UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista

TAFONOMIA DO FÓSSIL DE BALEIA-AZUL (*BALAENOPTERA MUSCULUS*) DO HOLOCENO (IGUAPE, SÃO PAULO, BRASIL)

NATALIE FERNANDES SPANGHERO

SÃO VICENTE – SP

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"Júlio de Mesquita Filho"

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS

CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA

TAFONOMIA DO FÓSSIL DE BALEIA-AZUL (*BALAENOPTERA MUSCULUS*) DO HOLOCENO (IGUAPE, SÃO PAULO, BRASIL)

NATALIE FERNANDES SPANGHERO

PROF. DR. FRANCISCO SEKIGUCHI BUCHMANN

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus do Litoral Paulista, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros

SÃO VICENTE-SP

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista

S735t

Spanghero, Natalie Fernandes
Tafonomia do fóssil de baleia-azul (Balaenoptera musculus) do Holoceno (Iguape, São Paulo, Brasil)) / Natalie Fernandes Spanghero. -- São Vicente, 2021
66 p. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, São Vicente
Orientador: Francisco Sekiguchi Buchmann

1. Cetáceos. 2. Análise tafonômica. 3. Morfodinâmica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Índice

1. INTRODUÇÃO 1
1.1 Tafonomia 3
1.2 Sensoriamento remoto 4
2. METAS E OBJETIVOS 4
3. ÁREA DE ESTUDO 5
3.1 Localização 5
3.2 Morfodinâmica 6
3.3 Clima 8
4. MATERIAL E MÉTODOS 9
4.1 Procedência do fóssil 9
4.2 Tafonomia 12
4.3 Sensoriamento Remoto 13
4.3.1 Tomada de alta resolução 13
4.3.2 Tomada de baixa resolução 16
4.4 Granulometria 17
5. RESULTADOS 18
5.1 Características tafonômicas 18
5.2 Sensoriamento Remoto 22
5.3. Granulometria 28
6. DISCUSSÃO 29
6.1 História tafonômica 29
6.2 Dinâmica evolutiva recente 32
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 38
ANEXO I 49

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo, onde aflorou o fóssil de baleia-azul. Imagem de satélite obtida através do programa *ArcGIS Pro* e mapa base do satélite Sentinel-2 (USGS).....6
Figura 2 - Modelo de evolução sedimentar em 5 fases da planície da Juréia. Modificado de Martins (2019).....7
Figura 3 - Elementos ósseos da baleia-azul. A) escápula esquerda (PV-2012-01); B) disco intervertebral (PV-2012-02); C) bula timpânica esquerda (PV-2012-03); D) axis (PV-2012-04); E) rádio (PV-2012-05); F) costelas (PV-2012-06, PV-2012-07); G) processo espinhoso da vértebra (PV-2012-08); H) porção posterior do crânio (PV-2012-09). Modificado de Zurlo (2015).....10
Figura 4 - Plano de voo feito no programa *MapPilot* a uma altura de 184 metros, gerando um GSD de 5 cm/px e 134 fotos.....14
Figura 5 - Localização e quantidade de fotos feitas nos voos de drone. A área em azul tem uma maior quantidade de fotos, resultando numa maior confiabilidade.....15
Figura 6 - Ortofotomosaicos ajustados na área de estudo, referentes aos anos e 2019 e 2020.....15
Figura 7 - Parâmetros estatísticos de variação de linha de costa. A) NSM (Movimento líquido da linha de costa), EPR (Taxa de ponto final) e SCE (Distância máxima de mudança do litoral). B) LRR (Taxa de regressão linear). Modificado de Himmelstoss (2018).....17
Figura 8 - Fóssil de baleia-azul no depósito. A) Esqueleto na posição em que foi encontrado. B) Disposição de cada osso, indicando desarticulação parcial. C) O esqueleto estava soterrado paralelo à linha de costa com uma parte do crânio descoberta e embaixo de troncos caídos pela erosão da praia (Fotos: Buchmann).....18
Figura 9 - Nenhum dos ossos do fóssil de baleia-azul foi considerado fragmentado. 19
Figura 10 - Quebras identificadas nos ossos da baleia-azul. A) Disco intervertebral - oblíqua lisa, B) Vértebra - espiral lisa, C) Bula timpânica - oblíqua lisa, D) costela – longitudinal e transversal irregular (Fotos: Buchmann).....20
Figura 11 - Exemplos de indicadores de estágios de intemperismo de Behrensmeyer (1978). A) Lascas na vértebra (estágio 3); B) Occipital (estágio 2) (Fotos: Buchmann).....20
Figura 12 - Exemplo de fissura de grau 1 apontada no crânio da baleia-azul (Fotos: Buchmann).....21
Figura 13 – Corrosão observada nos ossos. A) Abrasão nas extremidades do crânio com exposição do tecido esponjoso, mesma área que estava exposta pela erosão recente. B) Exemplo de dissolução no processo espinhoso, conferindo um aspecto granulado (Fotos: Buchmann).....22
Figura 14 - Taxas de erosão e deposição para cada transecto observadas pelo método LRR na Praia do Leste no período de 1984-2020.....23
Figura 15 – Detalhe do comportamento do transecto 7 (centro) da Praia do Leste no período de 1984-2020.....24
Figura 16 - Taxas de erosão e deposição para cada transecto observadas pelo método LRR no pontal da Ilha Comprida no período de 1984-2020.....25
Figura 17 - Variação do transecto 11 do pontal da Ilha Comprida ao longo dos anos (1984-2019).....26
Figura 18 - Taxas de erosão e deposição para cada transecto observadas pelo método LRR no pontal da Praia da Jureia no período de 1984-2020.....27
Figura 19 – Comportamento observado no transecto 5 no pontal da Praia da Jureia com acresção em direção à Praia do Leste (1984-2019).....28
Figura 20 - Gráfico de frequência acumulada das amostras geradas pelo *Sysgran*.....29
Figura 21 – Influência da migração da desembocadura do rio Ribeira de Iguape (modificado de Martins, 2019) na deposição (Fase 4) e erosão (Fase 5) da baleia-azul (X) na Praia do Leste.....33
Figura 22 - Curva de variação do nível do mar (Angulo *et al*. 2006) com as idades do fóssil de baleia-azul (A) e dos sedimentos associados (B) da Praia do Leste (Iguape, SP).....33

Figura 23 - Modelo da história tafonômica do fóssil de baleia-azul (*Balaenoptera musculus*) na Praia do Leste (Iguape, SP) 34
Figura 24 - Efeito de molhe hidráulico visível nas desembocaduras de Icapara e do rio Ribeira de Iguape 35
Figura 25 - Comparação de imagens de satélite dos anos de 1985, 2001, 2010 e 2019, evidência de diminuição da erosão da Praia do Leste 36
Figura 28 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Praia do Leste (1984-2020) 49
Figura 29 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Ilha Comprida (1984-2019) 50
Figura 30 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a praia da Juréia (1984-2019) 51
Figura 31 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Praia do Leste (1984-2001) 52
Figura 32 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Ilha Comprida (1984-2001) 53
Figura 33 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para praia da Juréia (1984-2001) 54
Figura 34 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Praia do Leste (2001-2020) 55
Figura 35 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Ilha Comprida (2001-2020) 56
Figura 36 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para praia da Juréia (2001-2020) 57

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Sumarização dos dados de dinâmica da linha de costa da área de estudo (verde = acresção, vermelho = erosão).....28
Tabela 2 - Tabela de classificação dos grãos da baleia e do depósito adjacente gerada através do Sysgran.....29
Tabela 3 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros da Praia do Leste (1984-2020).....49
Tabela 4 -Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da Ilha Comprida (1984-2020).....50
Tabela 5 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da praia da Juréia (1984-2020).....51
Tabela 6 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros da Praia do Leste (1984-2001).....52
Tabela 7 -Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da Ilha Comprida (1984-2001).....53
Tabela 8 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da praia da Juréia (1984-2001).....54
Tabela 9 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros da Praia do Leste (2001-2020).....55
Tabela 10 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da Ilha Comprida (2001-2019).....56
Tabela 11 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da praia da Juréia (2001-2019).....57

Índice de Abreviações

SIG – Sistema de Informações Geográficas

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

LOE - Luminescência Oticamente Estimulada

C14 – Carbono 14

Ka – Milhares de anos

NRM – Nível Relativo do Mar

ATAS - Anticiclone Tropical do Atlântico Sul

APM - Anticiclone Polar Migratório

IUCN - *International Union for Conservation of Nature*

GSD – *Ground Sample Distance*

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

Resumo

Os registros de baleias-azuis (*Balaenoptera musculus*) são escassos no Brasil e os ossos fósseis estudados no presente trabalho são o primeiro registro fóssil dessa espécie no Brasil, coletados em 2012 na Praia do Leste (Iguape, SP) composta por cordões litorâneos e controlada por micromarés. Esses animais são mais comuns em ambiente pelágico, tornando-se mais raro se fossilizar em ambiente praial. Por se tratar de um exemplar excepcionalmente preservado, o objetivo desta pesquisa consiste em elucidar questões sobre a história tafonômica do fóssil e do ambiente deposicional durante o Holoceno. Através da análise da geomorfologia, das assinaturas tafonômicas e alterações macroscópicas nos elementos esqueletais foi observado o predomínio de marcas diagenéticas, e pelo baixo grau de desarticulação e posição dos ossos concluímos que a baleia encalhou morta em águas rasas (zona de arrebentação) há 1,9 ka anos durante progradação da linha de costa sendo soterrada rapidamente; seguida por erosão e nova progradação há 700 anos que causou o retrabalhamento parcial e novo soterramento; e recentemente afloramento por erosão. Imagens de satélite e fotografias de VANT foram usadas para observar as mudanças recentes na linha de costa, entre os anos de 1984 e 2001 havia progradação na Praia do Leste de 12,5 m/ano; e a partir dessa data entre 2001 e 2020 ocorre erosão, com média de 32 m/ano; em 2012 a erosão expõe o fóssil na praia do Leste, mostrando ciclos de erosão e progradação com tendência a erosão, com influência direta do rio Ribeira de Iguape.

Palavras-chave: cetáceos, análise tafonômica, morfodinâmica

Abstract

The records of blue whales (*Balaenoptera musculus*) are scarce in Brazil and the fossil bones studied in this work are the first fossil record of this species in Brazil, collected in 2012 in Praia do Leste (Iguape, SP) composed of coastal and coastal cords. controlled by microtides. These animals are more common in the open sea, making it rarer to fossilize in a beach environment. As it is an exceptionally preserved specimen, the objective of this research is to elucidate questions about the taphonomic history of the fossil and the depositional environment during the Holocene. Through the analysis of geomorphology, taphonomic signatures and macroscopic changes in skeletal elements, it was observed the predominance of diagenetic marks and the low degree of disarticulation and position of the bones, we concluded that the whale stranded dead in shallow water (surf zone) for 1.9 a thousand years during shoreline progradation being quickly buried; followed by erosion and reprogradation 700 years ago, which caused partial rework and reburial; and recently upwelling by erosion. Satellite images and UAV photographs were used to observe the recent changes in the coastline, between 1984 and 2001 there was a 12.5 m/year progradation in Praia do Leste; and from that date onwards, between 2001 and 2020, erosion occurs, with an average of 32 m/year; in 2012 erosion exposes the fossil on the Leste beach, showing erosion and progradation cycles, with direct influence from the Ribeira de Iguape river.

Keywords: cetaceans, taphonomic analysis, morphodynamics.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de populares com o público e com uma história evolutiva bem conhecida, pouco se conhece sobre a fossilização de cetáceos. Normalmente a morte ocorre em ambiente pelágico, consequentemente seu estudo direto é feito em raras oportunidades (Liebig, 2003). Muitas vezes, essa análise requer o uso de alta tecnologia como, por exemplo, Alisson (1991), que utilizou um submarino para descrever alterações nos restos de uma baleia em ambiente profundo.

Nas duas últimas décadas houve um aumento nos estudos de fósseis de cetáceos, como por exemplo Esperante (2008, 2009), Dominici (2009), Peters (2009), Pyenson (2014), Gariboldi (2015), Zurlo (2015), Bianucci (2016, 2019), Lambert *et al*. (2017), Buchmann *et al*. (2017) entre outros. Dominici *et al*. (2020) abordou questões sobre a qualidade do registro global de fósseis de cetáceos. A maioria dos estudos para esses animais está voltada para fatores que controlam a excepcionalidade de preservação ou efeitos ecológicos de carcaças no fundo marinho (Cuitiño *et al*., 2019). Alguns exemplos são: Smith & Baco (2003), Smith (2007) e Fujiwara (2007). Esqueletos de baleias articulados em depósitos de praias são raros, pois quando esse sepultamento ocorre é um evento geologicamente efêmero (Pyenson *et al*., 2014, Dominici *et al*., 2020). Estudos como Esperante (1999, 2002) tratam de baleias em águas rasas na Formação Pisco (Mioceno/Plioceno) abordando o grau de articulação e preservação antes do soterramento, presença e ausência de fauna associada aos ossos de baleia e as características dos sedimentos associados.

Os registros de baleias-azuis (*Balaenoptera musculus*) são escassos no Brasil (Rocha *et al*., 2019). Hinton (1925) reportou um possível avistamento na costa do Rio de Janeiro (22ºS) (Yochem & Leatherwood, 1985). A captura de dois indivíduos na estação baleeira de Costinha, Paraíba, constam em registros históricos em 1948 e 1965, além de um registro em Cabo Frio, Rio de Janeiro, em 1962 (Zerbini *et al*., 1997). Houve três avistamentos entre 1966 e 1981 (Paraíba) durante o período de caça comercial à baleia (Da Rocha, 1983). Os registros mais recentes da espécie no Brasil foram de uma fêmea encalhada viva na cidade de Chuí (32º07'S, 52º05'W), Estado do Rio Grande do Sul, em 29 de abril de 1992; e uma recente avistagem em 2011 (Nordeste *offshore*) (Dalla Rosa & Secchi, 1997; Rocha *et al*., 2019).

