumo: Os deltas são acumulações sedimentares depositadas na zona costeira, resultantes da contribuição fluvial e do retrabalhamento destes sedimentos pela ação das ondas, marés e correntes. Além da questão do aporte sedimentar, sua ocorrência também está condicionada ao comportamento do nível relativo do mar. Na segunda metade do século XX, acompanhando o desenvolvimento dos estudos da geologia do petróleo, surgem as principais referências sobre a caracterização e a evolução geológica/geomorfológica dessas feições. Tais estudos passaram a influenciar a investigação dos deltas brasileiros que, inicialmente, foram descritos como deltas dominados por ondas, de acordo com a clássica classificação tripartite de Galloway, que considerava diferentes níveis de influência das ondas, das marés e da contribuição fluvial. Portanto, os objetivos deste capítulo são: (a) apresentar a trajetória conceitual que historicamente tem sido utilizada para compreensão da dinâmica e evolução dos deltas dominados por ondas, passando por referências recentes que têm considerado o papel das ondas como um elemento que pode induzir a morfologia assimétrica ou não desses deltas; (b) apresentar a relação das planícies deltaicas com as curvas de variação do nível médio do mar no período quaternário, destacando o período das vastas datações por Radiocarbono que foram obtidas nas planícies deltaicas brasileiras nos anos de 1980, até as novas potencialidades surgidas a partir dos anos 2000 com o aperfeiçoamento da geocronologia por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE); (c) e discutir a influência antropogênica nos deltas e nas suas respectivas bacias de drenagem, frente ao fenômeno da erosão costeira e aos cenários futuros das mudanças climáticas. Parte dessas discussões serão demonstradas a partir do histórico de pesquisas e trabalhos publicados, e em andamento, no Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul, localizado no litoral fluminense.

Palavras-Chave: Deltas, deltas assimétricos dominados por ondas, nível médio do mar, ondas, LOE, influência antropogênica

Abstract: Deltas are sedimentary deposits in the coastal zone, originated by the interaction between fluvial sediments and their reworking by waves, tides, and currents action. Deltas' development is conditioned not only by fluvial sediment input but also by relative sea level behavior. In the second half of the 20th century, following the development of petroleum geology studies, the main references about the characterization and geological / geomorphological evolution of deltaic environments began to appear. Such studies influenced the investigation of Brazilian deltas, interpreted as dominated by waves, according to the classic tripartite classification model by Galloway, which considered different levels of influence of waves, tides and fluvial contribution. Therefore, the objectives of this chapter are: (a) to present a conceptual trajectory that has historically been used to understand the dynamics and evolution of deltas dominated by waves, including recent references that discuss how waves can induce asymmetric delta morphology; (b) to present the relation between the development of deltaic plains and the sea level behavior during Quaternary period, highlighting Radiocarbon dating during the 1980s and the Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating contributions since the 2000s; (c) and to discuss the anthropogenic influence on deltas and their drainage basins against coastal erosion and climate change future scenarios. This chapter is anchored on finished and ongoing researches at Paraíba do Sul River Deltaic Complex (PSRDC), at the littoral of Rio de Janeiro state.

Keywords: Deltas, wave-dominated asymmetric deltas, sea level, waves, OSL, anthropogenic influence

Tema: Geomorfologia Costeira

1. INTRODUÇÃO: ASPECTOS GERAIS E FATORES CONTROLADORES NA DINÂMICA E EVOLUÇÃO DOS DELTAS.

Os deltas são feições deposicionais de transição entre o ambiente continental e marinho, cuja construção se dá pelos sedimentos trazidos por um rio que, ao se depositarem no oceano, são retrabalhados por ondas, marés e correntes. Através dessas forçantes, os sedimentos passam a se acumular na frente da desembocadura fluvial, o que normalmente leva ao avanço da linha de costa em direção ao oceano e a consequente progradação do prisma deposicional (WRIGHT E COLLEMAN, 1973; SUTER, 1994; MASSELINK E HUGHES, 2003; ANTHONY, 2015). Contudo, nem todo rio que chega ao mar terá condições de formar um delta, uma vez que isso depende das características da bacia de drenagem e da bacia receptora (por exemplo, um oceano, um golfo, uma baía ou um lago), bem como das características hidrodinâmicas e oceanográficas das forçantes envolvidas (Figura 1).

Nesse sentido, chama a atenção a influência de fatores como a tectônica e o clima na distribuição global dos deltas (Figura 1). De acordo com Inman e Nordstrom (1971),

quase 90% dos maiores deltas estão localizados em costas de margem passiva e à sombra de arcos de ilhas. No caso do controle tectônico referente às margens passivas, essa característica favorece o desenvolvimento de extensas bacias de drenagens, o que tende a gerar uma elevada produção sedimentar para a construção dos deltas. Já no caso das costas que estão defronte aos arcos de ilhas, estes tendem a amenizar a energia das ondas que chegam ao continente, favorecendo a deposição sedimentar nas proximidades das desembocaduras fluviais (exemplo dos deltas na borda asiática do oceano Pacífico, como o delta do rio Mekong, no Vietnã).

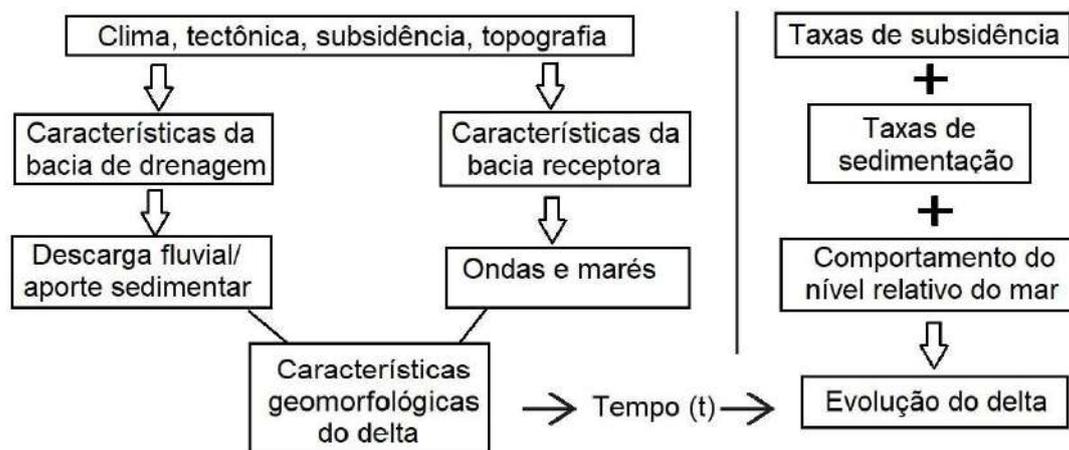


Figura 1. Fatores controladores da dinâmica e evolução dos deltas. Modificado de Eliot (1986); Masselink e Hughes (2003)

Além disso, essa distribuição global também possui ocorrência predominante entre as latitudes baixas e médias, devido aos maiores índices de precipitação e do intemperismo químico nas bacias de drenagem, o que também tende a influenciar a descarga sedimentar fluvial. Contudo, mesmo que o aporte sedimentar seja expressivo e suficiente para a formação de uma feição deltaica, essa deposição irá também depender das condições de ondas, marés e correntes que atuam na bacia receptora. Nesse sentido, é necessário que a energia dessas forçantes permita a deposição dos sedimentos trazidos pelo rio nas adjacências da desembocadura fluvial, ao invés de transportá-los ao longo da linha de costa. Essa relação configura o balanço entre “produção sedimentar” e “fluxo de energia” da respectiva área de acumulação (DAVIES JR., 1983).

Embora a variação do grau de energia entre as forçantes mencionadas (ondas, marés e rios) é o que gera as diferenças morfológicas dos deltas, existem três unidades fisiográficas comuns em praticamente todos eles, que englobam os ambientes subaéreo e subaquoso: (i) a planície deltaica; (ii) a frente deltaica; e (iii) o prodelta. Nas planícies deltaicas, ocorrem feições que são formadas pela dinâmica fluvial, como planícies de inundação, canais tributários, meandros abandonados e diques marginais; e também pela dinâmica oceanográfica, como cristas de praia, planícies de marés, lagoas, pontais arenosos e até manguezais (Figura 2).

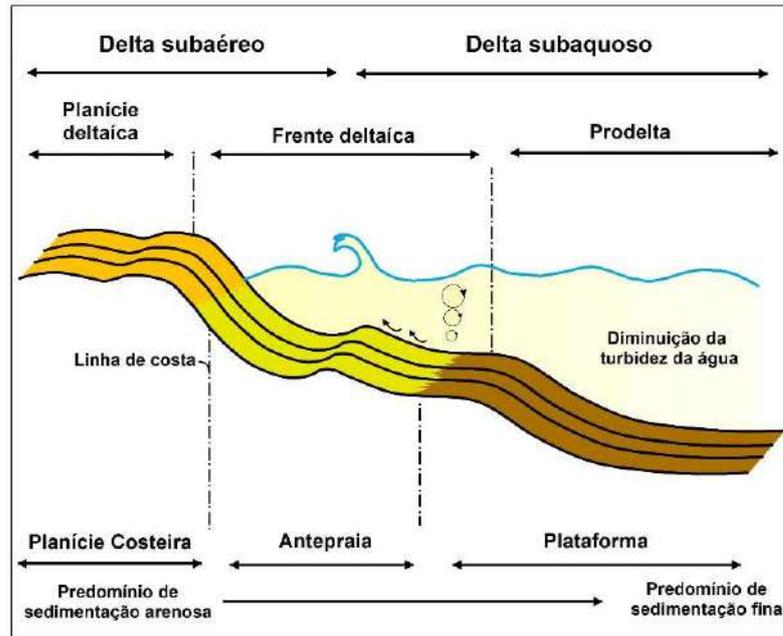


Figura 2. Os subambientes morfo-sedimentares dos deltas (Modificado de PENG *et al.* 2018).

Já a frente deltaica é considerada a unidade dinamicamente mais ativa, onde ocorrem a deposição de sedimentos mais grosseiros e a formação de feições subaquosas como as barras arenosas que, posteriormente podem ser incorporadas à planície deltaica, promovendo a progradação do sistema deposicional. Essa hidrodinâmica é controlada pela velocidade do fluxo fluvial na foz, o gradiente submarino, e a distribuição vertical da densidade da coluna d'água, relacionado ao *input* de água doce e salgada no ambiente estuarino (ver WRIGHT, 1977; MASSELINK E HUGHES, 2003). Finalmente, o prodelta é caracterizado como a unidade de deposição de sedimentos finos, como silte e argila, associada à decantação que ocorre comumente num ambiente menos energético, como em profundidades onde as ondas já não são tão capazes de remobilizar o fundo.

Ainda sobre as forças hidro-oceanográficas que atuam na dinâmica dos deltas, Galloway (1975) produziu a conhecida classificação tripartite (cujas ideias iniciais já apareciam em WRIGHT E COLEMAN, 1973) onde, de acordo com a predominância entre as forças mencionadas, os deltas poderiam ser do tipo: (i) dominados por regime fluvial; (ii) dominados por marés; e (iii) dominados por ondas (Figura 3). Os deltas dominados por regime fluvial costumam estar em locais mais protegidos da ação das ondas, como golfos e baías; comumente estão em áreas de regime de micro-maré; e normalmente, o rio que dá origem ao delta está inserido numa expressiva bacia de drenagem. Em função dessas características hidrodinâmicas, o delta tende a assumir uma configuração morfológica na forma de “pés-de-pássaro”, cujo o exemplo mais representativo dessa tipologia é o delta do rio Mississippi (EUA).

Já o delta dominado por marés possui como característica principal estar sob a influência de uma elevada amplitude de maré, de forma que esta atue de forma mais expressiva que a ação fluvial e as ondas. Em função das correntes que são geradas pelo

regime de marés, barras alongadas são depositadas à frente da desembocadura resultando na progradação do sistema deposicional, apesar de apresentar uma configuração morfológica que geralmente se assemelha a uma feição estuarina. Um dos exemplos mais representativos dessa tipologia é o delta do Ganges–Brahmaputra, em Bangladesh. No caso do litoral brasileiro, o rio Amazonas também pode ser considerado um delta do tipo dominado por marés, embora a característica de progradação do sistema deposicional seja mais evidente na porção subaquosa do que na planície deltaica (GOODBRED E SAITO, 2012).