Nas praias da cidade de Santa Vitória do Palmar (Rio Grande do Sul) foram identificadas vértebras fósseis da família Balaenopteridae e Balaenidae, além de crânios de Franciscana

(*Pontoporia blainvillei*) (Cunha & Nunan, 1980; Cunha, 1982, 1985; Cunha *et al*., 1992; Buchmann & Rincón, 1997; Ribeiro *et al*., 1998; Buchmann *et al*., 2017).

A partir de artigos de jornais há registros informais de ossos de baleias no litoral do Estado de São Paulo. Em 1980, através de escavações para a instalação de um emissário de esgoto nas praias de Praia Grande, foram descobertos fragmentos de ossos de baleia (crânio, vértebras cervicais e caudais) e comparados a uma baleia-fin, mostrando ser de uma espécie menor, porém do gênero *Balaenoptera* (Mezzalira, 1982).

O registro descrito neste estudo é o primeiro da espécie no Estado de São Paulo e o primeiro registro paleontológico no Brasil, sugerindo que essa área provavelmente fez parte da distribuição de baleias-azuis (Zurlo, 2015; Buchmann *et al*., 2017). Os levantamentos de restos de mamíferos marinhos podem ser um meio confiável e econômico de estimar a composição da fauna viva (Liebig, 2003; Pyenson, 2011). O presente trabalho pode contribuir para maior conhecimento acerca da distribuição da espécie no sudoeste do Oceano Atlântico. Segundo Branch *et al*. (2007) discute que apesar de alguns estudos anteriores assumirem que as baleias-azuis estão distribuídas pelo hemisfério sul, presumindo que as lacunas na sua distribuição sejam pela falta de busca e esforço de captura, dados de navios japoneses mostram que apesar dos esforços os avistamentos foram amplamente ausentes nos Oceanos Pacífico Sul e Atlântico Sul.

Balaenoptera musculus são mais comuns em mar aberto e não são conhecidas por encalhar em grupo, tornando-se mais raro em ambiente praial e mesmo como fóssil (Liebig, 2003). Autores observaram que mesmo que a maioria das baleias afunde após a morte, a carcaça pode ser flutuada pelo gás, além do que algumas baleias (como baleias francas) podem flutuar logo após a morte e ser transportada por longas distâncias (Alisson *et al*., 1991; Bianucci, 1995; Esperante *et al*., 2002). Por tanto, duas hipóteses podem ser elaboradas para ela fossilizar na Praia do Leste: a) chegou acidentalmente e ficou encalhada no local, causando a morte do animal; ou b) morreu em mar aberto e a carcaça foi transportada por correntes até a água rasa. Surgem questões sobre quais foram os processos que permitiram a fossilização e excepcional preservação dos restos. Dessa forma, a proposta desta pesquisa consiste em elucidar essas questões acerca da história tafonômica do fóssil de baleia-azul encontrado na praia do Leste (Iguape - SP).

1.1 Tafonomia

A informações contidas no registro fóssil, como dados ecológicos e biológicos, podem indicar condições ambientais anteriores às atuais e evidências da evolução biológica do indivíduo (Behrensmeyer *et al.*, 2000). O termo "tafonomia" foi proposto por Efremov (1940) a fim de designar o estudo da transição dos restos orgânicos da biosfera para a litosfera, porém Behrensmeyer & Kidwell (1985), propuseram uma definição mais moderna, sendo o estudo dos processos de preservação e o modo como o fóssil foi afetado por eles, onde a bioestratinomia envolve os processos sedimentares até a fase de soterramento, e a diagênese aborda os processos físicos e químicos ocorridos após o soterramento e metamorfismo (Holz & Simões, 2002; Simões *et al*., 2010). Outros autores ainda incluem a fase de soerguimento tectônico e mesmo os métodos de coleta e preparação dos fósseis (Clark *et al*., 1967, *apud* Simões *et al*., 2010).

A utilização de material ósseo como origem de informação ecológica ganhou notoriedade com os trabalhos de Behrensmeyer (1975, 1978, 1991) que observou assinaturas ambientais características para vários aspectos da tafonomia e propôs um método de análise multivariada qualiquantitativa envolvendo vários parâmetros visuais. A descrição de feições tafonômicas macroscópicas normalmente é feita identificando as feições sedimentológicas (orientação em planta, por exemplo) e bioestratinômicas (articulação, fragmentação, abrasão, corrosão, dissolução, incrustação), em seguida há a codificação e quantificação de cada uma (Simões *et al*., 2010). O soterramento final é um passo decisivo para a preservação e formação do fóssil e, muitas vezes, está relacionado a eventos de grande magnitude, como tempestades (Behrensmeyer, 1978). Os estudos tafonômicos devem distinguir os mecanismos básicos de decomposição, a sequência em que ocorrem e as interações com o ambiente de deposição (Wuttke & Reisdorf, 2012). Apesar do avanço na área da tafonomia visto nos últimos anos, ainda nenhum protocolo metodológico emergiu para orientar as pesquisas na área costeira e/ou submersa, porém recentemente tem sido discutido novos protocolos (Lopes *et al*., 2008; Simões *et al*., 2010).

Embora muitos ambientes não tenham sido explorados amplamente, uma das ferramentas mais importantes para compreensão da história tafonômica de um fóssil é a reconstrução do contexto do soterramento, bem como fatores climáticos que controlaram a sedimentação. Fatores como temperatura, ondas, correntes e regime sedimentar são variáveis extrínsecas com impacto na tafonomia das baleias, demonstrando que o ambiente deposicional

e os processos têm controle sobre a preservação dos restos orgânicos (Behrensmeyer *et al.*, 2000; Wuttke & Reisdorf, 2012; Dominici *et al*., 2020).

1.2 Sensoriamento remoto

Pesquisas sobre mudanças na linha de costa vêm sendo feitas desde a segunda metade do século XX com uma variedade de métodos tais como: medições no terreno, comparação cartográfica, imagens de satélite e fotogrametria (Short & Trembanis, 2004).

O sensoriamento remoto e a fotogrametria têm sido usados para o monitoramento costeiro e se tornaram importantes soluções, principalmente por se tratar de uma solução mais econômica (Jun *et al.*, 2018; Nikolakopoulos *et al*., 2019; Huang & Zhao, 2020). Trabalhos como de Farias & Maia (2010), Souza *et al*. (2016) e Santos (2020) demonstram o uso de Sistema de Informações Geográficos (SIG) para esse fim. Recentemente, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm sido utilizados em alguns trabalhos como Cunliffe *et al*. (2019), Casella *et al*. (2020) e Monteiro *et al.* (2021).

Em estudos realizados em planícies costeiras arenosas com o auxílio de imagens de satélites e fotografias com VANTs, a linha de costa pode ser facilmente identificada visualmente pela diferença de umidade e tonalidade dos sedimentos (Bird, 2008). A análise multitemporal se mostra um método eficiente para adquirir informações acerca da história evolutiva desses ambientes, favorecendo a identificação e entendimento sobre a dinâmica natural e ambiental (Chu *et al*., 2006; Farias & Maia, 2010; Oliveira, 2020).

Os produtos gerados pela fotogrametria com VANTs podem ser usados como ferramenta para aquisição de dados para qualquer SIG e combinados com sucesso com outros dados de sensoriamento remoto (Redweik, 2007; Nikolakopoulos *et al*., 2019; Oliveira, 2020).

2. METAS E OBJETIVOS

A meta do presente trabalho foi investigar a origem e os mecanismos que atuaram na história tafonômica para elaborar o modelo tafonômico do fóssil de baleia-azul.

Para alcançar a meta proposta, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar e descrever alterações físico-químicas macroscópicas presentes nos elementos esqueletais.

2. Calcular as taxas de recuo da linha de costa recentes na Praia do Leste e dos pontais da Praia da Jureia e do pontal da Ilha Comprida através de imagens de satélite e fotografias aéreas obtidas com drones associadas a técnicas de geoprocessamento, a fim de entender a dinâmica da região.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

O fóssil de baleia-azul (*Balaenoptera musculus*) foi encontrado na Praia do Leste (coordenadas UTM 23J 255227 e 7269410), localizada no Município de Iguape, no litoral sul do Estado de São Paulo (Figura 1). Essa praia separa a desembocadura de Icapara, onde fica o pontal de Ilha Comprida e a foz do rio Ribeira de Iguape, com o pontal da Praia da Jureia. A datação por C14 nos ossos mostrou uma idade entre 1.9 ka anos ±40 (Beta337197) e 1.7 ka anos ±40 (Beta337198) (Zurlo, 2015).

A Praia do Leste faz parte da Planície Costeira de Cananéia-Iguape e é composta por cordões litorâneos paralelos entre si com cristas e cavas vegetadas e espaçadas por dezenas de metros (Tessler *et al*., 2004; Bentz, 2004; Martins, 2019). A datação por LOE nos cordões litorâneos mostrou uma idade entre 737 ± 64 e 693 ± 56 anos (Martins, 2019).

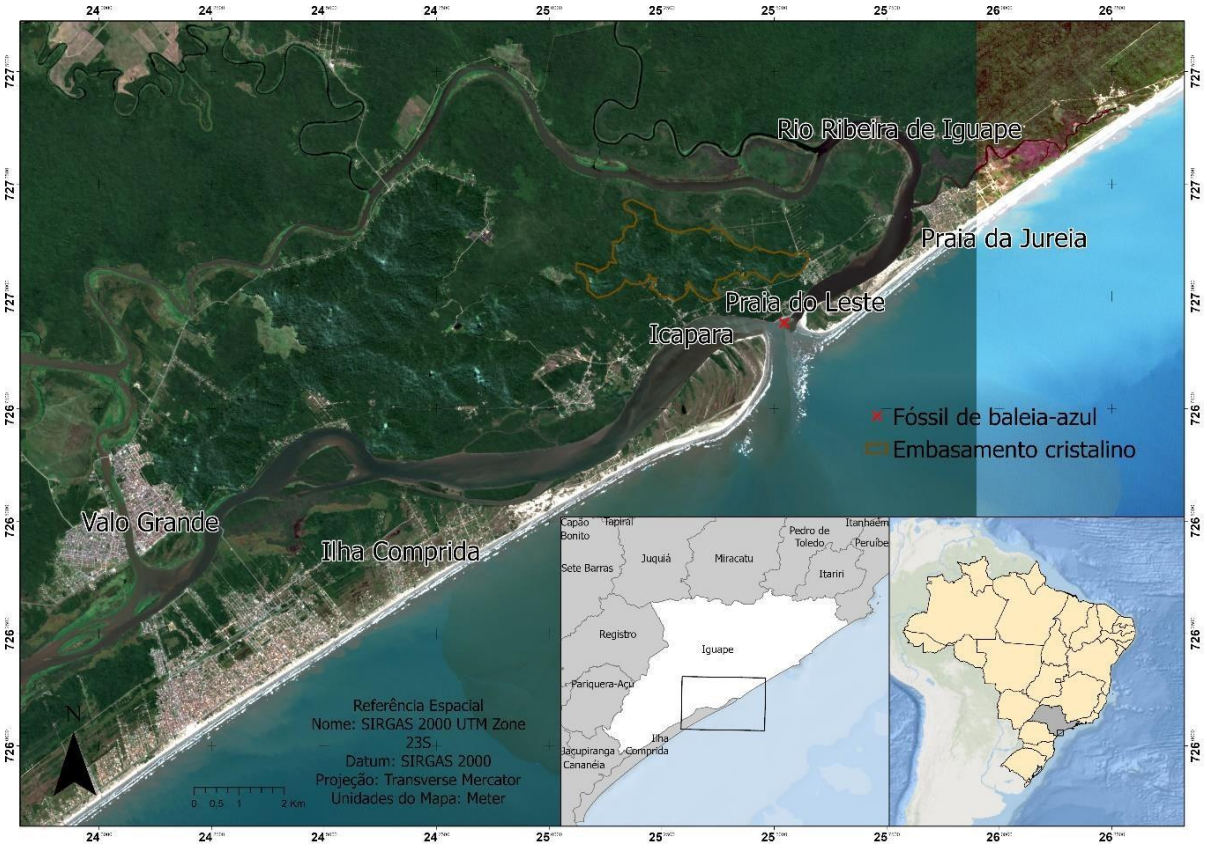

Figura 1 - Localização da área de estudo, onde aflorou o fóssil de baleia-azul. Imagem de satélite obtida através do programa *ArcGIS Pro* e mapa base do satélite Sentinel-2 (USGS).

3.2 Morfodinâmica

O modelo proposto por Martins (2019) subdivide a evolução Holocênica da Juréia em cinco fases (Figura 2). De acordo com a autora, a Praia do Leste se desenvolveu a partir da fase 4, que teve início há 3ka, onde o NRM era ligeiramente acima do atual. A sua formação está associada ao crescimento de um pontal na praia da Juréia e forçou a mudança da desembocadura do rio Ribeira de Iguape (atual rio Suámirim) para NE da anterior. Quando houve a formação completa desse pontal, houve o bloqueio da desembocadura, resultando na migração para a localização atual durante a fase 5.

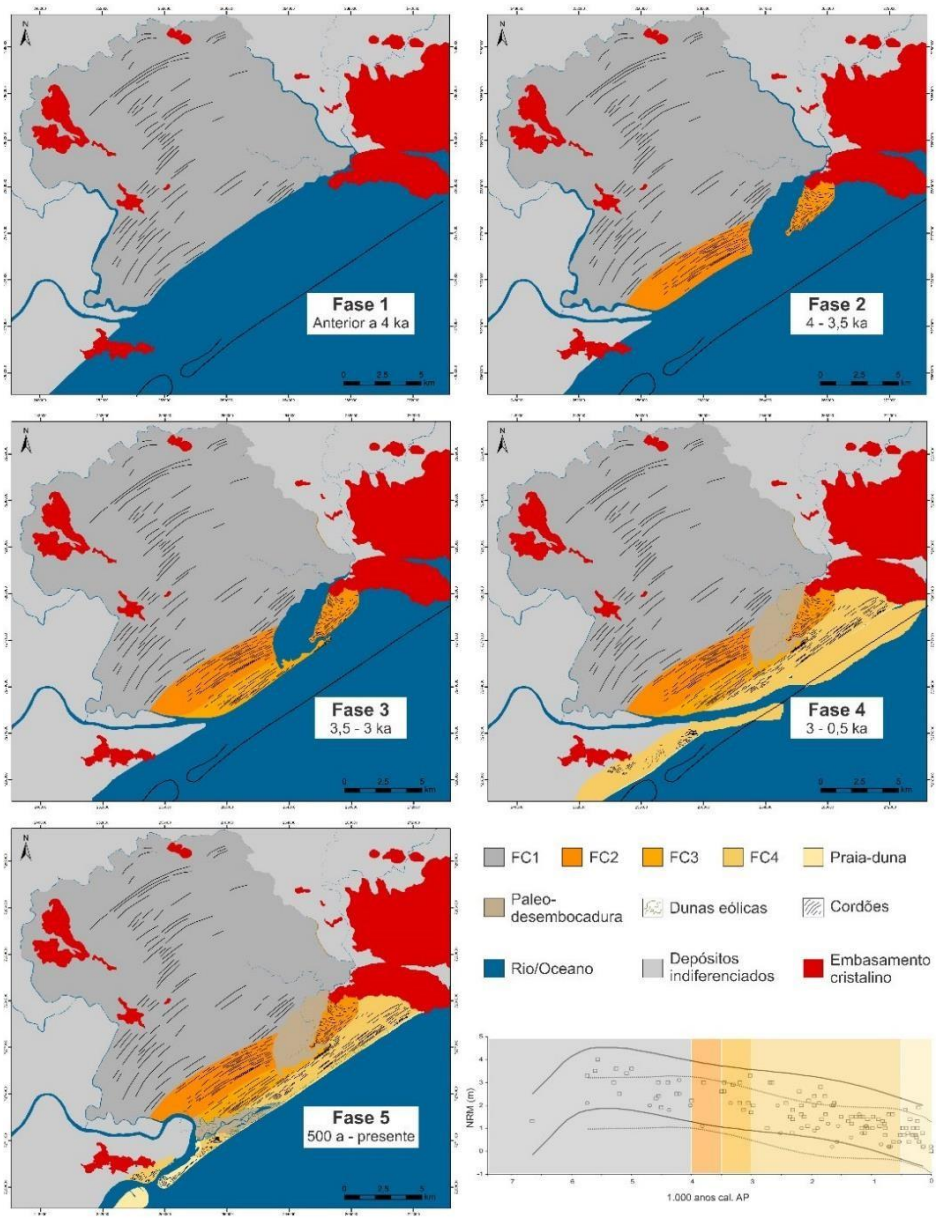

Figura 2 - Modelo de evolução sedimentar em 5 fases da planície da Juréia. Modificado de Martins (2019).

A presença de desembocaduras pode mudar os padrões de erosão e deposição em praias adjacentes, além de influenciar no abastecimento de sedimento da linha de costa no entorno, pois ela interrompe o transporte de sedimento ao longo da costa (Fitzgerald, 1988).

Devido a essa intensa morfodinâmica, muitos estudos buscam compreender as alterações morfológicas e os processos atuantes na Praia do Leste durante os últimos 200 anos. Destacam-se os trabalhos: Geobrás (1966), Tessler & Mahiques (1993), Bentz (2004), Tessler *et al.* (2004), Nascimento *et al*. (2008), Kawakubo *et al*. (2011), Aragon (2017), Alcantara-Carrió *et al*. (2017) e Martins (2019).

Entre outros fatores, um acontecimento que contribuiu para essa dinâmica recente foi a intervenção antrópica no rio Ribeira de Iguape (Tessler *et al.*, 2004; Nascimento *et al*., 2008). O canal do Valo Grande foi construído em 1827 a fim de facilitar o transporte de produtos entre o Porto do Ribeira e o Porto de Iguape no Mar Pequeno, tinha 4 metros de largura e atualmente aproximadamente 250 metros. (Geobrás, 1966; Lima & Oliveira, 2012). Em 1978 o desvio parcial pelo Valo Grande foi interrompido, mas em 1983 houve a sua reedição, permitida por um evento de *El Niño* e inundações (Alcantara-Carrió, 2017). Depois da implantação do canal, a desembocadura do rio Ribeira de Iguape apresentou uma evolução instável no canal principal e resultou em acumulação de sedimentos no Mar pequeno, que tem influência na barra de Icapara (Tessler *et al*., 2004).

3.3 Clima

A cidade de Iguape, bem como todo o litoral paulista, tem o clima classificado como subtropical úmido, com verões quentes e umidade relativa do ar maior que 80% (Kottek *et al*., 2006). Conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (2021), o mês mais quente é fevereiro, enquanto o mês mais frio é julho e o mês de maior pluviosidade é março.

A circulação atmosférica nessa região tem influência de dois sistemas: o Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS), responsável pelas correntes de N e NE (ventos alísios), geradoras de tempo estável, e o Anticiclone Polar Migratório (APM), de perturbação frontal, vindo de S e SE (Nimer, 1989; Sant'Anna Neto, 2005).

Seguindo este sistema de circulação, durante o inverno, as ondas são originadas do quadrante S e SE, ao passo que no verão, as ondas são originadas do quadrante N e NE (Tessler, 1988). O padrão de ondas influencia na deriva litorânea e segundo Souza (1997), que propôs um modelo de circulação de células de deriva para a região, na Praia do Leste, correntes no sentido SO atuam no verão e NE no inverno, com um ponto de divergência no centro. A resultante do transporte é para a direção NE, pois as ondas de frente fria geram maior energia, mas na desembocadura do rio Ribeira de Iguape ocorre a inversão local das correntes para SO (efeito molhe hidráulico) (Tessler, 1988; Tessler *et al.*, 2004; Giannini *et al*., 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Procedência do fóssil

Os ossos fósseis fazem parte do acervo do Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia (LEP) da UNESP, Campus do Litoral Paulista, São Vicente, SP. Em 2012, a equipe do LEP fez a retirada de nove ossos fósseis de baleia-azul da Praia do Leste em Iguape/SP (coordenadas 47,4187747°O 24,6702212°S). São eles: a escápula esquerda (PV-2012-01), disco intervertebral (PV-2012-02), a bula timpânica esquerda (PV-2012-03), axis (PV-2012-04), rádio (PV-2012-05), costelas (PV-2012-06, PV-2012-07), processo espinhoso da vértebra (PV-2012-08), e a porção posterior do crânio (PV-2012-09). As medidas do arco bizigomático sugerem um indivíduo juvenil de mais ou menos dez anos (Figura 3) (Zurlo, 2015; Buchmann *et al.*, 2017).

Figura 3 - Elementos ósseos da baleia-azul. A) escápula esquerda (PV-2012-01); B) disco intervertebral (PV-2012-02); C) bula timpânica esquerda (PV-2012-03); D) axis (PV-2012-04); E) rádio (PV-2012-05); F) costelas (PV-2012-06, PV-2012-07); G) processo espinhoso da vértebra (PV-2012-08); H) porção posterior do crânio (PV-2012-09). Modificado de Zurlo (2015).

A baleia-azul (*Balaenoptera musculus* Linnaeus, 1758) pertence a Ordem Cetartiodactyla e família Balaenopteridae, que é composta pelas baleias rorquais (portadoras de sulcos ventrais). Essa família é a mais diversa taxonômica e morfologicamente e tem como representantes a baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), baleia-de-bryde (*Balaenoptera edeni*), baleia-minke (*Balaenoptera acutorostrata*) e baleia-fin (*Balaenoptera physalus*) (Demére *et al*., 2005; Sears & Perrin, 2008; Jefferson *et al*., 2011).

Há quatro subespécies de baleias-azuis: baleia-azul-do-norte (*Balaenoptera musculus musculus*), baleia-azul-da-antártica ou verdadeira (*Balaenoptera musculus intermedia*), baleia-azul-do-índico (*Balaenoptera musculus indica*) e baleia-azul-pigméia (*Balaenoptera musculus brevicauda*) (Lodi & Borobia, 2013). A maturidade sexual acontece por volta de dez anos de idade, com um tamanho médio de 20-22 metros para machos e 21-24 metros para fêmeas, com exceção da pigmeia (Sears & Perrin, 2008).

A baleia-azul é atualmente o maior animal conhecido, podendo alcançar cerca de 30 metros (Cooke, 2019). É uma espécie cosmopolita, migrando para regiões polares e subpolares (alta produtividade primária e secundária) durante o período de alimentação (verão) e para regiões tropicais e subtropicais durante a época de reprodução (inverno). Apesar das evidências desse padrão migratório, ainda não há um padrão bem compreendido, pois, alguns indivíduos podem residir em ambientes de alta produtividade o ano todo (Rocha-Campos *et al*., 2011; Lodi & Borobia, 2013; Cooke, 2019). Estudos recentes evidenciam que as baleias-azuis evitam os giros centrais oligotróficos do Pacífico, Atlântico e Índico e habitam áreas onde a densidade de produtividade primária é alta e existem processos oceanográficos dinâmicos, tais como meandros frontais e ressurgência, áreas estas com alta densidade de Euphausiacea (*Krill*), que são quase que exclusivamente o alimento desses animais (Branch *et al*., 2007).

Atualmente consta como "em vias de extinção" na lista vermelha da IUCN de espécies ameaçadas, sendo o tamanho da população madura global entre 5.000 e 15.000 indivíduos (Cooke, 2019). A contribuição dominante para a redução da população global foi a caça predatória, com redução maciça da baleia-azul-antártica anteriormente muito grande. (Branch *et al*., 2007). Entre 1928 e 1972, calcula-se que houve uma redução de 239.000 para 360 indivíduos no Oceano Atlântico Sul (Branch *et al*., 2004; da Rocha, 1983 *apud* Branch *et al*., 2007).

Esse registro na Praia do Leste evidencia sua distribuição do passado, visto que é a primeiro exemplar encontrado no Estado de São Paulo e é um mistério o porquê de haver tão poucos registros de baleias azuis nesta região, apesar do intenso esforço de avistamento e baleia (Branch *et al*., 2007; Zurlo, 2015; Buchmann *et al*., 2017).

4.2 Tafonomia

Todos os elementos esqueletais da baleia-azul foram analisados quanto as assinaturas tafonômicas referentes como:

- Orientação: se trata da orientação azimutal dos ossos em planta e fornece dados sobre a dinâmica deposicional e sentido de fluxo das paleocorrentres (Holz & Simões, 2002).

- Desarticulação: é o processo que ocorre logo após a necrólise, apresenta uma sequência de desconexão dos ossos e variam conforme tamanho e condições ambientais. O esqueleto pode classificado em articulado, parcialmente articulado ou desarticulado (Holz & Simões, 2002).

- Quebra: Shipman (1981) descreve tipos gerais de fraturas que podem ser encontradas em ossos. Foram utilizados os parâmetros para quebras: completo (+95%), quebrado (+50%) e fragmentado (-50%). De acordo com o autor, os padrões de quebra mais comuns são: lisas, irregulares, colunares e em mosaico.

- Intemperismo: Behrensmeyer (1978) propôs uma escala de intemperismo em cinco estágios, para cada um é sugerido um tempo para o aparecimento das modificações. Estágio 0 (sem alteração), estágio 1 (craquelamento paralelo as fibras do osso), estágio 2 (aparecimento de lascas), estágio 3 (textura fibrosa de forma homogênea), estágio 4 (textura grosseiramente fibrosa e áspera), estágio 5 (aos pedaços). A autora coloca que essa análise envolve decisões qualitativas sobre o critério de classificação.

- Integridade física: degradação de colágeno de acordo com o clima e exposição (Behrensmeyer, 1991). Foram utilizados os parâmetros para fissura: estágio 0 (sem fissuras), estágio 1 (rachaduras superficiais) e estágio 2 (fissuras profundas, expõe a estrutura interna).

- Bioerosão: diversos processos corrosivos causados por agentes biológicos, tais como insetos, predadores/necrófagos, plantas ou humanos. O critério utilizado foi a presença ou ausência de marcas superficiais (Holz & Simões, 2002).

- Incrustação: envolve o recobrimento das partes duras esqueletais, tanto na parte interna quanto externa, por organismos epibiontes. Foi observado a presença ou ausência desses animais (Holz & Simões, 2002).

- Abrasão: se refere ao desgaste mecânico e confere aspecto polido com remoção da parte externa e exposição da parte esponjosa do osso (Holz & Simões, 2002). Foram consideradas: grau 0 (sem abrasão), grau 1 (até 50%), grau 2 (+50%).

- Dissolução: feição causada pelo desgaste químico, semelhante a abrasão, porém confere um aspecto granular (Holz & Simões, 2002). Foram considerados: grau 0 (sem corrosão), grau 1 (até 50%), grau 2 (+50%).