Com relação aos deltas do tipo “dominado por ondas”, estes possuem como característica a maior exposição à ação das ondas, frente a uma baixa amplitude do regime de marés (< 2 metros). A sedimentação da planície e da frente deltaica tendem a ser predominantemente arenosa, cuja deposição pode se dar na forma de barras submarinas distribuídas à frente da desembocadura. Essas barras são posteriormente retrabalhadas por ondas e correntes de deriva litorânea, e incorporadas à planície na forma de cristas de praia, gerando a configuração morfológica do delta na forma de cúspide. Podem ainda, ocorrer a formação de pontais arenosos (*spits*) e de dunas costeiras recobrimdo parte da planície deltaica. Os deltas da costa leste brasileira, como os deltas do rio Paraíba do Sul, do rio Doce, do rio Jequitinhonha e do rio São Francisco historicamente foram agrupados nessa tipologia de delta, cujas publicações pioneiras se iniciaram entre as décadas de 70 e 80 do século XX, como em Bacocoli, 1971; Dias e Gorini, 1980; Dominguez *et al.* 1981; Dias *et al.* 1984; Silva, 1987.

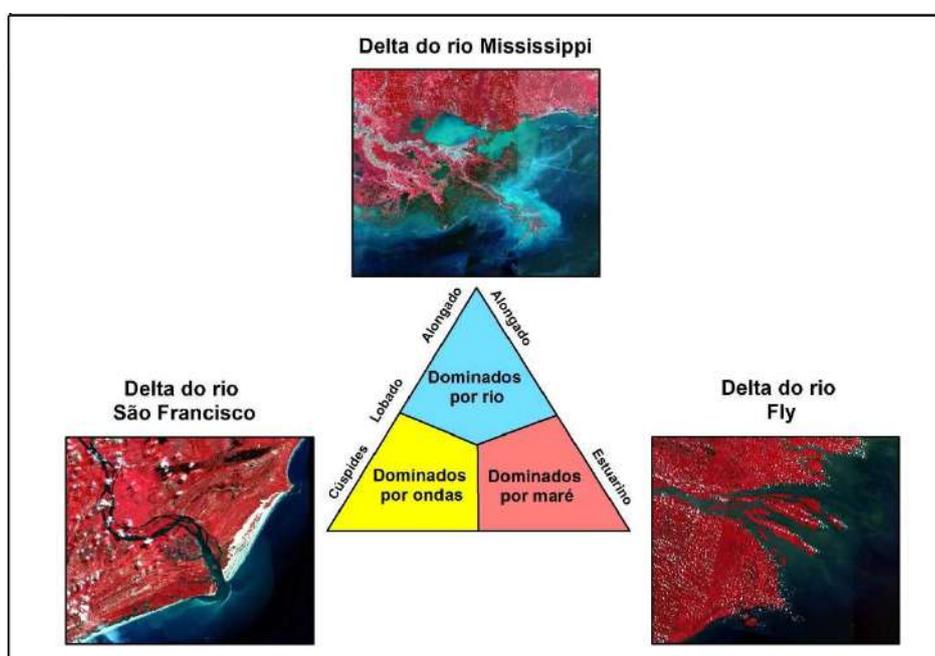


Figura 3. Modelo de classificação dos deltas de acordo com as forças predominantes e as repostas morfológicas de acordo com Galloway, 1975. (Modificado de GALLOWAY, 1975).

Entre o final dos anos 80 e 90 do século passado, alguns autores chamaram a atenção para o fato de que nem todas as planícies de cristas de praia (*beach ridges*

strandplain) formadas próximas a desembocaduras fluviais poderiam ser considerados deltas dominados por ondas (READING E COLLINSON, 1996; DOMINGUEZ *et al.* 1981), o que gerou uma série de discussões acerca da característica deltaica das planícies costeiras da costa leste do Brasil. Algumas indagações e reinterpretações passavam por questões relacionados à fonte sedimentar da construção das planícies, do papel do comportamento do nível médio do mar no Holoceno e da deriva litorânea no transporte de sedimentos, conforme apontou Dominguez (1996).

Portanto, os objetivos deste capítulo são: (a) apresentar a trajetória conceitual que historicamente tem sido utilizada para compreensão da dinâmica e evolução dos deltas dominados por ondas, passando por referências recentes que têm considerado o papel das ondas como um elemento que pode induzir a morfologia assimétrica ou não desses deltas; (b) apresentar a relação das planícies deltaicas com as curvas de variação do nível médio do mar no período quaternário, destacando o período das vastas datações por Radiocarbono (C^{14}) que foram obtidas nas planícies deltaicas brasileiras nos anos de 1980, até as novas potencialidades surgidas a partir dos anos 2000, com o aperfeiçoamento da geocronologia por Luminescência Opticamente Estimada (LOE); (c) e discutir a influência antropogênica nos deltas e nas suas respectivas bacias de drenagem, frente ao fenômeno da erosão costeira e aos cenários futuros das mudanças climáticas. Parte dessas discussões serão demonstradas a partir do histórico de pesquisas e trabalhos publicados, e em andamento, no Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (CDRPS), localizado no litoral fluminense.

2. O COMPLEXO DELTAICO DO RIO PARAÍBA DO SUL (CDRPS)

O CRDPS é considerado como uma área que engloba uma série de feições deposicionais associadas às diferentes fases de deltação do rio Paraíba do Sul e às mudanças de comportamento do nível médio do mar, que ocorreram durante o Quaternário (DIAS, 1981). Esse complexo de feições é bordejado pelos tabuleiros costeiros referentes à Formação Barreiras, cuja origem se deu no Período Neógeno; e engloba uma área equivalente à 2.500 km², sendo considerada a porção emersa da Bacia de Campos (Figura 4B). O CDRPS pode ser subdividido em dois segmentos principais, a partir do Cabo de São Tomé: o setor meridional e o setor setentrional (DIAS, 1981; SILVA, 1987; ROCHA *et al.* 2013).

O setor meridional possui como feições principais a Lagoa Feia e a planície costeira a sudoeste, formada por um conjunto de cristas de praia de idade pleistocênica e uma estreita barreira transgressiva (Figuras 4B, 7B, 8A), formada há pelo menos 6.000 anos A.P. (ver FERNANDEZ E ROCHA, 2015). Essa planície pleistocênica seria um registro paleodeltaico associado a um período em que, possivelmente, o rio Paraíba do Sul desaguava nas imediações do Cabo de São Tomé (SILVA, 1987), ainda que tal cenário paleogeográfico seja até hoje alvo de debate. Cabe também destacar que cerca de 150 km² dessa planície costeira está inserida no Parque Nacional de Restingas de Jurubatiba

(PARNA Restinga Jurubatiba), devido à elevada biodiversidade que compõe os ecossistemas de restingas, brejos e lagoas.

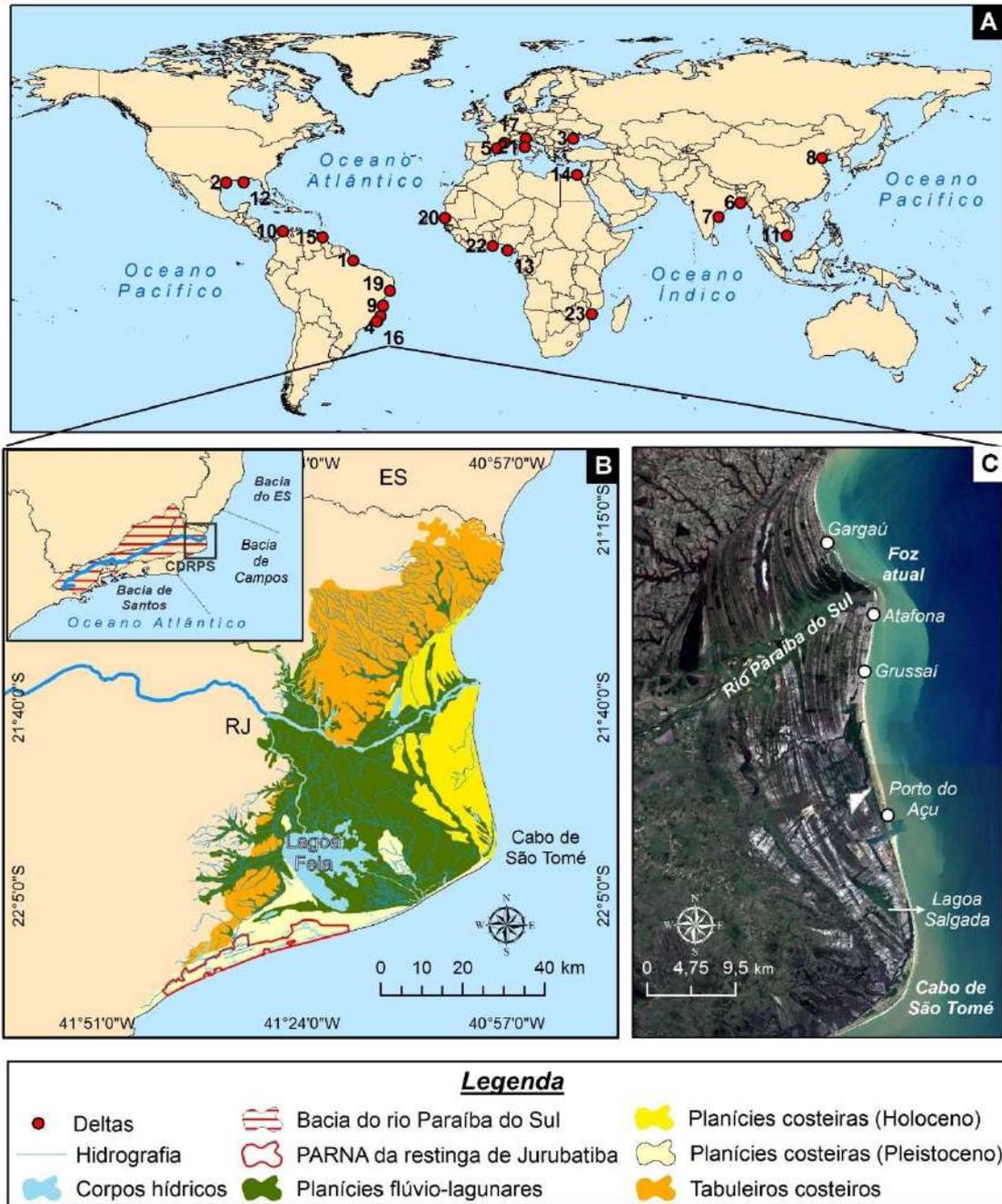


Figura 4. (A) Distribuição global de alguns dos maiores deltas do mundo, em ordem alfabética: 1. Amazonas; 2. Brazos; 3. Danúbio; 4. Doce; 5. Ebro; 6. Ganges-Brahmaputra; 7. Godavari; 8. Huanghe; 9. Jequitinhonha; 10. Magdalena; 11. Mekong; 12. Mississipi; 13. Níger; 14. Nilo; 15. Orinoco; 16. Paraíba do Sul; 17. Po; 18. Rhone; 19. São Francisco; 20. Senegal; 21. Tiber; 22. Volta. (B) A bacia do rio Paraíba do Sul, cujos limites são compartilhados com os estados de SP, MG e RJ. Destaque para a localização do Complexo Deltaico do rio Paraíba do Sul (CDRPS), que abrange cerca de 1/5 do litoral fluminense. O setor meridional do CDRPS (ao sul do Cabo de São Tomé), é caracterizado por uma planície costeira de idade pleistocênica; enquanto o setor setentrional, é caracterizado pelo delta moderno, de idade holocênica (fig. 4C).

Já o setor setentrional possui como feição principal o delta moderno do rio Paraíba do Sul, cuja bacia de drenagem se concentra entre os estados do São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, totalizando uma área de cerca de 55.500 km². O delta moderno foi formado após o Máximo Transgressivo do Holoceno, há cerca de 5.500 anos A.P. para o caso da costa brasileira (MARTIN *et al.* 1993; ANGULO *et al.* 2006), condicionado pelo abaixamento no nível médio do mar e pelo expressivo aporte sedimentar fluvial (DIAS E GORINI, 1980; DOMINGUEZ *et al.* 1981; DIAS e KJERFVE, 2009). Esse cenário gerou uma progradação do sistema deltaico e um conseqüente avanço da linha de costa de cerca de 15km nos últimos milhares de anos, a partir da incorporação de sucessivas cristas de praia, em ambos os flancos do delta.