- Coloração: ossos que têm variação de cor acima dos 50% (marrom) ou escurecimento por elementos químicos presentes no sedimento (Behrensmeyer, 1991; Fernandez-Jalvo & Andrews, 2016)

Segundo Holz & Simões (2002) é necessário analisar o máximo de dados *in situ*, dessa forma foram priorizadas as informações extraídas através das fotos da coleta, visto que a preservação dos elementos ósseos pode ter sido alterada durante a retirada, transporte e armazenamento.

4.3 Sensoriamento Remoto

4.3.1 Tomada de alta resolução

Para o levantamento fotogramétrico, um plano de voo (Figura 4) foi feito no programa *MapPilot* de forma que ocorra a sobreposição longitudinal (70%) e lateral (60%) para garantir a conexão das fotos entre as faixas de voo (Loch & Lapolli, 1989; Almeida & Oliveira, 2010). Nesta etapa é determinada a altura de voo, que define o GSD (tamanho do pixel no terreno). Para cálculo de áreas e georreferenciamento é necessário um GSD de 5 a 10 cm, quanto menor, melhor a qualidade da imagem (Horus, 2018). Não foram utilizados pontos de controle, por tanto é possível o aparecimento de pequenos erros intrínsecos ao posicionamento GNSS (Sopchaki, 2018).

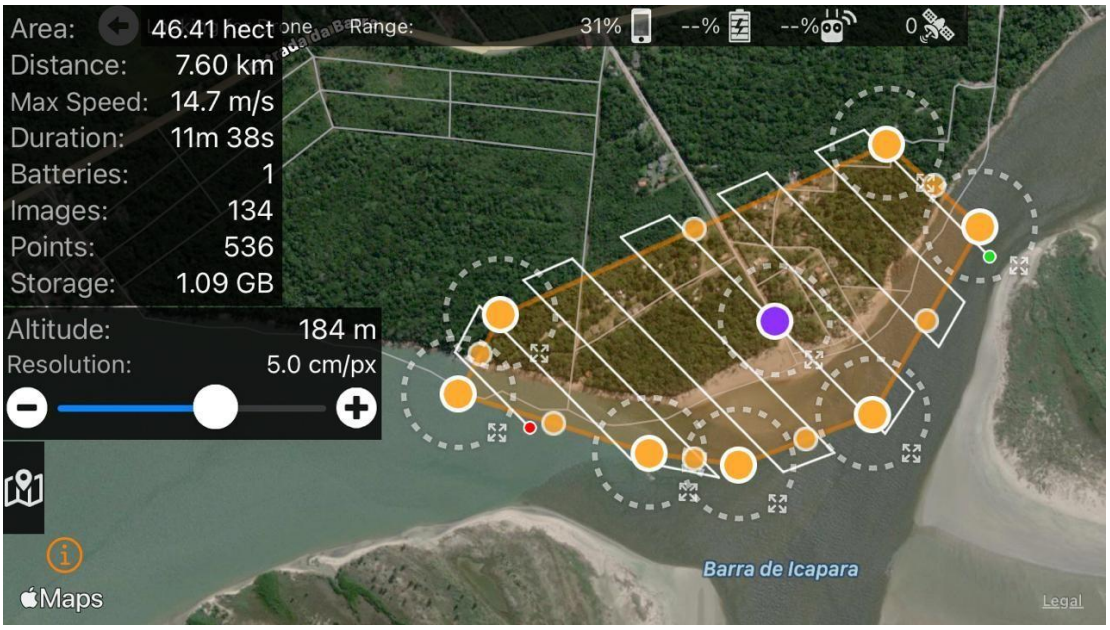

Figura 4 - Plano de voo feito no programa *MapPilot* a uma altura de 184 metros, gerando um GSD de 5 cm/px e 134 fotos.

Para a realização desse trabalho foi utilizado um drone do tipo quadricóptero da marca *DJI*, modelo *Phantom 4*, e um drone modelo *Spark*. As fotos foram feitas na posição perpendicular para análise quantitativa (medições da linha de costa) e inclinadas (oblíquas) para análise qualitativa e os voos foram realizados buscando o ângulo solar favorável e maré baixa. Em cada um dos voos de drone foi gerada uma média de 80 fotos para a sobreposição de 80% por 60%. Obtivemos um GSD de 8.17 cm/pixel, cobrindo uma área de 0,637km² e se enquadrando dentro dos padrões. O erro máximo foi de 5 metros, valor este que foi corrigido com o georreferenciamento no programa *ArcGIS Pro*. A figura 5 mostra a localização e quantidade de câmeras e a figura 6 mostra os ortofotomosaicos ajustados na área de estudo.

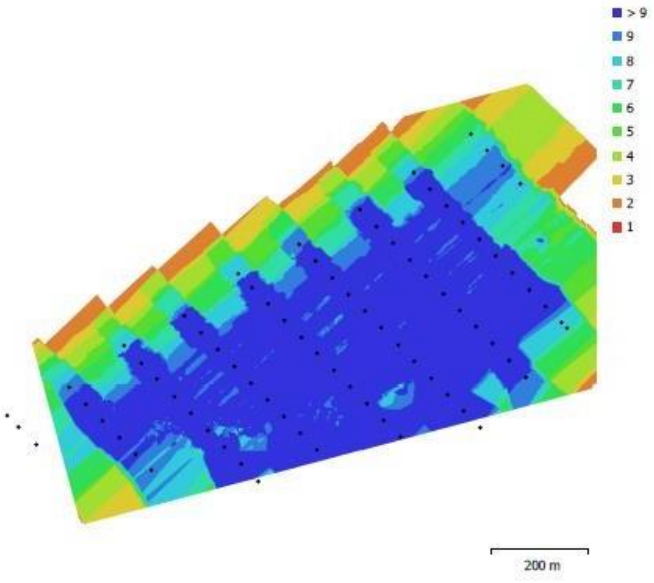

Figura 5 - Localização e quantidade de fotos feitas nos voos de drone. A área em azul tem uma maior quantidade de fotos, resultando numa maior confiabilidade.

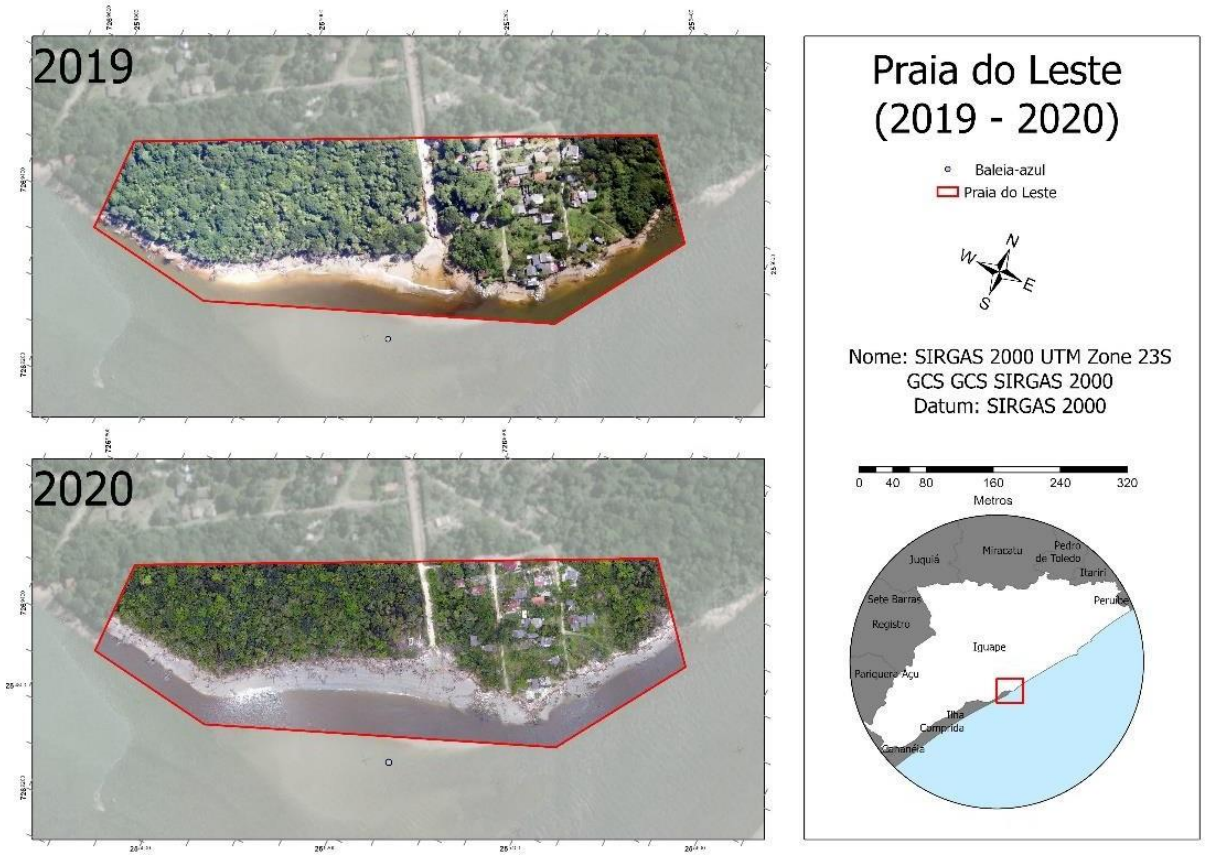

Figura 6 - Ortofotomosaicos ajustados na área de estudo, referentes aos anos e 2019 e 2020.

Depois de adquiridas, todo o processamento das imagens é feito de forma automática no programa *Agisoft Metashape Professional*, onde o primeiro estágio é o alinhamento das fotografias para a obtenção de uma nuvem esparsa de pontos. O segundo estágio consiste na identificação de pontos homólogos nas imagens sobrepostas, organizando o mosaico de modo que seja formada uma nuvem densa de pontos georreferenciada. Por último são geradas ortoimagens, sem distorções geométricas (Agisoft Metashape, 2021).

4.3.2 Tomada de baixa resolução

Imagens de satélite georreferenciadas da área de trabalho foram adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas (INPE) disponíveis no site (www.inpe.com.br) do ano de 2012 até 2019. Devido aos satélites apresentarem diferentes séries temporais, as imagens de 2012 a 2013 são do Resourcesat 1, 2014 do Resourcesat 2 e de 2015 a 2019 do Landsat 8. As imagens selecionadas foram as com menor cobertura de nuvens possível.

As linhas de costa foram delimitadas através de um processo de vetorização feita no programa *ArcGIS Pro* com base nas informações das fotos aéreas, imagens de satélite e o produto da análise de 1984-2012 feita segundo Zurlo (2015) e Buchmann *et al*. (2017). O pacote *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) calcula estatísticas de taxa de mudança para uma série temporal de dados vetoriais da linha costeira e cada vetor de linha costeira representa uma posição específica no tempo e deve ser atribuída uma data na tabela de atributos de classes de recursos da linha costeira. Os transectos de medição que são lançados pelo DSAS a partir da linha de base (feições em forma de linha criadas paralelamente ao padrão da costa para a área de interesse) cruzam os vetores da linha costeira. As distâncias da linha de base a cada ponto de interseção ao longo de um transecto são usadas para calcular as estatísticas selecionadas. As taxas de mudança calculadas são tão confiáveis quanto os dados de entrada da linha costeira (Himmelstoss *et al*., 2018). Alguns trabalhos recentes vêm utilizando esse método como Baig *et al*., 2020; Mutaquin (2017) e Farias *et al*. (2010).

O DSAS foi utilizado para a comparação da série temporal entre transectos espaçados por 100 metros (Praia do Leste) e 200 metros (pontais da Jureia e Ilha Comprida). Foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos: SCE (*Shoreline Change Envelope* ou Distância máxima de mudança do litoral), que é sempre positiva e considera quando a linha de costa esteve mais próxima e mais distante da linha de base; NSM (*Net Shoreline Movement* ou Movimento líquido da linha de costa), indica a variação nos extremos temporais; EPR (*End*

Point Rate ou Taxa de ponto final), gera uma média de variação anual, porém considera apenas as linhas de costa mais antiga e mais recente; e LRR (*Linear Regression Rate* ou Taxa de regressão linear), esta calcula uma variação de metros por ano considerando todos os anos, é a inclinação da linha e é mais confiável, pois todos os dados são usados, independentemente das mudanças na tendência ou precisão, o método é puramente computacional e o cálculo é baseado em conceitos estatísticos aceitos (Figura 7). Através desse é gerado uma taxa complementar (R^2, resíduo quadrado), que indica se a linha de tendência está de acordo com os dados, quando é próxima de 100% há uma tendência bem definida (Himmelstoss *et al.*, 2018).

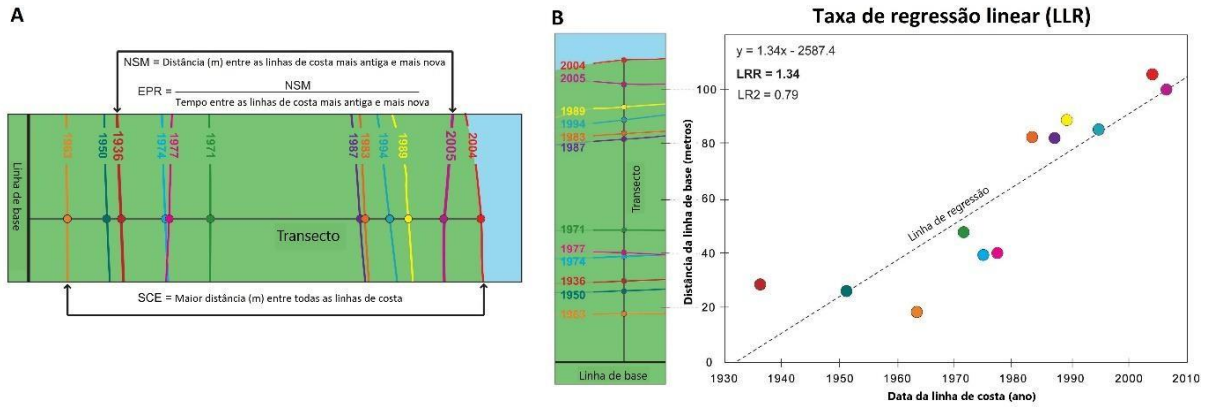

Figura 7 - Parâmetros estatísticos de variação de linha de costa. A) NSM (Movimento líquido da linha de costa), EPR (Taxa de ponto final) e SCE (Distância máxima de mudança do litoral). B) LRR (Taxa de regressão linear). Modificado de Himmelstoss (2018).