Com relação às condições oceanográficas, o clima de ondas possui um padrão bimodal, com ondas provenientes de E/NE, associados à atuação dos ventos locais decorrentes da influência do Anticiclone do Atlântico Sul (ASAS); e ondas provenientes de S/SE, decorrentes da passagem de Sistemas Frontais (SFs). As ondas possuem uma altura média de cerca de 1,6 m, embora possam ocorrer ondas com alturas superiores à 4 m, que são características de eventos de tempestade, associados aos SFs (SOUZA *et al.* 2015; VASCONCELOS *et al.* 2016). A amplitude de maré de sizígia é de cerca de 1,3 m, o que configura um padrão de micromaré.

3. TRAJETÓRIA CONCEITUAL: DAS “PLANÍCIES COSTEIRAS ASSOCIADAS A DESEMBOCADURAS FLUVIAIS EM AMBIENTES DOMINADOS POR ONDAS” AOS “DELTAS ASSIMÉTRICOS DOMINADOS POR ONDAS”

Os trabalhos de Fisher *et al.* (1969), Wright e Coleman (1973) e Galloway (1975), que foram pioneiros quanto à ideia de classificação dos deltas correlacionando as características morfológicas às forçantes dominantes, estão inseridos no contexto científico de expansão da geologia do petróleo nos EUA, durante a década de 70 do século XX. A busca pela compreensão da ocorrência e prospecção do petróleo fez com que a atenção dos geocientistas se direcionasse aos deltas, já que estes se caracterizam como análogos modernos de rochas reservatórios para hidrocarbonetos. Este movimento gerou muitas publicações sobre os deltas e sobre a sedimentação deltaica, principalmente no Boletim da AAPG (*American Association of Petroleum Geologists*), bem como em um simpósio específico no ano de 1970, organizado pela mesma Associação, denominado de “Sedimentação deltaica e a ocorrência de petróleo” (WEIMER, 1971).

No Brasil, esse contexto científico também foi observado durante a segunda metade do século XX, fomentado pela empresa Petrobrás e pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), onde um grupo de pesquisadores publicaram uma série de relatórios técnicos e de artigos em Boletins Técnicos que se tornaram referências pioneiras sobre dinâmica e evolução dos deltas brasileiros (LAMEGO, 1955; BACOCOLI, 1971; BANDEIRA *et al.* 1975; ARAUJO E BEURLIN, 1975). Lamego (1955) publicou um dos primeiros modelos de evolução do CDRPS, onde sugeria uma

série de fases de avulsão do rio Paraíba do Sul, o que teria levado à formação de novas planícies deltaicas e ao abandono de antigas, ainda que, a essa época, não houvesse total compreensão dos ciclos e efeitos das variações do nível do mar no Quaternário; tampouco se havia publicado os trabalhos sobre sedimentação deltaica e modelos de classificação dos deltas em função das forçantes hidrodinâmicas predominantes.

Já Bacocoli (1971), influenciado pela publicação de Fisher *et al.* (1969), que classificava os deltas em “altamente construtivos” e “altamente destrutivos”, sendo esse último podendo ser do tipo “dominado por ondas” ou “dominados por marés”, classificou o delta do rio Amazonas em “altamente destrutivo dominado por marés”; enquanto que os deltas do rio Paraíba do Sul, do rio São Francisco, do rio Doce, do rio Jequitinhonha e do rio Paranaíba foram classificados como “altamente destrutivos dominados por ondas”. O termo “altamente destrutivo” era designado para deltas cujas fácies de sedimentação eram predominantemente marinhas, enquanto que o “altamente construtivo” era designado para deltas com fácies de sedimentação predominantemente fluviais. Seguidamente, trabalhos nos deltas do rio Paraíba do Sul (DIAS, 1981) e do rio Doce (BANDEIRA JR. *et al.* 1979) reafirmavam a natureza deltaica das respectivas planícies costeiras, bem como a influência das ondas como forçante dominante na dinâmica dessas feições.

Já entre os anos 80 e os anos 90 do século XX, quando se passou a compreender melhor o comportamento do nível relativo do mar durante o holoceno na costa brasileira, uma série de trabalhos foi publicada por autores nacionais, questionando se as planícies costeiras associadas a desembocaduras fluviais poderiam ser consideradas como deltas, conforme inicialmente aparece em Dominguez *et al.* (1981). Os autores sugerem que a sedimentação fluvial não seria a principal fonte de construção das planícies deltaicas e, portanto, não seriam também a principal responsável pela progradação do sistema deposicional e, logo, não poderiam ser considerados como deltas. Considerando também as publicações posteriores de Dominguez *et al.* (1983), Dominguez *et al.* (1990) e Martin *et al.* (1993), esses autores defenderam que as principais fontes de sedimentação para a construção dessas planícies estariam associadas à diminuição relativa do nível do mar e também à contribuição do transporte sedimentar por deriva litorânea.

Especificamente sobre o papel do comportamento do nível do mar na construção das planícies, os autores citam o modelo de Brunn (1962) para explicar a transferência de sedimentos da antepraia em direção à praia, e a consequente progradação do sistema deposicional associadas às planícies costeiras. O modelo pressupõe um perfil de equilíbrio, que pode ser alterado em um cenário de subida do nível do mar. Como resposta, o sistema praia-antepraia buscaria novamente o equilíbrio, a partir da transferência de sedimentos da praia em direção à antepraia, provocando erosão no ambiente praiado e aumento da base do assoalho da antepraia, similar ao nível de subida do nível médio do mar.

Cabe ressaltar que esse modelo também é aplicado na situação inversa sendo, desta forma, aplicado à discussão sobre a construção dos deltas, ao se considerar um cenário de

abaixamento do nível do mar. Nesse caso, como forma de buscar o equilíbrio, haveria transferência de sedimentos da antepraia em direção à praia, provocando a progradação do prisma praial e o avanço da linha de costa, ao mesmo tempo em que haveria a diminuição da base do assoalho da antepraia, numa ordem similar ao nível de abaixamento do nível do mar (Figura 5B). Consequentemente, isso implica em assumir que os sedimentos que compõe as planícies deltaicas seriam reliquiárias, isto é, que já estariam disponíveis na plataforma continental, reforçando a ideia de que as planícies não teriam sido construídas por sedimentos modernos oriundos da contribuição fluvial.

Logo, de acordo com Dominguez (1990), a aplicação do termo ‘delta’ a ambientes dominados por ondas seria equivocada e que, portanto, as zonas de progradação associadas aos rios que desaguam no oceano deveriam ser chamadas de “planícies costeiras associadas a desembocaduras fluviais em ambientes dominados por ondas”.

Por outro lado, os trabalhos que vinham sendo desenvolvidos no Complexo Deltaico do rio Paraíba do Sul (CDRPS) durante esse período por um grupo de pesquisadores vinculados ao Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR) da UFF, colocavam tais questões em debate. Murillo *et al.* (2009), a partir da aquisição de dados geofísicos, batimétricos e faciológicos da antepraia, nas imediações do delta do rio Paraíba do Sul, verificaram que as lamas de prodelta cobriam os sedimentos relíquias da plataforma e que, portanto, estes não poderiam ser a fonte de sedimentos para a construção da planície. Mas sim, uma estreita faixa da antepraia (até 500 m da linha de costa) composta por sedimentos modernos oriundos diretamente do rio, o que comprovaria a natureza deltaica da respectiva feição deposicional referente à porção subaérea do delta, que já havia sido também demonstrado por Dias *et al.* (1984). Tais questionamentos e discussões com relação à natureza deltaica das planícies costeiras brasileiras, ganharam repercussão internacional conforme aparecem em Bhattacharya e Giosan (2003) e Anthony (2015).

Mesmo com essa discussão superada já no início dos anos 2000, em paralelo também se discutia a questão da morfologia assimétrica dos deltas dominados por ondas, que poderiam apresentar como características: a assimetria morfométrica entre os flancos que compõe a planície deltaica; formas de progradação distintas entre os flancos; e a ocorrência de feições secundárias, como pontais (*spits*), sistemas barreira-laguna e lagoas em um dos flancos dos deltas (notar a assimetria do delta do rio Paraíba do Sul na Figura 4C). De acordo com Dominguez (1996) e Bhattacharya e Giosan (2003), o que explicava a forma assimétrica era o “efeito do molhe hidráulico”, mecanismo descrito previamente por Komar (1973). Esse mecanismo reforçava o papel do transporte lateral de sedimentos trazidos por correntes de deriva litorânea que poderiam ser bloqueados pelo fluxo fluvial que chega ao oceano, provocando a progradação no flanco à barlar do delta (*updrift*), a partir da incorporação de cristas de praias. Já no flanco à sotomar do delta (*downdrift*), a progradação ocorreria pela incorporação de sedimentos oriundos do rio gerando, inclusive, características granulométricas distintas entre os flancos, e o desenvolvimento de pontais e pequenos corpos lagunares (Figura 5A).

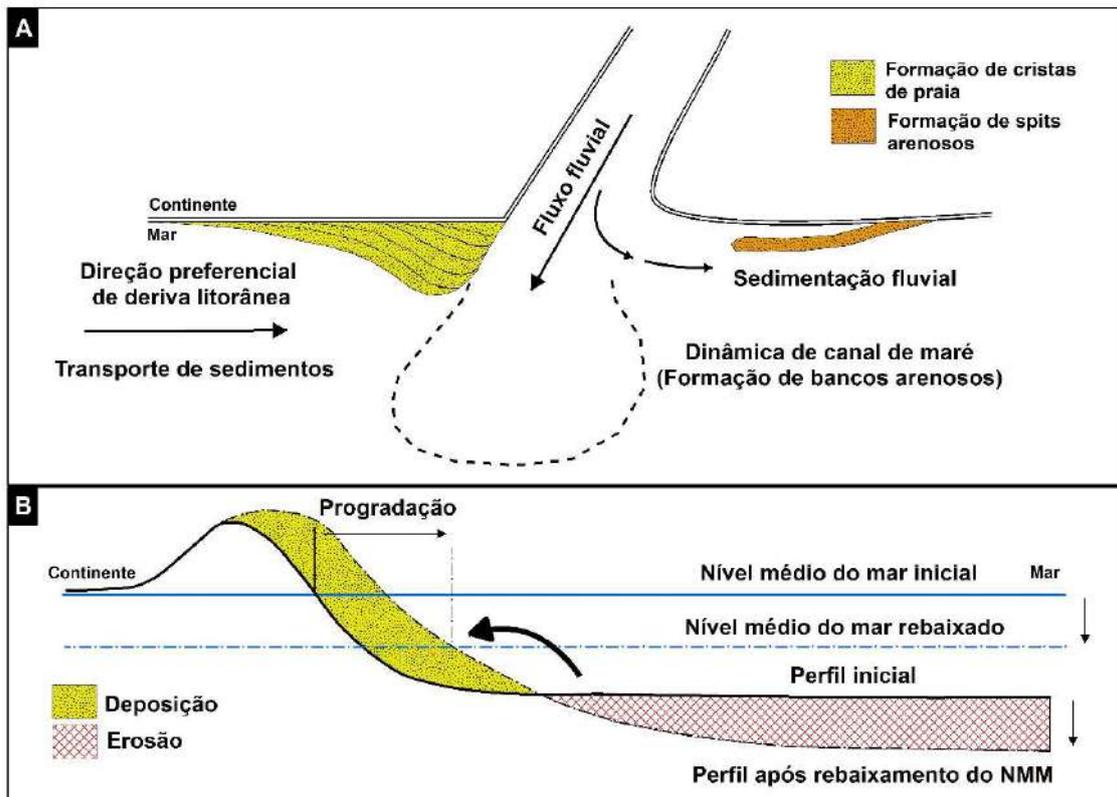


Figura 5. (A) Efeito do molhe hidráulico, descrito por Dominguez (1996). De acordo com o autor esse mecanismo seria responsável pela forma assimétrica dos deltas e pelas formas de progradação distintas em seus respectivos flancos, com a formação de cristas de praia de um lado e *spits* do outro. (B) Resposta do sistema praia-antepraia frente ao abaixamento do nível do mar, de acordo com o modelo de Brunn (1962). Notar a transferência de sedimentos da antepraia/plataforma em direção à praia.

Com o avanço da modelagem numérica para propagação de ondas, Ashton e Giosan (2011) reinterpretaram a assimetria dos deltas dominados por ondas, como consequência do ângulo de incidência das ondas que chegam em relação à frente deltaica. No trabalho pioneiro de Ashton e Murray (2005), as ondas podem ser do tipo “difusivas”, quando o clima de ondas é simétrico e elas chegam à costa praticamente sem obliquidade; ou podem ser do tipo “antidifusivas”, quando o clima de ondas é assimétrico e elas chegam com elevado grau de obliquidade em relação à costa. Essas novas premissas com relação à propagação de ondas permitiram a Ashton e Giosan (2011), por meio de modelagem numérica, relacionar a assimetria dos deltas à ocorrência de ondas “antidifusivas”, onde estas seriam responsáveis por criar as feições de instabilidade como os pontais (*spits*), as barras submarinas e as lagoas costeiras em um dos flancos do delta (Figura 6). Esta interpretação tem sido considerada em trabalhos mais recentes como em Dan *et al.* (2011), Cohen *et al.* (2014), Anthony (2015), Nienhuis *et al.* (2015), Vasconcelos *et al.* (2016).

Essas feições de instabilidade foram bem descritas no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul por Vasconcelos *et al.* (2016), a partir da investigação da dinâmica dos

spits e dos sistemas barreira-laguna na localidade de Gargaú (ver a localização na Figura 4C). Os autores mapearam as formas de fundo e a batimetria da frente deltaica e identificaram a formação de barras submarinas à frente da desembocadura (Figura 7A) que, posteriormente, originam a emersão de uma barreira arenosa na forma de *spit* e a consequente incorporação dela à planície, gerando a progradação do sistema deltaico. Recentemente, Costa *et al.* (2020) mapeou a dinâmica desses *spits* a partir do acervo de imagens LANDSAT e, atualmente, com o auxílio da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). A maior resolução temporal dessas imagens tem permitido uma maior compreensão acerca da interação entre as ondas e o regime hidrológico do rio, e as respectivas influências na dinâmica dessas feições (Figura 7B).

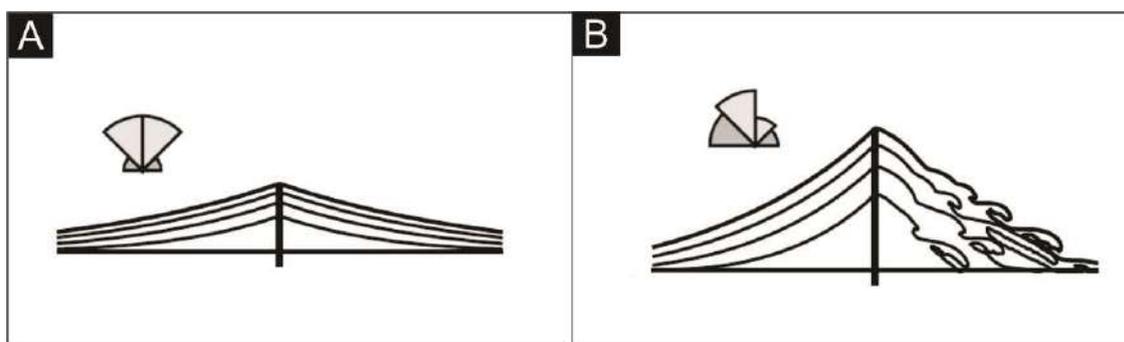


Figura 6. Exemplo de simulação da evolução morfológica de um delta dominado por ondas com diferentes climas de ondas e graus de obliquidade de incidência das ondas. (A) Simulação da evolução de um delta com forma simétrica, em função de um clima de ondas simétrico e sem obliquidade de incidência das ondas com relação à frente deltaica; (B) Simulação da evolução de um delta com forma assimétrica e consequente geração de “feições de instabilidade”, em função de um clima de ondas com elevada obliquidade de incidência das ondas com relação à frente deltaica (Modificado de ASHTON E GIOSAN, 2011).

Historicamente, a assimetria desse delta também foi associada ao efeito do “molhe hidráulico”, porém, esses autores identificaram um padrão divergente no sentido do transporte lateral de sedimentos a partir da foz, o que tornava pouco provável a hipótese do “molhe hidráulico” para a explicação da assimetria deltaica já que, para ela ocorrer, o transporte lateral no flanco sul do delta deveria ser de sul para norte (ver Figura 5A). Esse padrão divergente do transporte na foz também já tinha sido documentado por Cassar e Neves (1993). Logo, Vasconcelos *et al.* (2016) que também identificaram o padrão bimodal no clima de ondas de direção principalmente de NE e SE, levantaram a hipótese da propagação de ondas antidifusivas como possível explicação para a ocorrência das feições de instabilidade no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul.

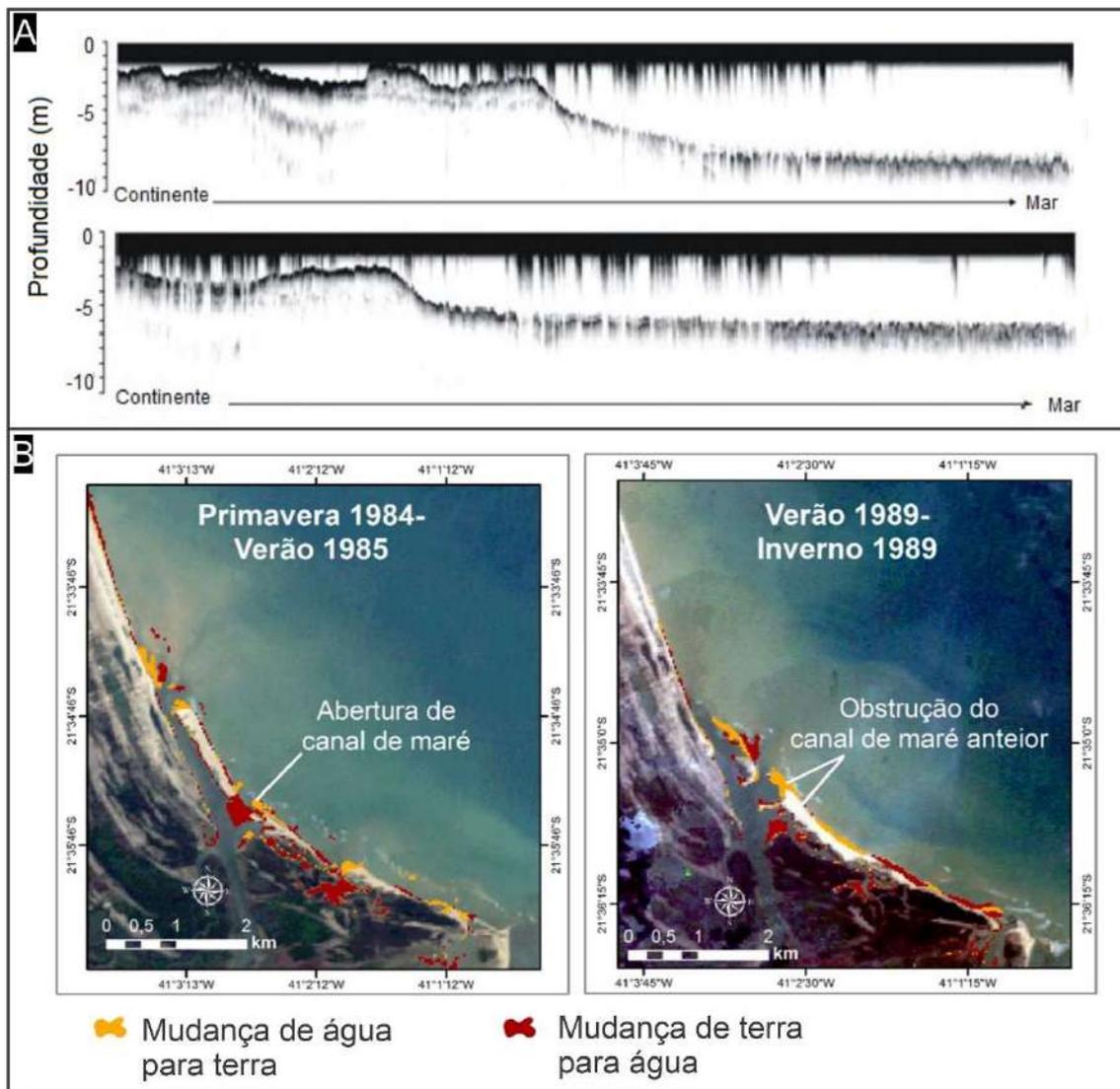


Figura 7. (A) Perfis batimétricos adquiridos na frente deltaica do rio Paraíba do Sul, com o perfilador sísmico de 10 KHz (modelo StrataBox). Nos perfis, é possível observar as barras submarinas à frente da desembocadura, que depois evoluem para a emersão de uma barreira arenosa na forma de *spits* (Fonte: modificado de VASCONCELOS *et al.* 2016). (B) Exemplo de processos mapeados sobre a dinâmica dos *spits*, a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto, com a utilização do acervo das imagens LANDSAT, partir do desenvolvimento rotinas na plataforma GEE.

4. OS DELTAS DOMINADOS POR ONDAS E AS VARIAÇÕES DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

A história das investigações acerca do comportamento do nível médio do mar na costa brasileira pode ser considerada intrínseca à história das investigações com relação à dinâmica e evolução das planícies deltaicas, principalmente dos rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul, uma vez que elas forneciam abundantes materiais para datação por Radiocarbono (C^{14}). Esses resultados geocronológicos ajudaram na confecção das curvas holocênicas de variações do nível relativo do mar para grande parte da costa brasileira, que são utilizadas até os dias atuais. Consequentemente, tais resultados

também foram fundamentais para a criação de modelos de evolução das planícies costeiras frente às variações do nível do mar no Quaternário.

O modelo publicado por Dominguez *et al.* (1981) e Martin *et al.* (1993), considerado uma importante referência até hoje, reconhece oito estágios sobre a evolução dessas planícies deltaicas, mas que também tendem a ser representativas para as demais planícies costeiras do litoral brasileiro. O modelo se inicia no Plioceno (5,3 MA- 2,5 MA. Última época do período Neógeno), com a deposição da Formação Barreiras (Estágio 1); seguido da intercalação de fases de regressão e transgressão marinha no Quaternário. Nesse sentido, destaca-se o Estágio 5, com a formação de planícies costeiras pleistocênicas associado ao abaixamento do nível médio do mar, após o Máximo Transgressivo de 120 mil anos atrás (ver Figura 8D). Em seguida, os Estágios 6 e 7 descrevem o retrabalhamento e/ou afogamento da antiga planície, possivelmente dando lugar a sistemas barreira-laguna, deltas intra-lagunares e sedimentação estuarina durante a fase de subida do nível médio do mar, entre 18 mil anos até 5.500 anos A.P. (Máximo Transgressivo do Holoceno). Finalmente, o Estágio 8 descreve a construção das planícies costeiras holocênicas, em função do abaixamento do nível médio do mar entre 5.500 anos A.P. até o momento presente (ver Figura 8C).

Especificamente com relação ao CDRPS, Silva (1987) e Martin *et al.* (1993) trouxeram importantes contribuições para a construção de um modelo de evolução quaternária mais direcionado às especificidades do CDRPS, tendo como base um considerável acervo de datações por Radiocarbono (C^{14}). Tais contribuições corroboraram a idade holocênica do delta moderno do rio Paraíba do Sul, marcando o início da construção da planície deltaica a partir de 5.000 anos A.P., e o fechamento das lagoas próximo ao Cabo de São Tomé em torno de 3.000 anos atrás (ver localização na Figura 4C). Alguns truncamentos erosivos na planície foram associados por Martin *et al.* (1993) às duas oscilações de alta frequência do nível médio do mar, ocorridos há 3.800 anos e 2.700 anos A.P. No setor meridional do CDRPS, as datações por Radiocarbono estabelecidas nas lagoas posicionadas no reverso da barreira transgressiva (ver localização na Figura 8B), e que estão inseridas em grande parte nos limites do PARNA Restinga Jurubatiba, mostraram idades em torno de 6.000 anos A.P. Consequentemente, a planície costeira formada por cristas de praia (também conhecidas como cordões arenosos ou cordões litorâneos) que está à retaguarda desse sistema holocênico, foi considerada com uma provável idade Pleistocênica (Figuras 8A e 8B).