4.4 Granulometria

A análise granulométrica de sedimentos dentro dos ossos e na praia adjacente tem a finalidade de complementar os dados de tafonomia. As atividades granulométricas foram executadas no Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia (LEP); e as microfotografias feitas no Laboratório de Aquicultura Sustentável (LAS) da UNESP/CLP, em São Vicente com uma câmera da marca *Zeiss* modelo *AxioCam ERc5s* acoplada à lupa da marca *Stereo* modelo *Discovery V8*.

Durante a escavação do fóssil foi recolhido o sedimento do depósito adjacente e, com o auxílio de uma microrretífica marca *Black & Decker*, foi retirado sedimento de dentro dos ossos da baleia (occipital). Primeiramente, foi realizado o peneiramento das duas amostras de massas iniciais de 2,59g (baleia) e 34,89g (depósito) em intervalos de 0,25 ϕ. O material retido em cada peneira foi recolhido e pesado em balança analítica marca *Bel Engennering*® modelo *M214Ai*.

Os resultados foram convertidos em valores de estatísticas granulométricas (diâmetro médio, desvio-padrão, assimetria e curtose), pelo método dos momentos de Pearson através do programa Sistemas de Análises Granulométricas (*SysGran*). Com a finalidade de classificar as amostras nominalmente foram utilizados os resultados de diâmetro médio a partir da escala de Wentworth (1922).

5. RESULTADOS

5.1 Características tafonômicas

O fóssil de baleia-azul foi encontrado em posição ventral, recoberto por troncos e escombros urbanos, consequência da erosão na Praia do Leste, quase completamente enterrado sentido paralelo à linha de costa. O alinhamento geral do esqueleto, ossos dos membros e costelas do lado esquerdo indica que a carcaça estava parcialmente articulada até o sepultamento, pois os ossos se encontram próximo à posição de vida. Observa-se a alteração da coloração original dos ossos para a cor marrom (Figura 8). O restante do fóssil permaneceu no local por questão da dificuldade de logística para retirada.

Figura 8 - Fóssil de baleia-azul no depósito. A) Esqueleto na posição em que foi encontrado. B) Disposição de cada osso, indicando desarticulação parcial. C) O esqueleto estava soterrado paralelo à linha de costa com uma parte do crânio descoberta e embaixo de troncos caídos pela erosão da praia (Fotos: Buchmann).

Dos nove ossos analisados, quatro estavam completos (escápula, rádio, processo espinhoso, uma das costelas), cinco quebrados (bula, vértebra, disco intervertebral, costela e o occipital) e nenhum foi considerado fragmentado quando encontrados no depósito (Figura 9).

Figura 9 - Nenhum dos ossos do fóssil de baleia-azul foi considerado fragmentado.

Tanto a escápula quanto o processo espinhoso e o crânio sofreram fraturas durante a retirada e o transporte, por tanto estas fraturas não foram consideradas. A bula timpânica e disco intervertebral apresentaram quebras oblíquas lisa, a vértebra uma quebra em espiral lisa, uma das costelas apresentou uma quebra de forma longitudinal e outra transversal irregular (Figura 10).

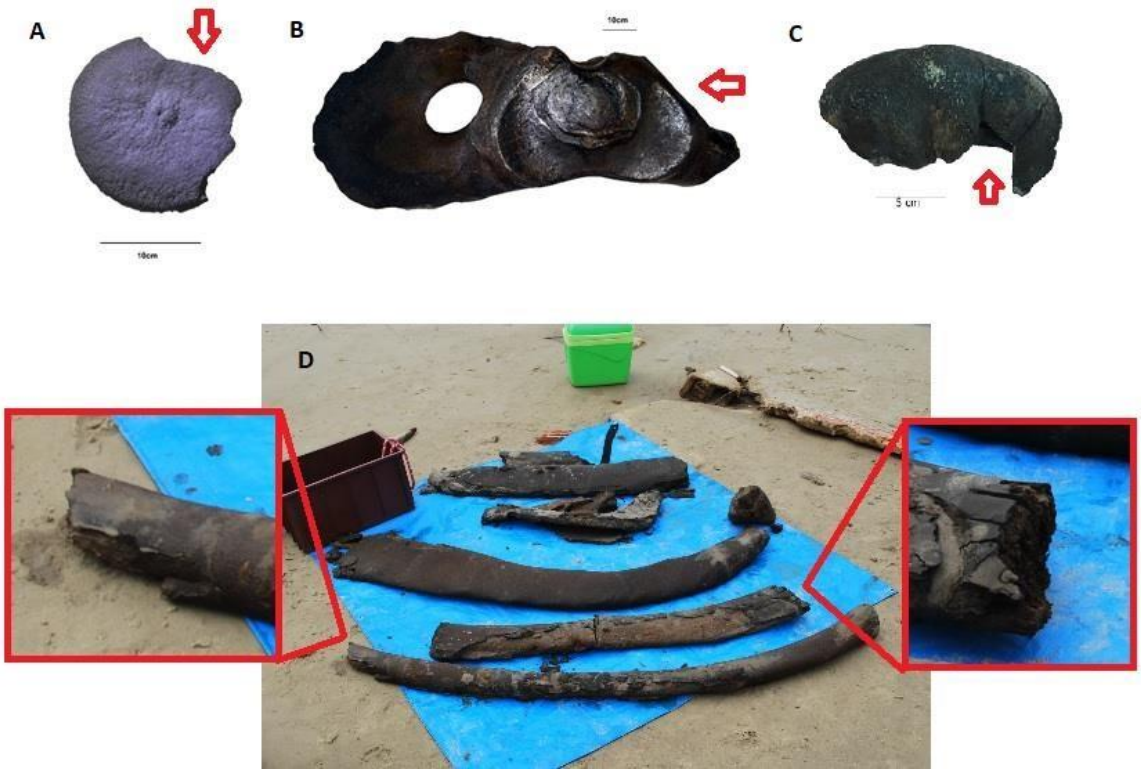

Figura 10 - Quebras identificadas nos ossos da baleia-azul. A) Disco intervertebral - oblíqua lisa, B) Vértebra - espiral lisa, C) Bula timpânica - oblíqua lisa, D) costela – longitudinal e transversal irregular (Fotos: Buchmann).

Os elementos osteológicos se encontravam de uma forma geral bem preservados. Foram observados indicadores de estágios 1 e 2 dentro da escala de intemperismo de Behrensmeyer (1978) (Figura 11).

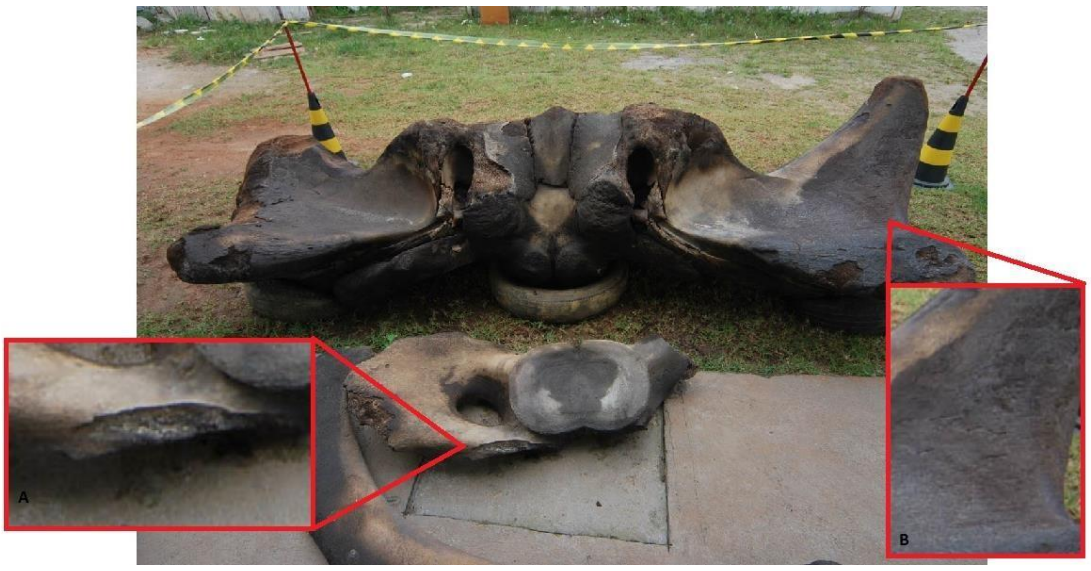

Figura 11 - Exemplos de indicadores de estágios de intemperismo de Behrensmeyer (1978). A) Lascas na vértebra (estágio 3); B) Occipital (estágio 2) (Fotos: Buchmann).

De acordo com os parâmetros estabelecidos para integridade física todos os ossos foram identificados como dentro do estágio 1, com marcas superficiais. A figura 8 mostra algumas dessas fissuras.

Figura 12 - Exemplo de fissura de grau 1 apontada no crânio da baleia-azul (Fotos: Buchmann).

Não foram encontradas marcas superficiais que possam ser causadas por agentes biogênicos, tais como marcas de dentes ou perfurações por insetos. Não foram observados organismos incrustantes como cirripédios (cracas) e moluscos (ostras). Tão pouco foram vistas marcas de ação antrópica, por exemplo cortes de ferramentas.

Quanto às marcas por desgaste, a abrasão é vista somente no occipital, onde há exposição do tecido esponjoso nas extremidades que estavam expostas pela erosão costeira e foi considerada de grau 1. O restante dos elementos se enquadram no grau 0 e todos têm grau mínimo de dissolução (Figura 13).

Figura 13 – Corrosão observada nos ossos. A) Abrasão nas extremidades do crânio com exposição do tecido esponjoso, mesma área que estava exposta pela erosão recente. B) Exemplo de dissolução no processo espinhoso, conferindo um aspecto granulado (Fotos: Buchmann).

5.2 Sensoriamento Remoto

Através de uma análise feita dos anos de 1984 a 2013, Zurlo (2015) concluiu que há dois períodos distintos de dinâmica na Praia do Leste, em que até 2001 houve acresção de 600 metros (85m/ano) e dessa data em diante, a erosão da linha de costa em 950 metros (75m/ano), porém esse resultado só considerou o aumento longitudinal. Dessa forma, essa análise foi continuada nessa pesquisa e as análises foram feitas para melhor entender esse processo. Para melhor visualização, as tabelas completas e os gráficos gerados nesse item se encontram no Anexo I.

Um total de 10 transectos foram criados pelo DSAS na Praia do Leste para os anos de 1984 a 2020. Os transectos do lado da desembocadura de Icapara foram os que tiveram maior erosão (-20,68m), confirmando essa tendência pela R^2 (Figura 14). Porém, o centro da praia (transecto 7) foi a área em que houve uma maior variação nesse período (Figura 15). Nessa figura é possível observar a acresção até o ano de 2001 e posterior erosão como observado por

Zurlo (2015), chegando a diminuir 61 metros no seu máximo, porém a velocidade vem diminuindo com o passar dos anos.

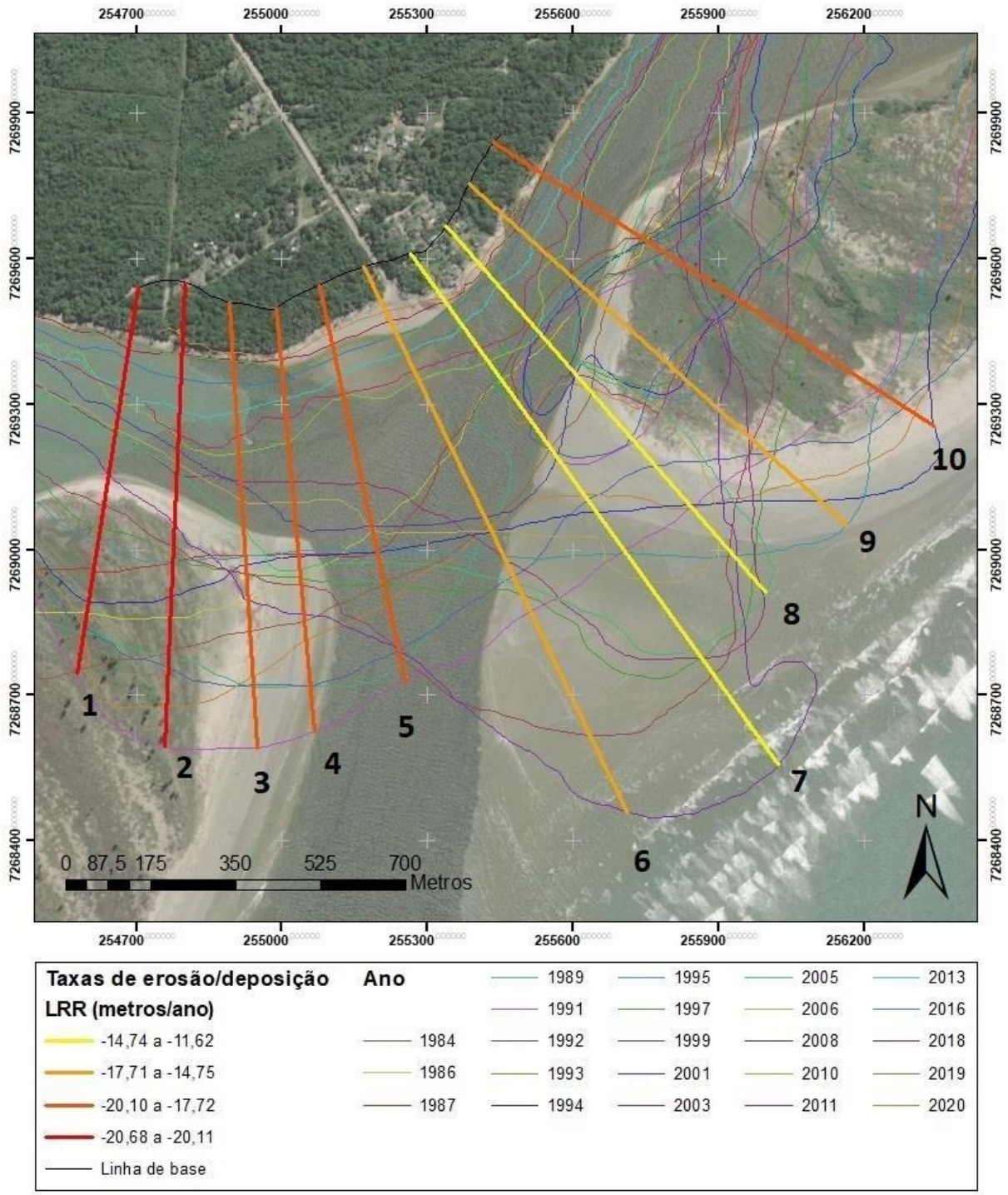

Figura 14 - Taxas de erosão e deposição para cada transecto observadas pelo método LRR na Praia do Leste no período de 1984-2020.