Com a popularização e o aperfeiçoamento do método da datação por Luminescência Opticamente Estimada (LOE), principalmente a partir dos anos 2000, tem sido possível um maior detalhamento geocronológico das planícies holocênicas, bem como uma maior compreensão da evolução dessas feições e do comportamento do nível médio do mar durante o Pleistoceno Superior, visto que o método pela LOE pode estimar idades de até 200 mil anos (RHODES, 2011), enquanto o Radiocarbono não ultrapassa 50 mil anos. Em termos gerais, a datação por LOE permite determinar quando um mineral (quartzo ou feldspato) foi exposto a luz solar pela última vez, levando ao estabelecimento de uma

idade numérica para um depósito sedimentar (MURRAY e WINTLE, 2000; RHODES, 2011).

Uma outra vantagem do método recai sobre o tipo de material que é datado. Na LOE, as idades são estimadas diretamente analisando grãos de quartzo ou feldspato que formam um determinado tipo de depósito (costeiro, marinho, fluvial, eólico etc.); enquanto que as idades por Radiocarbono são estimadas a partir da análise de materiais como a matéria orgânica presente em brejos e lagoas, bem como restos de conchas e troncos de árvore que podem ter sido transportados durante a deposição dos sedimentos lagunares ou das antigas paleopraias (cristas de praia). Nesse sentido, como esses materiais podem ter sofrido transporte, as idades de Radiocarbono podem não representar a idade de formação do depósito. Ainda assim, as idades por LOE também podem apresentar problemas e, por isso, recomenda-se que os dois métodos sejam utilizados conjuntamente, se possível.

As planícies deltaicas, sobretudo as relativas aos deltas dominados por ondas, continuam sendo importantes fontes para obtenção de dados geocronológicos, pois estas feições tendem a ser formadas, principalmente, por uma sucessão de cristas de praias. Estas se caracterizam como uma típica feição de praia, mas que adquire uma característica reliquiar à medida que, em função do processo de progradação do sistema deltaico, uma nova feição de praia passa a ser construída pelas ondas, tornando a antiga praia “abandonada”. Logo, as cristas de praia são consideradas paleopraias que marcam antigas posições de linha de costa e, conseqüentemente, também podem ser consideradas como importantes paleoindicadores geomorfológicos de antigas posições do nível médio do mar, ao associar as informações de altimetria e geocronologia (OTVOS, 2000; TAMURA, 2012; SCHEFFERS *et al.* 2012).

Especificamente no CDRPS, recentes trabalhos têm sido publicados aplicando o método da LOE para geocronologia nas cristas de praia. No setor meridional do CDRPS, no interior do PARNA-Jurubatiba, Rocha *et al.* (2013) identificaram a idade numérica da planície costeira pleistocênica com idade em torno de 80.000 anos, estando associado ao Estágio Isotópico Marinho 5a (MIS 5a), configurando um raro registro deposicional de paleoindicador do nível médio do mar desse período, apesar dos autores reconhecerem o número reduzido de alíquotas para a análise da LOE (Figuras 8A, 8B e 8D).

No delta moderno do rio Paraíba do Sul, as datações por LOE de Vasconcelos (2016) e Rocha *et al.* (2019) mostraram que a construção da planície deltaica teria começado cerca de mil anos mais tarde do que mostravam Martin *et al.* (1993), a partir de 4.130 anos atrás (Figuras 8A e 8C). Além disso, os autores verificaram que as taxas de progradação foram mais rápidas no flanco sul do que no flanco norte do delta, apresentando cerca de 5,0 m/ano e 3,0 m/ano, respectivamente, o que também explicaria a morfologia assimétrica desse delta dominado por ondas. Tais resultados sugerem que o flanco sul progradou a partir de uma segunda contribuição de aporte sedimentar, além do aporte do rio Paraíba do Sul, corroborando parte da discussão levantada por Dominguez

et al. (1983) sobre o papel da contribuição do transporte por deriva litorânea na construção dos deltas brasileiros.

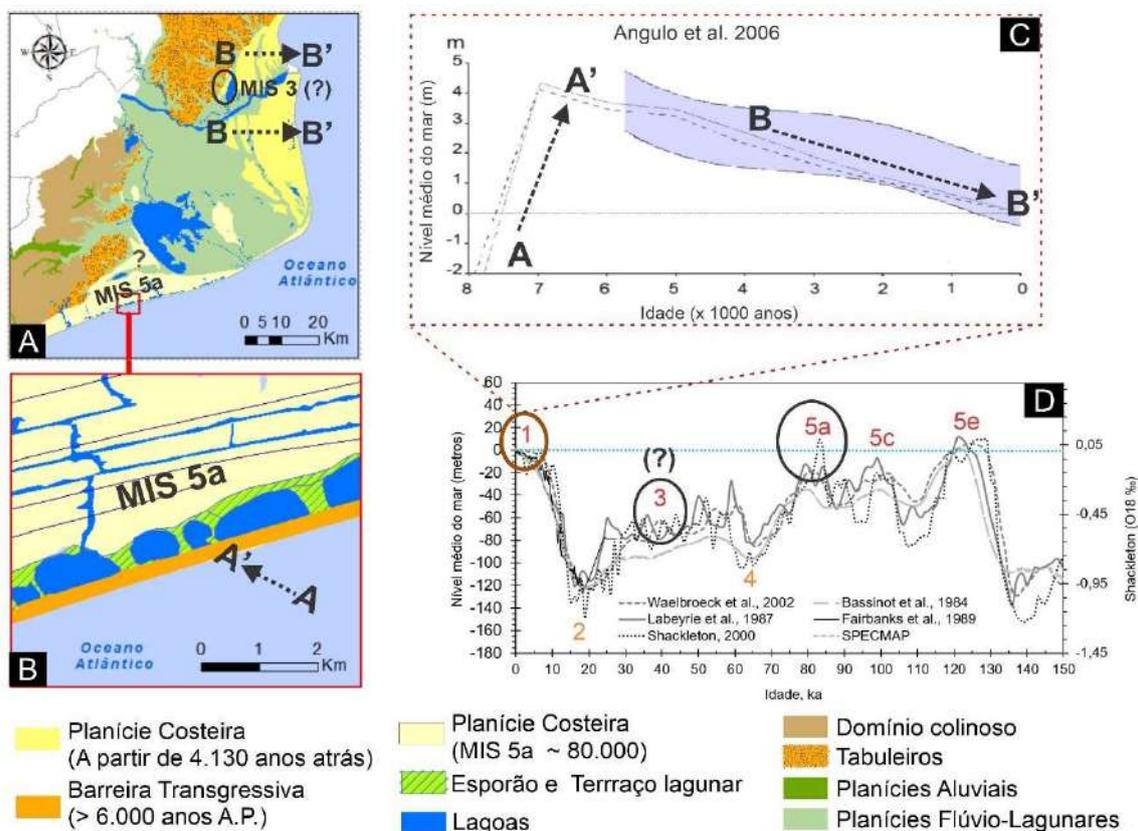


Figura 8. (A) As planícies costeiras do CDRPS. No setor meridional, as cristas de praia aparecem como registros do MIS 5a (ROCHA, 2013; ROCHA et al. 2013). No setor setentrional, a construção do delta moderno (B --- B') está atrelada ao período de abaixamento do nível médio do mar no holoceno (Fig. 7C). Nos limites dos Tabuleiros da Form. Barreiras, destaca-se um possível registro do MIS 3 (VASCONCELOS, 2016; ROCHA et al. 2019). (B) Destaque para o setor meridional do CDRPS, onde é possível notar a estreita barreira transgressiva que trunca as lagoas costeiras, em função do movimento de retrogradação do sistema deposicional, que vai retrabalhando as cristas de praia pleistocênicas do MIS 5a. Esse sistema barreira-laguna vem se desenvolvendo (A --- A') há, pelo menos, 6.000 anos A.P., como resultado da subida eustática do nível do mar (Fig. 7C), após a última era glacial (Fig 7D). (C) Envelope do comportamento do nível médio do mar (em lilás) no holoceno para parte da costa brasileira (ANGULO et al. 2006), sobreposta às curvas obtidas por simulação geofísica (MILNE et al. 2005). Nas curvas estão identificados os períodos de construção do delta moderno (B --- B') e do desenvolvimento da barreira transgressiva no setor meridional do CDRPS (A --- A'). (D) Síntese das curvas do nível médio do mar nos últimos 150 mil anos que mostra os períodos de abaixamento e subida eustática do nível médio do mar, em que estão associados aos períodos glaciais e interglaciais (RABINEAU et al. 2006). Destaque para os Estágios Isotópicos Marinheiros MIS 5, MIS 3 e MIS 1 para o contexto do CDRPS.

Especificamente no que se refere a formação da Lagoa Salgada (Figura 4C) e o registro deposicional adjacente referente às barreiras arenosas costeiras, localizado no extremo sul do delta moderno, Figueiredo *et al.* (2021) identificaram as idades numéricas, pelo método da LOE, da fase de desenvolvimento de pontais arenosos e o consequente fechamento da Lagoa Salgada, que ocorreu aproximadamente entre 2.300 e 2.000 anos

atrás. De acordo com os autores, esse intervalo temporal provavelmente reflete mudanças climato-oceanográficas relevantes no histórico do desenvolvimento do delta, apontando para um cenário de aumento expressivo na intensidade e ocorrência de sistemas frontais e ondas de tempestades oriundos do quadrante Sul, também identificado no litoral Sul do Brasil por Zular *et al.* (2013) e Savakuchi *et al.* (2012).

Rocha *et al.* (2019) também discutiram a datação de cerca de 38.650 anos, encontrada no limite entre a Formação Barreiras e a planície deltaica do flanco norte, como sendo um registro do MIS 3 (intervalo entre 60 e 25 mil anos atrás). Tais registros não costumam estar preservados visto que, de acordo com as curvas de Estágios Isotópicos Marinheiros, o nível do mar estaria entre -85 m e -55m abaixo do nível médio do mar atual. Embora os autores considerem que essa amostra possa representar uma possível mistura de sedimentos marinhos e continentais, Cohen *et al.* (2014) e Rossetti *et al.* (2015) também identificaram cristas de praia relativos aos períodos do MIS 3 e 2 no delta do rio Doce, o que indica que tais investigações geocronológicas acerca do comportamento no nível médio do mar têm levado a investigações que ainda estão em aberto e, conseqüentemente, ainda colocam os deltas como feições muito relevantes para a contínua investigação de indicadores de paleoníveis marinhos entre o pleistoceno e o holoceno na costa brasileira.

Além disso, a compreensão evolutiva das feições deltaicas frente às mudanças de comportamento do nível do mar também permite a reflexão sobre o papel do aporte sedimentar na escala geológica, sobretudo quando se pensa em hierarquia do registro sedimentar no contexto da estratigrafia de seqüências. Especificamente sobre as feições costeiras holocênicas que compõe o CDRPS, como a barreira transgressiva no setor meridional (Fig.8B: A---A'; Fig.9A) e as cristas de praia do delta moderno (Fig.8A: B---B'; Fig.9B), nota-se que elas representam tratos de sistemas deposicionais completamente distintos para um mesmo contexto temporal (Figura 9).

A barreira transgressiva no setor meridional representa um registro de Trato de Sistema Transgressivo (TST), que se desenvolveu quando ocorreu um aumento expressivo da taxa de criação de espaço de acomodação (aumento expressivo do nível médio do mar), em relação à taxa de aporte sedimentar, o que levou ao recuo da linha de costa e a retrogradação do registro sedimentar em direção ao continente, materializados na feição da barreira transgressiva (Fig.8B: A---A'; Fig.9A). Pode-se dizer que esse cenário ocorreu durante a fase de aumento eustático do nível do mar, à medida que o último período glacial dava lugar ao atual período interglacial, e o nível do médio do mar subiu cerca 120 m (Fig 8D), entre 18.000 anos e 5.500 anos A.P. (Figura 8C).

Após esse período, em função de ajustes hidroisostáticos, o nível médio do mar passou a baixar até chegar ao nível médio do mar atual (Martin *et al.* 1997; Angulo *et al.* 2006. Ver Figura 8C). Como a foz do rio Paraíba do Sul vinha se posicionando mais ao norte no CDRPS (Silva, 1987; Martin *et al.* 1993), as taxas de aporte sedimentar passaram a ser superiores à taxa de criação de espaço de acomodação (já o que nível médio do mar vinha baixando), o que resultou no movimento de regressão e a conseqüente progradação

do sistema deposicional, materializados na incorporação das cristas de praia do delta moderno e na acreção da linha de costa, que caracteriza o setor setentrional do CDRPS (Fig.8A: B---B'). Na abordagem da estratigrafia de sequências, esse registro emerso faz parte de um Trato de Sistema de Nível Alto (TSNA).