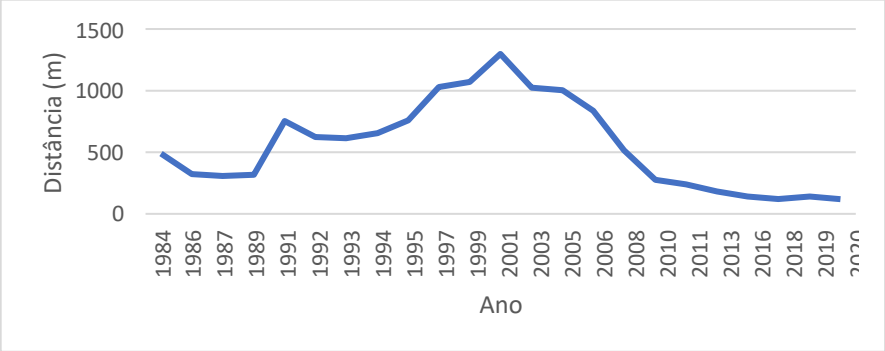

Figura 15 – Detalhe do comportamento do transecto 7 (centro) da Praia do Leste no período de 1984-2020.

Para o pontal da Ilha Comprida, foram gerados 19 transectos no período proposto (Figura 16). Houve acresção contínua no sentido da Praia do Leste, com máxima de 29 metros (transecto 11) e erosão nas laterais (Figura 17).

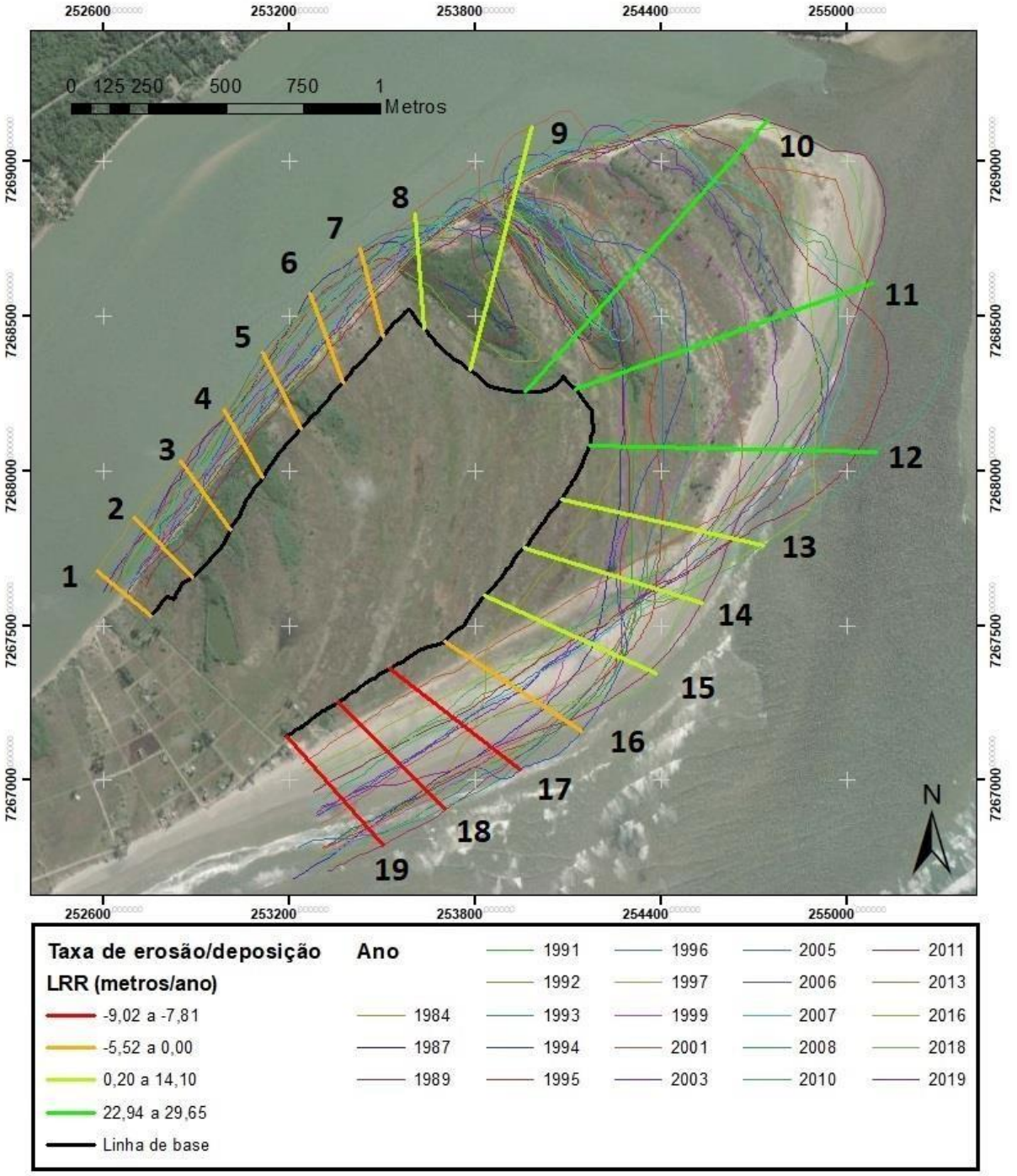

Figura 16 - Taxas de erosão e deposição para cada transecto observadas pelo método LRR no pontal da Ilha Comprida no período de 1984-2020.

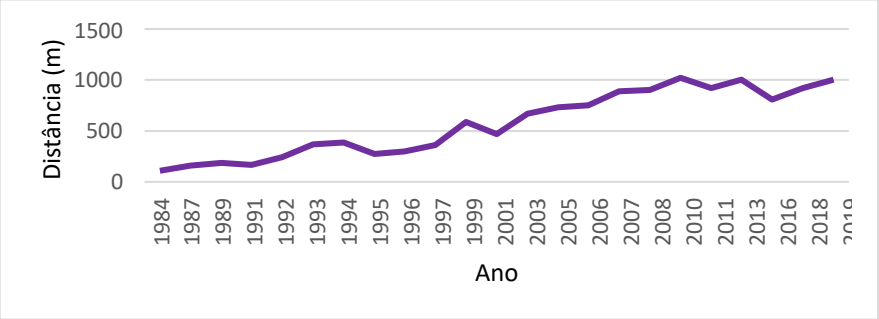

Figura 17 - Variação do transecto 11 do pontal da Ilha Comprida ao longo dos anos (1984-2019).

No pontal da Praia da Jureia foram criados 14 transectos, que podem ser visualizados na Figura 18. Foi possível observar acresção em direção à Praia do Leste e afinamento das laterais, com um período de erosão até 2001. A acresção máxima foi de 59 metros no transecto 5 (Figura 19).

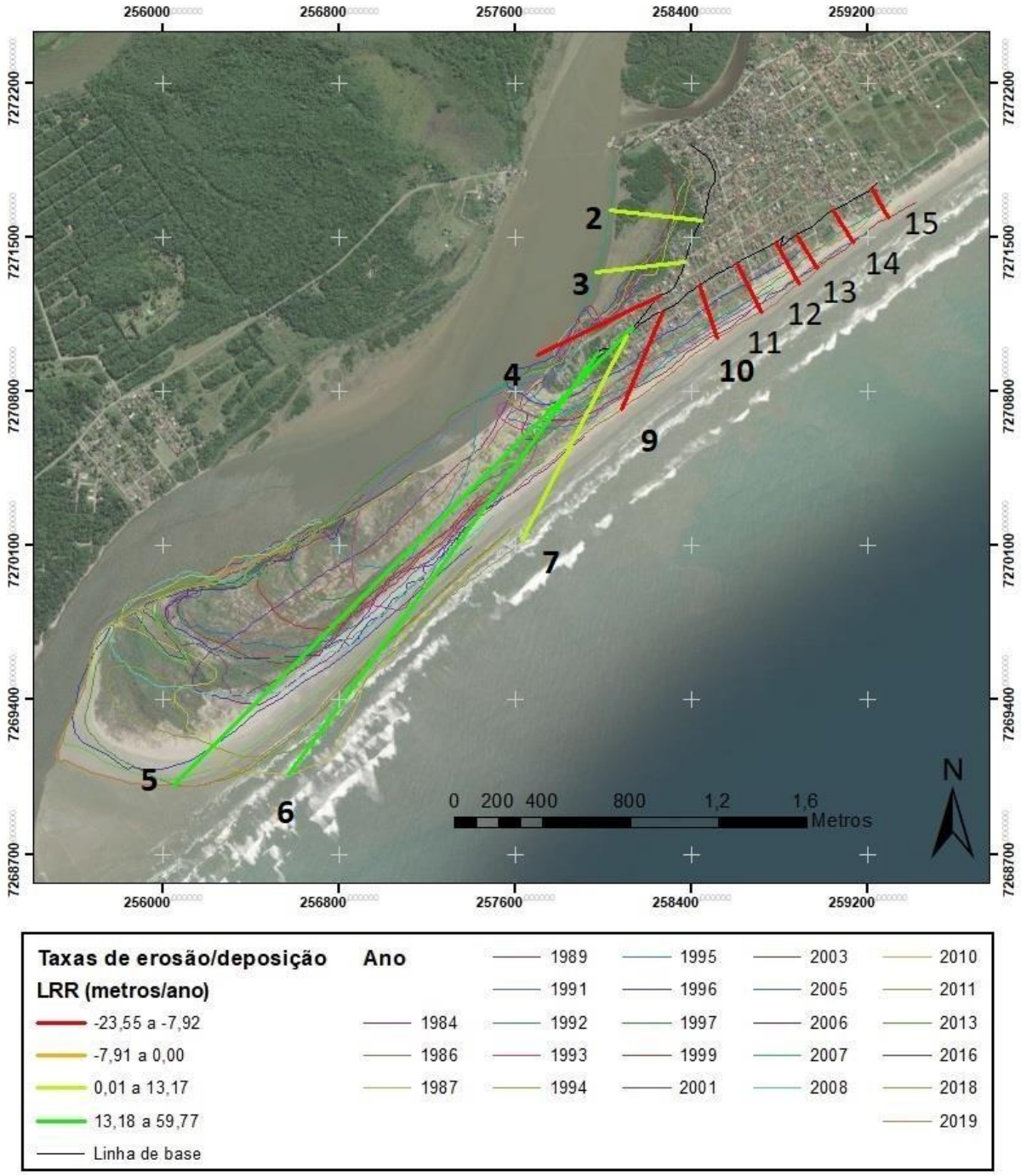

Figura 18 - Taxas de erosão e deposição para cada transecto observadas pelo método LRR no pontal da Praia da Jureia no período de 1984-2020.

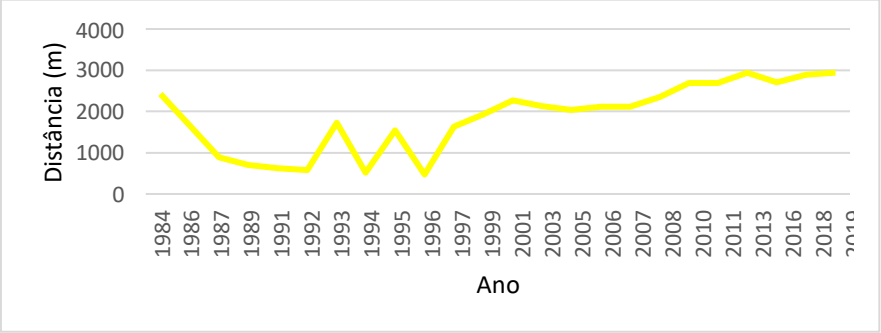

Figura 19 – Comportamento observado no transecto 5 no pontal da Praia da Jureia com acresção em direção à Praia do Leste (1984-2019).

A tabela 1 sumariza os resultados de sensoriamento remoto. De uma forma geral, podemos observar que o comportamento do pontal da Jureia acompanha o da Praia do Leste, enquanto o pontal da Ilha Comprida sempre tem variação positiva.

Tabela 1 - Sumarização dos dados de dinâmica da linha de costa da área de estudo (verde = acresção, vermelho = erosão).

1984-2020			
	Leste	**Juréia**	**Ilha Comprida**
Média (m)	-471,83	45,15	183,71
Metros/ano	-16,92	2,96	2,64
1984-2001			
	Leste	**Juréia**	**Ilha Comprida**
Média (m)	100,77	-100,13	135,93
Metros/ano	12,50	-8,09	5,84
2001-2020			
	Leste	**Juréia**	**Ilha Comprida**
Média (m)	-649,25	228,86	86,90
Metros/ano	-32,47	12,07	3,15

5.3. Granulometria

Os sedimentos dentro dos ossos da baleia-azul são compostos por areia fina com diâmetro médio de 2,917 ϕ, muito bem selecionado (desvio padrão de 0,428), assimetria negativa e curva mesocúrtica.

Os sedimentos do depósito adjacente também são compostos por areia fina, diminuindo o diâmetro médio de 2,585 ϕ, muito bem selecionado (desvio padrão de 0,4237), assimetria quase simétrica e curva platicúrtica.

A tabela gerada pelo programa SysGran se encontra abaixo (Tabela 2), bem como o gráfico de frequência acumulada (Figura 20).

Tabela 2 - Tabela de classificação dos grãos da baleia e do depósito adjacente gerada através do Sysgran.

	Média	**Classificação**	**Seleção**	**Classificação**	**Assimetria**	**Classificação**	**Curtose**	**Classificação**
Baleia	2,917	Areia fina	0,428	Muito bem selecionado	-0,879	Negativa	2,621	Mesocúrtica
Praia	2,585	Areia fina	0,4237	Muito bem selecionado	-0,3383	Aproximadamente simétrica	1,822	Platicúrtica

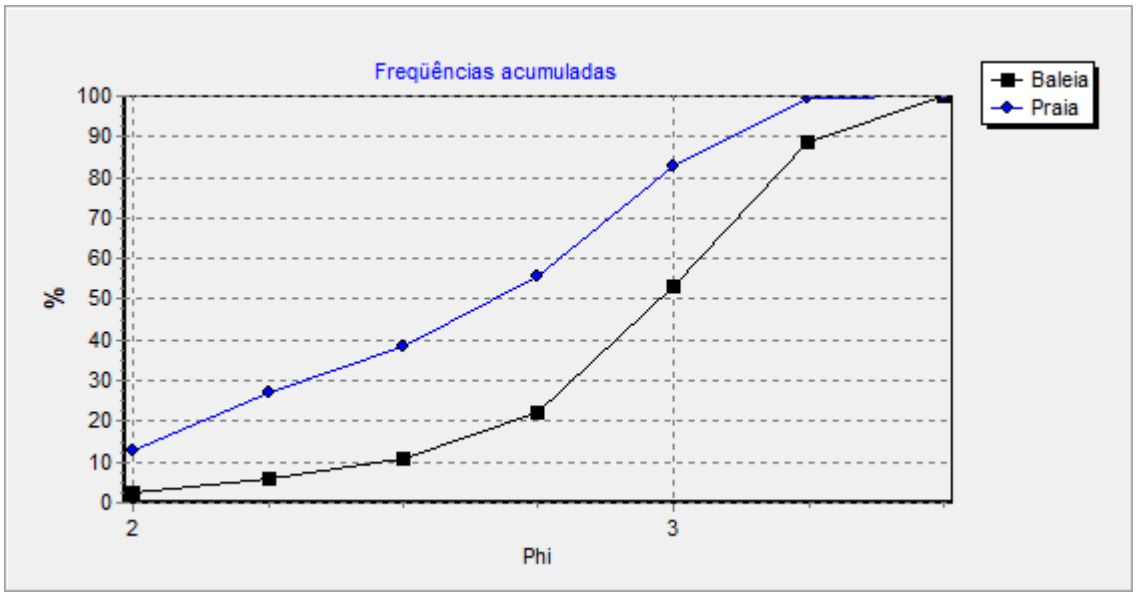

Figura 20 - Gráfico de frequência acumulada das amostras geradas pelo Sysgran.

6. DISCUSSÃO

6.1 História tafonômica

Os restos de um organismo podem ser comparados com sedimentos, pois podem sofrer os mesmos processos de erosão, transporte e deposição e estão relacionados com a energia do ambiente (Seilacher, 1970 *apud* Holz & Simões, 2002). Os processos têm uma sequência

normal: reorientação e transporte, desarticulação, decomposição, fragmentação e quebra e corrosão (abrasão mecânica e corrosão geoquímica) (Brett & Baird, 1986).

O fóssil da Praia do Leste está de forma geral bem preservado quanto à degradação óssea, dessa forma podemos sugerir um soterramento rápido, pois segundo Schafer (1972), a primeira quebra do tecido externo de uma carcaça no mar deve ocorrer dentro de uma semana a um mês. Fato que é corroborado pela ausência de marcas de bioerosão, indicativas de que o osso ficou pouco tempo exposto para que houvesse colonização de organismos (Holz & Simões, 2002). Esse baixo número de marcas aponta para períodos relativamente curtos de tempo entre a morte da baleia e o sepultamento da carcaça. As feições de dissolução provavelmente são devidas à percolação de água doce através do sedimento, bem como a coloração amarronzada dos ossos, produto do óxido de ferro do lençol freático. Essas características evidenciam um longo período de soterramento. A degradação óssea pela exposição recente é improvável porque todos os ossos estavam totalmente enterrados no depósito, exceto pela superfície do occipital, que causou a abrasão nessa área. O enterro, principalmente na areia, protege os ossos do intemperismo da superfície e da saturação da água (Liebig *et al*., 2007). Desse modo, as marcas diagenéticas restantes provavelmente se devem à erosão anterior, sugerida por Zurlo (2015) e Martins (2019).

A abrasão é a principal feição observada em águas rasas, principalmente feita por areia grossa e mal selecionada, os ossos são resistentes a elas a não ser quando há uma pré-fossilização (pela elasticidade e menor densidade do osso fresco), sendo um indicador de energia e transporte (Simões *et al*., 2010). Em ambientes de litoral essa assinatura é associada à subida e descida de marés (Dantas, 2017). A feição de dissolução está relacionada com águas intersticiais, de organismos ou subterrâneas e superficiais (Simões *et al*., 2010).

As partes moles se desarticulam primeiro e dependem de fatores como o clima (Simões *et al*., 2010). Toots (1965) propôs uma sequência de desarticulação para vertebrados: 1) crânio; 2) mandíbula; 3) cinturas pélvica e escapular; 4) membros em ossos isolados; 5) costelas; 6) coluna vertebral, porém no caso de vertebrados aquáticos é diferente, pois o baixo grau de desarticulação pode não estar ligado com pouco transporte (Bertoni-Machado, 2008). No caso das baleias rorquais, devido ao seu habitat *offshore*, a maioria afunda abaixo da quebra da plataforma (>200 m) e normalmente não voltam à superfície pela alta pressão da água, porém quando essa deposição acontece em ambientes costeiros e acima de 50-100 metros, tendem a

inflar por gases de decomposição e refluírem (carcaça d'água) se não sofrerem rápido soterramento (Alisson *et al*., 1991; Smith, 2015). Quando esses gases preenchem a cavidade abdominal, as baleias tendem a girar, colocando o lado ventral (mais leve) para cima (Shaefer, 1972 *apud* Liebig, 2003, Esperante, 2005).

Segundo Hills (1980), carcaças d'água se desarticulam em um período máximo de semanas a meses e o destino de um animal nessas condições depende de fatores como condições ambientais e tamanho, o crânio geralmente é primeira parte perdida (Esperante, 2005; Danise & Dominici, 2014). Objetos flutuantes têm influência de ondas, correntes de superfície e ventos, que atuam através da espiral de Ekman (Häussermann *et al*., 2017).

Nessa pesquisa, a posição ventral da baleia associada à disposição dos ossos, que apesar de desconectados têm aparente associação anatômica, sugere que provavelmente a morte da baleia em ambiente raso, e o rápido transporte do mar aberto para a praia pode ter evitado a desarticulação antes do encalhe. O fato de que havia mais ossos no local corroboram com essa hipótese. Essa carcaça pode ter sido transportada para a costa durante o outono quando os ventos predominantes são de NE ou no inverno durante tempestades com ventos de SE, que são os padrões de migração mais aceitos, em que as baleias vêm para regiões tropicais e subtropicais nesses períodos.

A *priori*, os restos esqueletais de vertebrados são resistentes a fragmentação, porém quando transportados a longas distâncias, por ação de ondas ou durante eventos de alta energia, como tempestades, apresentam evidentes sinais desses processos (Behrensmeyer, 1975). Quando há pré-fossilização e os ossos são retrabalhados por transporte e erosão, eles se tornam mais propensos a quebras e desgaste, pois perdem a elasticidade. (Behrensmeyer, 1975; Lopes *et al*., 2008; Holz & Simões, 2010). De acordo com Shipman (1981), os padrões de quebra mais comuns são: lisas, irregulares, colunares e em mosaico. Quebras secas (quando não há mais elasticidade, possivelmente pós-soterramento) costumam ser transversais, oblíquas e longitudinais, ao passo que padrões colunares e espirais são quebras frescas (pré-soterramento). As quebras observadas no fóssil apresentam padrões majoritariamente de período pós-soterramento.

A identificação do desgaste ósseo pode ser complicada em fósseis, pois as marcas podem se confundir com as de pós-soterramento (Behrensmeyer, 2012). Os estudos tafonômicos de degradação óssea são completamente baseados em ambiente terrestre (Alisson

et al., 1991). Os estágios de Behrensmeyer (1978) para integridade física são usados para estimar o tempo decorrido desde a morte, porém essa pesquisa foi realizada em local semi-árido, com intensa luz UV e flutuação de temperatura, causando características como descamação e fissuras, que são os componentes principais dessa classificação. É importante destacar que existem três diferenças de ambientes aquáticos: na água ossos menores são enterrados primeiro (mais preservados), rachaduras de flutuação de temperatura não existem nos ossos submersos e o potencial de preservação é menor, mas quando a morte ocorre em ambiente praial, há maior intemperismo (Alisson *et al*., 1991). Além disso, processos destrutivos ocorridos na exumação do fóssil podem sobrepor os traços de modificação óssea original (Behrensmeyer, 2012).

6.2 Dinâmica evolutiva recente

Mudanças na linha de costa dependem de fatores como mudança no NRM ou no aporte sedimentar (Gianinni *et al*., 2005). Durante o Holoceno o NRM teve seu máximo transgressivo há 5.7ka no litoral sudeste do Brasil, chegando de 2 a 3,5 metros e desde então vem em um suave declínio (Angulo *et al*., 2006). Há 2ka com a estabilização da linha de costa, a taxa de progradação é menor, o que propicia o desenvolvimento de dunas eólicas, formadas pela maior influência do vento nesse período, bem como aumento e intensidade de frentes frias durante a Pequena Idade do Gelo (Bentz, 2004; Gianinni *et al*., 2007; Martins, 2019). A presença de sedimentos no interior da baleia-azul pode ser explicada pela lixiviação acontecendo nessa mudança de padrão deposicional, confirmada pela presença de grãos com assimetria negativa e curva mesocúrtica, característicos de ambientes eólicos (Pye & Tsoar, 2009). Dessa forma, é possível sugerir que o soterramento ocorreu por ação eólica e o próprio tamanho da baleia poderia atuar como uma armadilha de sedimentos.

A diferença nos sedimentos dentro da baleia e nos sedimentos no depósito adjacente corrobora com a hipótese de que o encalhe da baleia-azul se deu no contexto da fase 4 do modelo proposto por Martins (2019) e na fase 5 ocorreu um evento erosivo seguido de progradação com novo soterramento. Ao mesmo tempo ocorria o meandramento da desembocadura do rio Ribeira de Iguape, confirmado pela presença de um paleocanal do rio Suá Mirim na praia da Juréia (Figura 21).

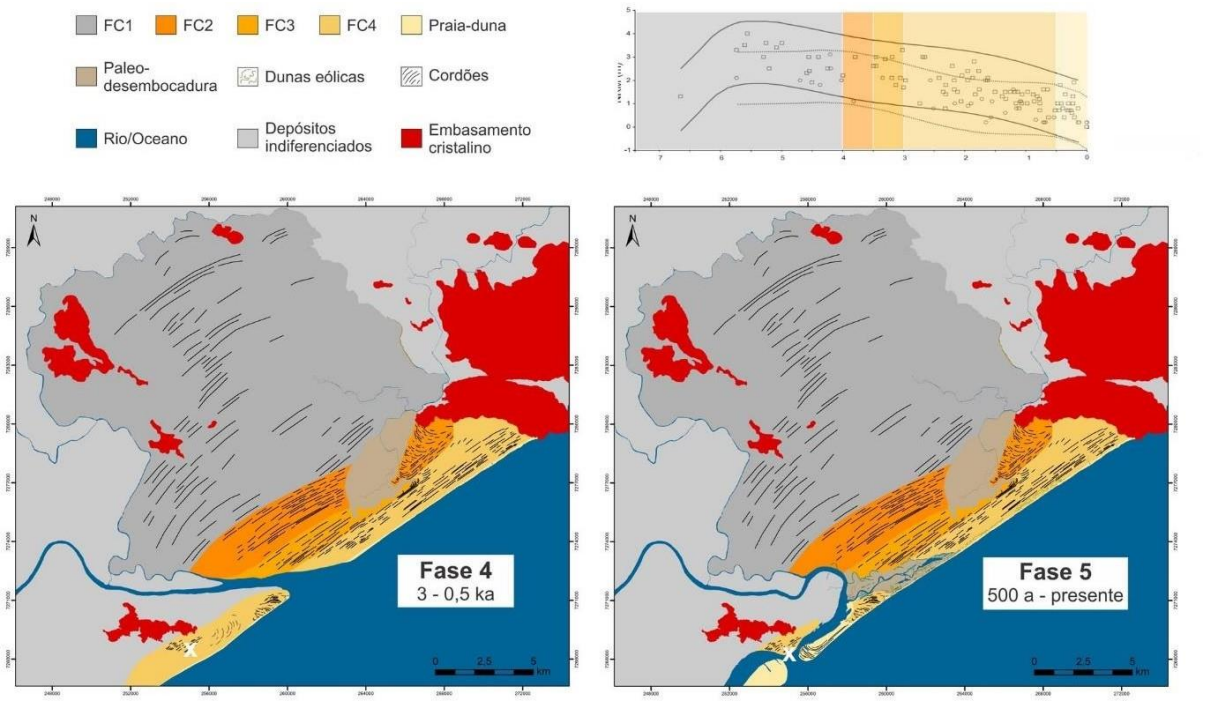

Figura 21 – Influência da migração da desembocadura do rio Ribeira de Iguape (modificado de Martins, 2019) na deposição (Fase 4) e erosão (Fase 5) da baleia-azul (X) na Praia do Leste.