O setor meridional, que não possui aporte sedimentar fluvial direto, não conseguiu “reverter” o processo transgressivo nos últimos milhares de ano e, mesmo nos dias atuais, o recuo da linha costa ainda ocorre (as taxas podem chegar à -1,0 m/ano), sendo que a elevada exposição do litoral às ondas de tempestade tende a também a influenciar esse processo. Nesse sentido, nota-se a relevância do papel do aporte sedimentar fluvial na evolução do registro sedimentar costeiro/marinho e na consequente dinâmica da linha de costa, onde o CDRPS torna-se um exemplo de variação lateral de tratos de sistemas, com o setor meridional sofrendo um movimento transgressivo e o setor setentrional, um movimento regressivo. Cabe destacar que variação semelhante ocorre no delta do rio Mississippi (HOLZ, 2012).

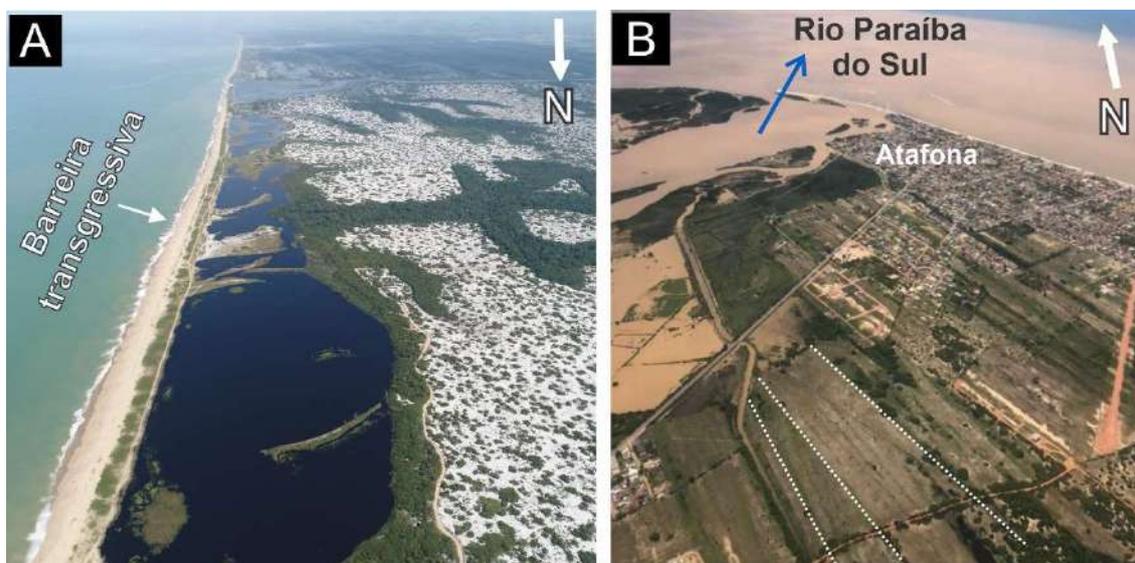


Figura 9. (A) Foto oblíqua de parte da planície costeira do setor meridional do CDRPS, nos limites do PARNA Restinga de Jurubatiba. Notar a estreita barreira transgressiva que foi formada durante aumento eustático do nível médio do mar no holoceno. O seu movimento de retrogradação trunca as lagoas costeiras que tendem a retrabalhar as cristas de praia pleistocênicas que estão atrás desse sistema deposicional (Acervo LAGEF. Ano de obtenção: 2019). (B) Foto oblíqua das cristas de praia holocênicas que formam o delta moderno, que caracterizam a progradação do sistema deposicional. Notar os sedimentos em suspensão no oceano (bacia receptora) que são trazidos pelo rio Paraíba do Sul. As linhas brancas pontilhadas marcam alguns truncamentos erosivos no alinhamento das cristas de praia, que marcam antigas fases erosivas e/ou interrupções da progradação da planície deltaica (Imagem do ano de 2020, cedida pelo Prof. Eduardo Bulhões)

5. O FENÔMENO DA EROSIÃO COSTEIRA NOS DELTAS: UMA INFLUÊNCIA ANTROPOGÊNICA?

Embora o processo de progradação e a consequente acreção da linha de costa sejam características inerentes ao delta, o fenômeno da erosão costeira não é raro, ainda que pareça contraditório nesse contexto geomorfológico. Ao analisar a dinâmica da linha de costa de 54 deltas distribuídos globalmente, Besset *et al.* (2019) verificaram que mais da metade deles têm sofrido mais com processos de erosão costeira do que com acreção da linha de costa. Os autores destacam como principal causa, a construção de barragens ao longo das bacias de drenagens, que estariam sendo responsáveis pela redução da vazão e retenção dos sedimentos que chegam à foz desses deltas. Nesse quadro, se encontra o rio São Francisco que tem sofrido com uma redução da carga sedimentar da ordem de 40% (BESSET *et al.* 2019), resultando em erosão costeira e perda de área na planície deltaica (DOMINGUEZ E GUIMARÃES, 2021). Esse cenário, inclusive, já levou à transferência dos moradores entre os anos de 1990 e 2000 da Vila do Cabeço, que se localizava bem próximo à foz do rio São Francisco

No delta do rio Paraíba do Sul, o recuo da linha de costa que atinge o distrito de Atafona (ver localização na Figura 4C), desde dos anos de 1950, é considerado um dos principais exemplos do litoral brasileiro quando se aborda o fenômeno da erosão costeira. Nesta área, as taxas de recuo da linha de costa chegam próximas a -5,0 m/ano (MACHADO, 2020; VASCONCELOS *et al.* no prelo), conforme mostra a Figura 10. Esse processo, inclusive, já levou à destruição total e parcial de mais de 200 edificações entre 1975 e 2016 (AZEVEDO, 2004; MELLO *et al.* 2018).

Recentemente, esse intenso processo erosivo também tem sido responsável pelo aumento expressivo da altura das dunas frontais, o que tem levado a uma consequente instabilização dessas feições, que têm avançado sobre as edificações, tornando-se mais um elemento de risco para a população local (ROCHA *et al.* 2018; MACHADO, 2020). Cabe destacar que todos esses processos são monitorados através de perfis de praia desde o ano de 2005, pelo Laboratório de Geografia Física (LAGEF) da Universidade Federal Fluminense (Ver FERNANDEZ *et al.* 2020).

Algumas hipóteses costumam ser defendidas como causa do fenômeno da erosão costeira no delta do rio Paraíba do Sul, onde destaca-se a influência antropogênica na bacia de drenagem, relacionada às barragens que começaram a ser construídas já no início do século XX. Embora o rio Paraíba do Sul tenha apresentado redução da vazão em torno de 35% estimados nos últimos 80 anos, conforme mostra o gráfico da Figura 11, as intensas alterações de uso e cobertura vegetal da bacia tendem a produzir mais sedimentos, o que torna a possível relação entre a erosão costeira e a distribuição de barragens no rio Paraíba do Sul uma discussão complexa, que requer mais estudos hidrossedimentológicos que associem a bacia de drenagem e a zona costeira.

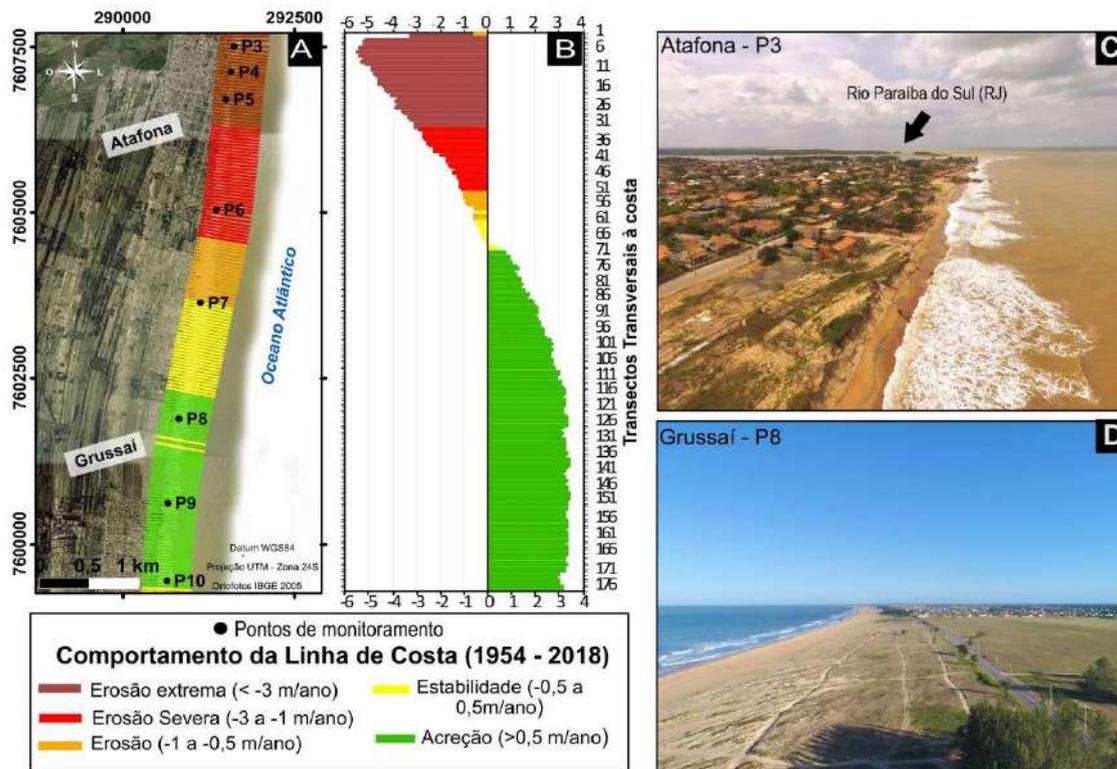


Figura 10. (A e B) Dinâmica da linha de costa entre Atafona e Grussaí, no delta do rio Paraíba do Sul, entre os anos de 1954 e 2018, calculados com a ferramenta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*). Notar o intenso processo erosivo restrito à Atafona, enquanto em direção a Grussaí, o processo de acreção da linha de costa é predominante (MACHADO, 2020; VASCONCELOS *et al. no prelo*). Foto oblíqua do ano de 2019 do distrito de Atafona, onde é possível observa a escarpa erosiva que futuramente poderá representar um futuro truncamento erosivo na planície deltaica, como aparece na Figura 9B. (D) Foto oblíqua do ano de 2019 do distrito de Grussaí. É possível notar a ausência de indicadores erosivos, uma vez que o processo de acreção predomina nessa área da planície deltaica.

Alguns autores também defendem como provável causa, uma convergência de energia de ortogonais de ondas (BASTOS, 1997; SOUZA, 2011), o que explicaria a ocorrência espacial tão restrita e localizada do fenômeno da erosão nas proximidades da foz e somente no flanco sul do delta (Figura 10). Além disso, ao analisar a morfologia em planta da planície deltaica no flanco sul, é possível observar uma série de truncamentos erosivos que marcam várias reorientações do alinhamento predominante dos sistemas cristas de praia desde o interior da planície que, em outras palavras, ocorrem em função de antigas fases de erosão que marcam momentos de interrupção do processo de progradação durante a própria construção do delta no Holoceno (ver Figura 9B), o que ressalta, pelo menos, uma clara componente de causa natural com relação ao processo erosivo.

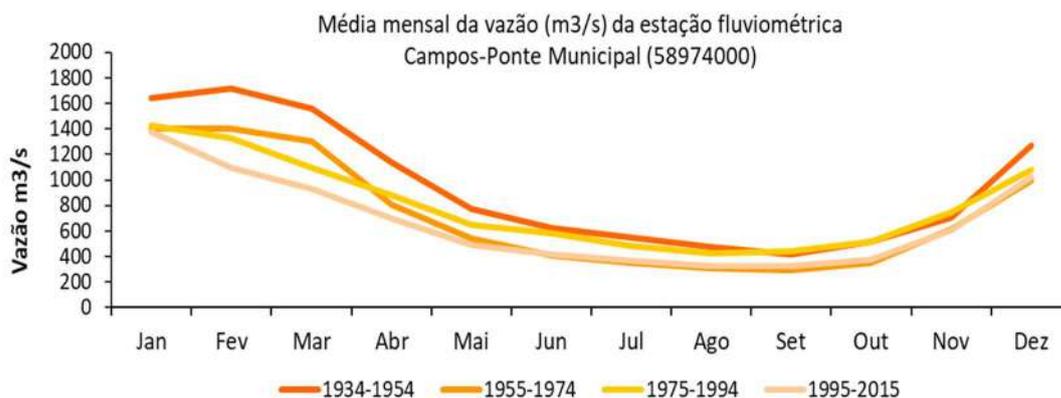


Figura 11. Variação do regime de vazão (m^3/s) no baixo-curso do rio Paraíba do Sul entre os anos de 1934 a 2015. Os dados indicam uma redução da descarga líquida em torno de 35% tanto nos meses típicos de cheia, quanto nos meses típicos de estiagem. Essa alteração pode estar relacionada à regularização da vazão associada às barragens, bem como à maior retirada de água da bacia hidrográfica para abastecimento entre o século XX e XXI.

A partir das datações por LOE em cristas de praia adjacentes aos truncamentos, Rocha *et al.* (2019) apontaram que essas fases erosivas podem ultrapassar um século de duração. Embora essa análise do fenômeno da erosão na escala do Holoceno aponte para causas predominantemente naturais, a duração do fenômeno observada com as datações traz a seguinte questão: até que ponto a influência antropogênica a partir das alterações na bacia de drenagem, pode intensificar o processo erosivo e/ou alterar a sua dimensão espaço-temporal?

A modelagem utilizada por Besset *et al.* (2019) para o cálculo das alterações da descarga sedimentar fluvial apontam para uma redução no rio Paraíba do Sul semelhante à do rio São Francisco, em torno de 40% nas últimas décadas. Contudo, a resposta da linha de costa é distinta entre os dois deltas. De acordo com os autores, o delta do São Francisco vem apresentando processos erosivos e redução de área da porção subaérea; enquanto que, no delta do Paraíba do Sul, processos erosivos também têm sido detectados, porém, não tem sido suficiente para alterar a característica de aumento de área da planície e, conseqüentemente, da progradação do sistema deltaico. Esses cenários sugerem que o delta do rio Paraíba do Sul seria mais resistente e resiliente do que o rio São Francisco frente às alterações antropogênicas nas bacias de drenagens.

Ainda assim, as projeções sobre as mudanças climáticas ainda para esse século (STOCKER *et al.* 2014), colocam todos os deltas em posição de vulnerabilidade, onde seus limiares sistêmicos deverão ser testados e investigados. Essas projeções apontam para mudanças no regime de precipitação e de aumento nível médio do mar que, poderão afetar tanto as características da bacia receptora, quanto as características da bacia de drenagem (Figura 1).

6. CONCLUSÕES

Partindo da trajetória conceitual sobre os deltas dominados por ondas apresentados nesse capítulo, é possível sintetizar os conhecimentos gerados em até três períodos: período I: dos anos de 1950 à meados dos anos de 1970; período II: de meados dos anos de 1970 até o final dos anos de 1990; e período III: dos anos 2000 ao atual.

O período I (dos anos de 1950 à meados dos anos de 1970) é marcado pelo contexto exploratório dos deltas que foi fomentado principalmente pelas empresas de prospecção de petróleo. Nesse período, surgem os primeiros modelos de classificação relacionando a morfologia dos deltas às forçantes hidro-oceanográficas predominantes (FISHER *et al.* 1969; WRIGHT & COLEMAN, 1973; GALLOWAY, 1975). Os deltas da costa leste do Brasil, tornam-se clássicos exemplos de deltas do tipo “dominado por ondas” (BACOCOLI, 1971). Ainda assim, o comportamento das variações do nível médio do mar no Quaternário e os seus impactos na evolução das feições deltaicas estavam em processo de investigação, com as primeiras curvas do nível do mar para o holoceno ainda sendo construídas. No CDRPS, Lamego (1955) publica o primeiro modelo de evolução paleogeográfico da área, partindo de precisos mapeamentos geomorfológicos para a época, porém sem um amparo de informações geocronológicas.

O período II (de meados dos anos de 1970 até o final dos anos de 1990), é marcado por um contexto científico-geomorfológico que domina as pesquisas dos deltas dominados por ondas, bastante impulsionado pelas vastas datações por Radiocarbono nas planícies deltaicas. Nesse sentido, a história dos modelos de evolução das planícies que surgem nesse período se funde à própria história da construção das curvas de variações do nível do mar para o holoceno na costa brasileira (DOMINGUEZ *et al.*, 1981; MARTIN *et al.* 1993; MARTIN *et al.* 1997).

Esse cenário contribui para o questionamento da natureza deltaica das planícies costeiras associadas aos rios São Francisco, rio Jequitinhonha, rio Doce e rio Paraíba do Sul, uma vez que se criou o debate sobre se a fonte sedimentar principal para a construção dessas feições seria mesmo os rios, em contraponto à possibilidade da sedimentação da plataforma ser a fonte principal para a formação das planícies, uma vez que, segundo o modelo de Brunn (1962), os sedimentos poderiam ser transferidos para o perfil praiial num cenário de abaixamento do nível médio do mar (DOMINGUEZ *et al.*, 1981; DOMINGUEZ, 1990).

Em paralelo, também se discutia a assimetria morfológica dos deltas dominados por ondas, cuja característica foi associada ao efeito do molhe hidráulico, e ao consequente papel do transporte lateral de sedimentos por deriva litorânea na construção dos deltas (DOMINGUEZ *et al.* 1983; BHATTACHARYA & GIOSAN, 2003. Esta última referência, já na transição para o período III).

O período III (dos anos 2000 ao atual) é marcado por um contexto de utilização de novas técnicas, sobretudo relacionado à modelagem numérica e à geocronologia por LOE, com aplicações voltadas para aspectos de dinâmica e evolução dos deltas

dominados por ondas. As modelagens numéricas desenvolvidas por Ashton e Murray (2005) e Ashton e Giosan (2011) levaram a questão da assimetria desses deltas a uma nova interpretação, onde o papel das ondas volta ao cenário como a principal forçante indutora para explicar a forma de progradação distinta nos flancos deltaicos e a formação de feições de “instabilidade”, como *spits* e lagoas somente em um dos flancos.

No delta do rio Paraíba do Sul, a dinâmica dos *spits* tem sido bem investigada a partir de levantamentos topobatimétricos e também por técnicas de Sensoriamento Remoto com auxílio da plataforma *Google Earth Engine* (VASCONCELOS *et al.* 2016; COSTA *et al.* 2020). Já a datação por LOE nas cristas de praia que compõe as planícies deltaicas tem permitido um maior detalhamento dos paleoníveis marinhos no holoceno e também no pleistoceno, sobretudo com relação aos Estágios Isotópicos Marinhos no MIS 5 e MIS 3, conforme têm sido relatados nos deltas do rio Doce e no CDRPS (ROCHA *et al.* 2013; ROCHA *et al.* 2019; COHEN *et al.* 2014; ROSSETTI *et al.* 2015; FIGUEIREDO *et al.* 2021).

Em termos de perspectivas futuras, o intenso debate sobre as projeções com relação às mudanças climáticas aponta para a necessidade de investigações que relacionem as alterações hidro-sedimentológicas da bacia de drenagem com os processos costeiros que atuam nos deltas. As alterações antropogênicas geradas principalmente a partir da construção de barragens e das alterações do uso e cobertura do solo, desde o início do século XX, nas bacias como o do São Francisco e do Paraíba do Sul, têm fomentado o debate acerca da ocorrência do fenômeno da erosão costeira em feições deltaicas que, a priori, representam áreas de progradação (BESSET *et al.* 2019). O caso do delta do rio São Francisco é emblemático nesse sentido (DOMINGUEZ E GUIMARÃES, 2021). Por outro lado, o caso da erosão costeira em Atafona (MACHADO, 2020; VASCONCELOS *et al.* no prelo; ROCHA *et al.* 2019), no delta do rio Paraíba do Sul, também traz a necessidade de se considerar a dimensão da escala geológica dos processos costeiros que atuam na dinâmica da linha de costa.

Agradecimentos

Às agências de fomento CAPES, CNPq e FAPERJ que ao longo desses últimos 16 anos investiram em bolsas e recursos para a formação de pesquisadores e para o desenvolvimento das pesquisas no Complexo Deltaico do rio Paraíba do Sul. Ao professor Alberto Garcia de Figueiredo Junior (LAGEMAR-UFF) por ser responsável direto pela viabilização inicial do monitoramento dos perfis de praia no delta do Rio Paraíba do Sul, a partir do ano de 2005. Ao Cleverson Guizan Silva e ao Gilberto Tavares de Macedo Dias, ambos professores também do antigo LAGEMAR, por compartilharem trocas sobre o CDRPS em conversas informais e bancas; e pelo pioneirismo de ambos com relação aos estudos do CDRPS.

Referências Bibliográficas

- ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, v. 25, p. 486–506. 2006.
- ANTHONY, E. J. Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: A review. **Marine Geology**, v. 361, p. 53–78. 2015.
- ARAÚJO, M. B.; BEURLEN, G. Projeto Rio Paraíba do Sul: **Sedimentação deltaica holocênica**. Petrobrás: RPBa, Direx n.1649. Dexpro/Divex, 2 vols. Rio de Janeiro. 1975.
- ASHTON, A. D.; GIOSAN, L. Wave-angle control of delta evolution. **Geophysical Research Letters**, v. 38, p. 1- 6. 2011.
- ASHTON, A.; MURRAY, A. B. Delta simulations using a one-line model coupled with overwash. **Proceedings of Coastal Dynamics**. ASCE. 2005.
- AZEVEDO, M. V. H. **Atafona, Patrimônio Mar Adentro: Formação, Planejamento e Destruição do Balneário de Atafona - RJ**. 2004. 107 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades), Universidade Cândido Mendes, 2004.
- BACOCOLI, G. Os deltas marinhos holocênicos brasileiros: uma tentativa de classificação. **Bol.Tecn. Petrobrás**, v.14, p. 5-38. 1971.
- BANDEIRA Jr., A. N.; PETRI, S.; SUGUIO, K. - **Projeto Rio Doce** (Relatório Final). CENPES/Petrobrás, 203 p. 1975.
- BASTOS, A. C. **Análise morfodinâmica e caracterização dos processos erosivos ao longo do litoral norte fluminense, entre Cabiúnas e Atafona**. 1997. 133 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1997.
- BESSET, M.; ANTHONY, E. J.; BOUCHETTE, F. Multi-decadal variations in delta shorelines and their relationship to river sediment supply: An assessment and review. **Earth-science Reviews**, v. 193, p. 199-219. June, 2019.
- BHATTACHARYA, J. P.; GIOSAN, L. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. **Sedimentology**, v. 50, p.187–210. 2003.
- BRUUN, P. Sea level rise as a cause of shore erosion. **Journal of the Waterways and Harbors Division**. American Society of Civil Engineers, v. 88, p.117-130. 1962.
- CASSAR, J. C. M.; NEVES, C. F. Aplicação das rosas de transporte litorâneo à costa norte fluminense. **Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, São Paulo, SP, v. 11, p. 81-106, 1993.
- CLARKE M. L., RENDELL H. M., WINTLE A. G. Quality assurance in luminescence dating. **Geomorphology**, v. 29, p. 173–185. 1999.
- COHEN, M. C. L.; FRANÇA, M. C.; ROSSETTI, D. F.; PESSENDA, L.C.R.; GIANNINI, P. C. F.; LORENTE, F. L.; BUSO JR. A. A.; CASTRO, D.; MACARIO, K. Landscape evolution during the late Quaternary at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Southeastern Brazil. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.**, v. 415, p. 48–58. 2014.

- COSTA, A. P. F.; ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B. Dinâmica dos pontais arenosos no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ) entre 1984 e 2017. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, v. 21, n. 4, p.893-909, 2020.
- DAN, S.; WALSTRA, D. J. R.; STIVE, M. J. F.; PANIN, N. Processes controlling the development of a river mouth spit. **Marine Geology**, v. 280, p. 116–129. 2011.
- DAVIS Jr., R. A. (org.). **Depositional Systems: A Genetic Approach to Sedimentary Geology**. Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey. 1983. 669 p.
- DIAS G. T. M.; KJERFVE B. Barrier and Beach Ridge Systems of Rio de Janeiro Coast. *In*: DILLENBURG, S.; HESP, P. (ed.). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2009. p. 225-248.
- DIAS, G. T. M. e GORINI, M. A. A Baixada Campista: Estudo Morfológico dos Ambientes Litorâneos. *In*: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Camboriú (SC), 1980. **Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia**, Camboriú, v. 1, p. 588-602, 1980.
- DIAS, G. T. M. O complexo deltáico do Rio Paraíba do Sul. *In*: IV SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO, 1981. **Anais do IV Simpósio do Quaternário do Brasil**, Publicação Especial, n.2 (CTCQ/SBG), p 58-88, 1981.
- DIAS, G. T. M.; SILVA, C. G.; MALSCHITZCKY, I. H.; PIRMEZ, C. A planície deltaica do Rio Paraíba do Sul: seqüências sedimentares subsuperficiais. *In*: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Rio de Janeiro, 1984. **Anais CBG**, v. 1, p. 98-104, Rio de Janeiro, 1984.
- DOMINGUEZ, J. M. L. Deltas dominados por ondas: críticas às ideias atuais com referência particular ao modelo de Coleman & Wright. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 352-361. 1990.
- DOMINGUEZ, J. M. L. The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas? *In*: DE BAPTIST, M. e JACOBS, P. (ed.). **Geology of Siliciclastic Shelf Seas. Geological**. Society of London, Special Publication, v. 117, 1996. p. 217–231.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 13, p. 98-105. 1983.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; GUIMARÃES, J. K. Effects of Holocene climate changes and anthropogenic river regulation in the development of a wave-dominated delta: The São Francisco River (Eastern Brazil). **Marine Geology**, 435. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106456>
- DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Esquema evolutivo da sedimentação Quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 11, n. 4, p. 227-237, 1981.
- ELLIOTT, T. Deltas. *In*: READING, H. G. (ed.). **Sedimentary Environment and facies**. Blackwell Science, Oxford, 1976. p. 113–154.
- FERNANDEZ, G. B.; OLIVEIRA-FILHO, S. R.; ROCHA, T. B.; PEREIRA, T. G.; VASCONCELLOS, S. C.; MALUF, V. B. V.; QUADROS, M. A. R.; MOULTON, M. A. B. Morfodinâmica costeira do litoral fluminense: 15 anos de observação contínua. *In*: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. S. (Eds). **Geografia marinha:**

oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Livro eletrônico. PPGM, 2020. p. 196-226. Disponível em

https://drive.google.com/file/d/1RIREUom59UzPTxECYTNic_2vKMGD6KTf/view

FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B. Barreiras costeiras holocênicas: geomorfologia e arquitetura deposicional no litoral do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.16, n. 2, p. 301-319, 2015.

FIGUEIREDO, M. S.; BRILL, D.; ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G.B. Late Holocene evolution of São Tomé cape (Rio de Janeiro, Brazil): Insights from geomorphological, geophysical and geochronological data. **Quaternary International**, Available online 9 April 2021 (*In Press*). <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.04.001>

FISHER, W. L.; BROWN, L. F., SCOTT, A. J.; MCGOWEN, J. H. Delta systems in the exploration for oil and gas. **Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies**. v. 17, p. 105–125. 1969.

GALLOWAY, W. E. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of delta depositional systems. *In*: BROUSSARD, M. L (ed.). **Deltas: Models for Exploration**. Houston Geological Society, Houston, 1975. p. 87–98.

GOODBRED JR., S. T.; SAITO, Y. Tide-Dominated Deltas. *In*: DAVIS JR., R.A.; DALRYMPLE, R.W. (ed.) **Principles of Tidal Sedimentology**. Springer Science Business, 2012. p. 129-149.

HOLZ M. (org.). **Estratigrafia de sequências: histórico, princípios e aplicações**. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2012. 258 p.

INMAN, D. L.; NORDSTROM, C. E. On the tectonic and morphologic classification of coasts. **Journal of Geology**, v. 79, p. 1–21. 1971.

KOMAR, P. D. Computer models of delta growth due to sediment input from Rivers and longshore transport. **Geological Society of America Bulletin**, v. 84, p. 2217–2226, 1973.

LAMEGO, A. R. Geologia das quadrículas de Campos, São Tomé, Lagoa Feia e Xexé. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia/DNPM**, v.154, p.1-60.1955.

MACHADO, B. A. **O comportamento da linha de costa na interação praia-duna no flanco sul do delta do rio Paraíba do Sul (RJ)**. 2020. 88 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2020.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from a multiple fossil and geometric indicators. **Journal of Coastal Research**, v.19, p. 101-124. 2003.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M. As flutuações de nível do mar durante o quaternário superior e a evolução geológica de "deltas" brasileiros. **Boletim IG-USP**. Publicação Especial, v. 15. 1993. Disponível em <https://doi.org/10.11606/issn.2317-8078.v0i15p01-186>

MASSELINK, G.; HUGHES, M. (org.). **Introduction to coastal processes and geomorphology**. Ed. Hodder Education. London, UK. 2003. 354 p.

MELLO, G. S.; MACHADO, B. A.; ROCHA, T. B. Avaliação dos impactos da erosão costeira no distrito de Atafona (RJ), entre os anos de 2005 e 2016. *In*: 12º SINAGEO – SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Maringá (PR), 2018. **Anais do 12º Sinageo – Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Maringá (PR), 2018.

- MILNE, G. A.; LONG, A. J.; BASSETT, E. Modeling Holocene relative sea-level observations from the Caribbean and South America. **Quaternary Science Reviews**, v. 24, p. 1183–1202. 2005.
- MURILLO, V. C.; SILVA, C. G.; FERNANDEZ, G. B. Nearshore sediment sand coastal evolution of Paraíba do Sul river delta, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, v. 56, p. 650–654, 2009.
- MURRAY A. S.; WINTLE A. G. Luminescence dating of quartz using an improved single- aliquot regenerative-dose protocol. **Radiation Measurements**, v. 32, p. 57-73. 2000.
- NIENHUIS, J. H.; ASHTON, A. D.; GIOSAN, L. What makes a delta wave-dominated? **Geology**, v. 43, n. 6, p. 511–514. 2015. DOI:10.1130/G36518.1
- OTVOS E. G. Beach ridges – definitions and significance. **Geomorphology**, v. 32, p. 83–108. 2000.
- PENG, Y.; STEEL, R. J.; ROSSI, V. M.; OLARIU, C. Mixed-energy process interactions read from a compound-clinoform delta (paleo–Orinoco delta, Trinidad): preservation of river and tide signals by mud-induced wave damping. **Journal of Sedimentary Research**, v. 88, p. 75–90. 2018.
- RABINEAU, M.; BERNÉ, S.; OLIVET J. L.; ASLANIAN, D.; GUILLOCHEAU, F.; JOSEPH, P. Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 yr). **Earth and Planetary Science Letters**, v. 252, p.119–137. 2006.
- READING, H. G.; COLLINSON, J. D. Clastic Coasts. *In*: READING, H. G (ed.). **Sedimentary Environment: Processes, Facies and Stratigraphy**. Blackwell Science, Oxford, 1996. p.154-231.
- RHODES, E. J. Optically Stimulated Luminescence Dating of Sediments over the Past 200,000 Years. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.** v. 39, p. 461–488. 2011.
- ROCHA T. B. 2013. **A planície costeira meridional do Complexo Deltáico do rio Paraíba do Sul (RJ): arquitetura deposicional e evolução da paisagem durante o Quaternário Tardio**. 2013. 178 p. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- ROCHA T. B; FERNANDEZ, G. B.; PEIXOTO, M. N. O; RODRIGUEZ, A. Arquitetura deposicional e datação absoluta das cristas de praia pleistocênicas no complexo deltaico do Paraíba do Sul (RJ). **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 4, p. 711-724. 2013.
- ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B.; RODRIGUES, A. Registros de erosão e progradação revelados por radar de penetração do solo (GPR) na barreira regressiva pleistocênica do complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul (RJ). **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 8, n.1, p. 24-37. 2017.
- ROCHA, T. B.; MACHADO, B. A.; SILVA, J. C.; MELLO, G. S.; PEREIRA, T. G.; FERNANDEZ, G. B. Interação morfodinâmica entre praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul (RJ) a partir de uma década de monitoramento. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, v. 19, n. 2, p. 283-301, 2018.
- ROCHA, T. B.; VASCONCELOS, S. C; PEREIRA, T. G; FERNANDEZ, G. B. Datação por luminescência opticamente estimulada (LOE) nas cristas de praia do delta do rio Paraíba do Sul (RJ): Considerações sobre a evolução geomorfológica entre o Pleistoceno

Superior e o Holoceno. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 563-580, 2019.

ROSSETTI, D. F.; POLIZEL, S. P.; COHEN, M. C. L.; PESSENDA, L. C. R. Late Pleistocene–Holocene evolution of the Doce River delta, southeastern Brazil: Implications for the understanding of wave-influenced deltas. **Marine Geology**, v. 367, p. 171–190. 2015.

SAWAKUCHI, A. O.; GUEDES, C. C. F.; DEWITT, R.; GIANNINI, P. C. F.; BLAIR, M. W.; NASCIMENTO, D. R.; FALEIROS, F. M. Quartz OSL sensitivity as a proxy for storm activity on the southern Brazilian coast during the Late Holocene. **Quat. Geochronol.** v. 13, p. 92–102. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2012.07.002>.

SCHEFFERS, A.; ENGEL, M.; SCHEFFERS, S.; SQUIRE, P.; KELLETAT, D. Beach ridge systems – archives for Holocene coastal events? **Progress in Physical Geography**, 36(1) 5–37. 2012.

SHACKLETON, N. J. The 100,000-year Ice-Age cycle found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity. **Science**, v. 289, p.1897–1902. 2000.

SILVA C. G. **Estudo da evolução geológica e geomorfológica da região da Lagoa Feia, RJ**. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1987.

SOUZA, R. D. **Propagação de ondas para águas rasas no litoral norte fluminense**. 2011. 156 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica e Geologia Marinha) Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ. 2011.

SOUZA, T. A.; BULHÕES, E.; AMORIM, I. B. S. Ondas de tempestade na costa Norte Fluminense. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 6, n.2, p. 10-17. 2015.

STOCKER, T. F. *et al.* Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment. **Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press. 2014.

SUTER, J. R. Deltaic coasts. *In*: CARTER, R. W. G; C. D. WOODROFFE (ed.). **Coastal evolution: late quaternary shoreline morphodynamics**. Cambridge University Press, 1994. p. 87–120.

TAMURA T. Beach ridges and prograded beach deposits as palaeoenvironment records. **Earth-Science Reviews**, v. 114, p. 279–297. 2012.

VASCONCELOS, S. C. Morfoestratigrafia da planície costeira ao norte do rio Paraíba do Sul (RJ). 2016. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ). 2016.

VASCONCELOS, S. C.; RAMOS, I. A.; NUNES, R. S.; SANTOS, R. A.; FIGUEIREDO JR., A. G. Dinâmica erosiva e progradacional das praias de Atafona e Grussaí (RJ), 1954-2019. **Revista da ENANPEGE**. (Aceito para publicação. Previsto para 2021).

VASCONCELOS, S. C.; ROCHA, T. B. DA; PEREIRA, T.; ALVES, A. R.; FERNANDEZ, G. B. Gênese e morfodinâmica das barreiras arenosas no flanco norte do delta do Rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, p. 481-498. 2016.

WEIMER, R. J. Deltas and petroleum: foreword. **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**. v. 55, n. 8, p. 1135-1136. August, 1971.

WRIGHT, L. D. Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis. **Geological Society of America Bulletin**, v. 88, p. 857–868. 1977.

WRIGHT, L. D.; COLEMAN, J. M. Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes. **American Association of Petroleum Geologists**, v. 57, p. 370–398. 1973.

ZULA R. A.; SAWAKUCHI, A. O.; GUEDES, C. C. F.; MENDES, V. R.; NASCIMENTO, D. R.; GIANNINI, P. C. F.; AGUIAR, V. A. P.; DEWITT, R. Late Holocene intensification of colds fronts in southern Brazil as indicated by dune development and provenance changes in the São Francisco do Sul coastal barrier. **Mar. Geol.** v. 335, p. 64–77. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.10.006>