Após o evento erosivo de 0.7ka essa deposição e leve descida do NRM continuou, onde houve o soterramento final. A atual subida do NRM nos últimos 100 anos (França, 2000) gera a retração da linha de costa, evidenciada na erosão que acontece nos dias de hoje (Figura 22).

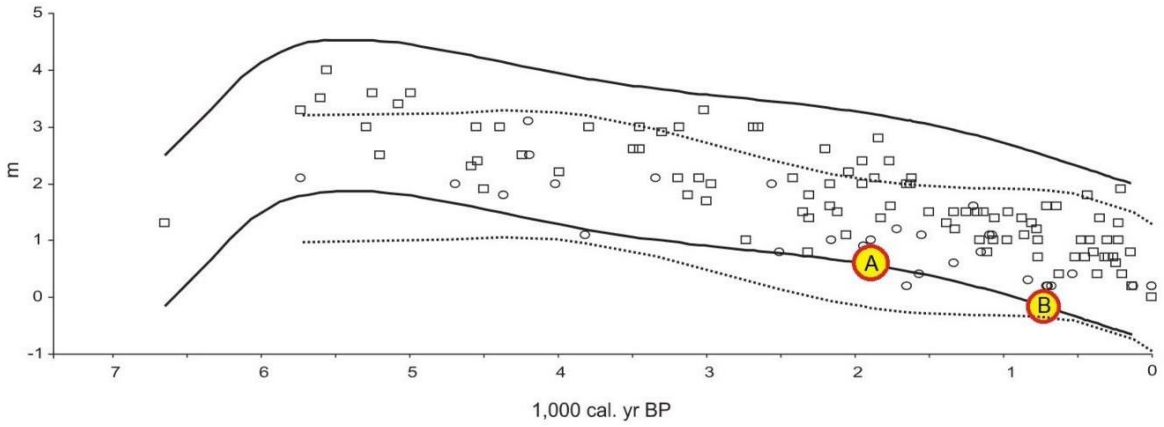

Figura 22 - Curva de variação do nível do mar (Angulo et al. 2006) com as idades do fóssil de baleia-azul (A) e dos sedimentos associados (B) da Praia do Leste (Iguape, SP).

Dado essa dinâmica evolutiva, juntamente com os dados de tafonomia, podemos inserir a baleia nesse contexto através do seguinte modelo:

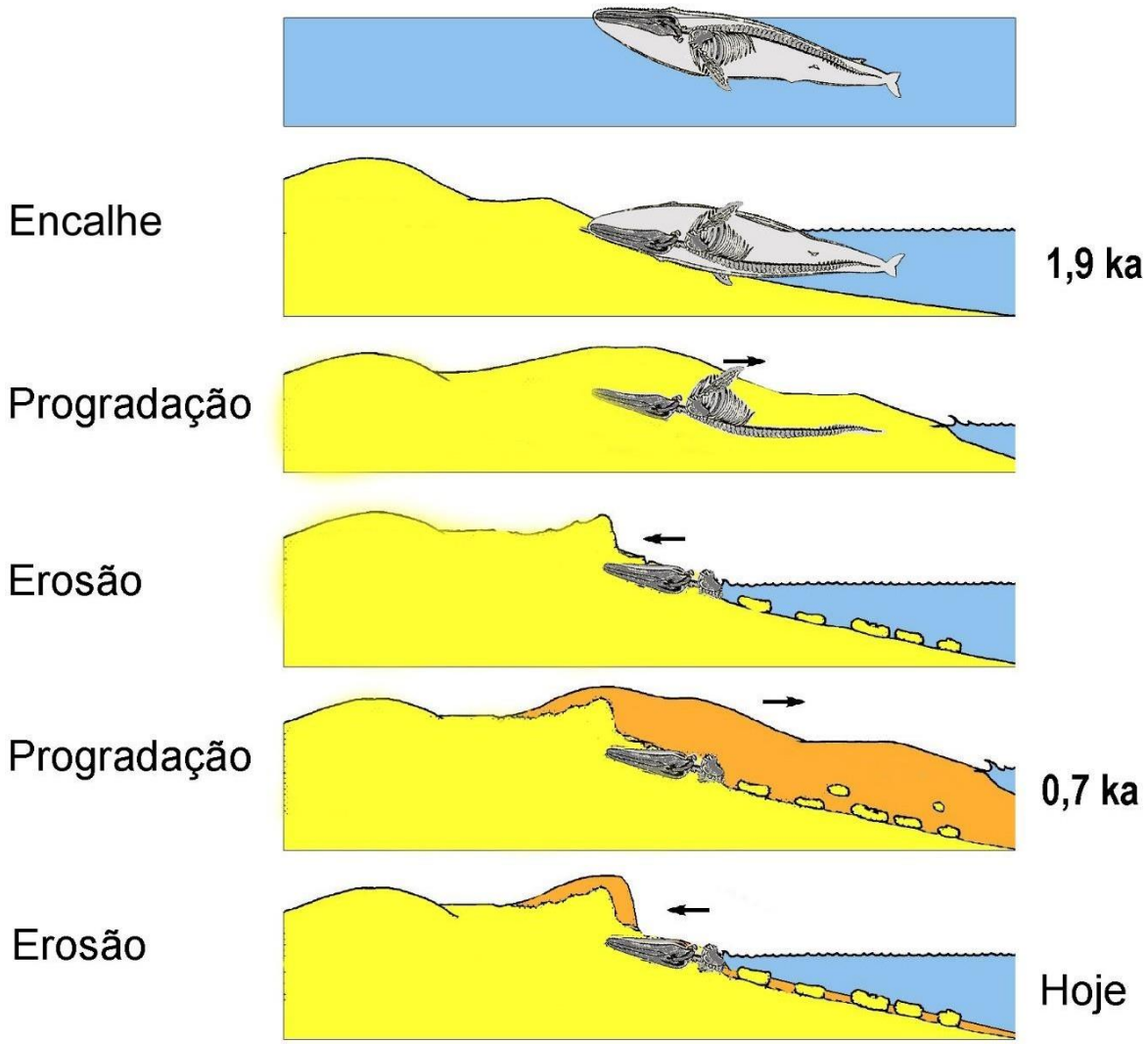

Figura 23 - Modelo da história tafonômica do fóssil de baleia-azul (*Balaenoptera musculus*) na Praia do Leste (Iguape, SP)

Na presença de desembocaduras, quando o fluxo do estuário é forte o suficiente para bloquear a deriva litorânea (efeito de molhe hidráulico) ocorre acúmulo de sedimentos a barlamar (sentido da corrente) e déficit a sotamar, que pode ocasionar na migração da desembocadura para sotamar (Dominguez *et al*., 1983). Esse acúmulo de sedimentos a barlamar acaba por forçar a vazão no sentido sotamar e a posterior erosão a barlamar, esse processo

fornece sedimentos para a formação de pontais arenosos, obstruindo parcialmente a desembocadura e, dessa forma, uma menor descarga fluvial resulta em erosão, pois a deriva teria maior influência (Dominguez *et al*., 1983). Um evento de *El Niño* em 1997 aumentou a descarga fluvial dele e impediu o desenvolvimento da praia (Guedes *et al*., 2011; Alcantara-Carrió *et al*., 2017). Portanto, esse efeito é visível, onde as ondas unidas à vazão do rio Ribeira de Iguape atuam como molhe, impedindo o transporte sedimentar para NE e permitindo a formação dos pontais (Bentz, 2004; Martins, 2019) (Figura 24). Atualmente o pontal da Ilha Comprida cresce sentido à deriva litorânea ao passo que o pontal da Jureia cresce no sentido oposto, consequência do molhe hidráulico, que inverte o sentido da deriva (Tessler & Mahiques, 1993; Aragon, 2017).

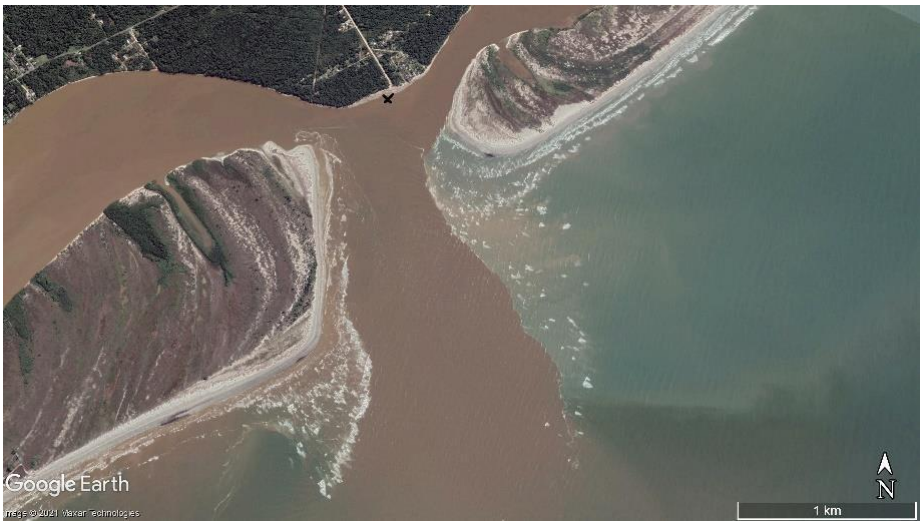

Figura 24 - Efeito de molhe hidráulico visível nas desembocaduras de Icapara e do rio Ribeira de Iguape.

O relatório da Geobrás (1966) analisou um período de 83 anos (1882-1965), registrando nesse período uma erosão da Praia do Leste de aproximadamente 32m/ano, crescimento de 35m/ano do pontal da Ilha Comprida e acresção até 1953 em 65m/ano, rompimento do pontal e posterior aumento de 50m/ano da Jureia. Alcantara-Carrió *et al*. (2017) observou a dinâmica mais recente (1985-2015), chegando a um resultado de erosão de 10m/ano na Praia do Leste. Kawakubo *et al*. (2011) utilizou-se de imagens de satélite de 1986 a 2007 e chegou a um valor de 30m/ano e 17m/ano para os pontais da Ilha Comprida e Jureia respectivamente e -18m/ano para o Leste.

Nessa pesquisa, para todo o período analisado, a mudança na sedimentação da Praia do Leste foi de -17 m/ano, resultado que se aproxima dos trabalhos anteriores. Porém, nos números

obtidos para os pontais, a divergência provavelmente se deve ao método de análise, visto que foi considerado a variação em todos os sentidos das feições, não somente o aumento longitudinal.

A partir dos resultados da análise de dinâmica costeira é possível observar que enquanto o pontal da Ilha Comprida cresce em todos os períodos, o pontal da Jureia sempre acompanha a dinâmica oposta da Praia do Leste, confirmando a influência da desembocadura como molhe, formando ciclos de erosão/progradação recente. Desse modo, a erosão que permitiu o afloramento do fóssil vem acontecendo de 2001 até hoje, porém em menor velocidade (Figura 27).

Figura 25 - Comparação de imagens de satélite dos anos de 1985, 2001, 2010 e 2019, evidência de diminuição da erosão da Praia do Leste.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fóssil de baleia-azul encontrado na Praia do Leste apresenta poucas marcas bioestratinômicas, mostrando preservação, podendo ser observadas modificações majoritariamente diagenéticas. A partir da integração dos resultados é possível chegar à seguinte história tafonômica do fóssil de baleia-azul:

- A baleia provavelmente morreu em águas rasas, refluiu e foi transportada por ação de correntes para o local onde hoje é a Praia do Leste com nível do mar 1m mais alto que o atual, encalhando há 1,9 ka.
- Esse evento ocorreu durante o outono ou inverno, sob ação de ondas de tempestade. Depois ocorreu o soterramento rápido, durante progradação da linha de costa que permitiu a preservação antes da total desarticulação.
- Um evento erosivo há 0.7 ka, expôs o do esqueleto e foi seguido de nova progradação em um ambiente saturado de água doce.
- O afloramento do fóssil foi resultado de erosão recente, que vem acontecendo até hoje.
- A erosão recente acontece por resultado da intensa morfodinâmica, contando com ciclos de erosão e progradação, embora com tendência a erosão. A partir da análise da mudança da linha de costa de 1984 a 2020, conclui-se:
- A dinâmica da Praia do Leste e do pontal da Juréia sofrem maior influência da descarga de água e sedimentos do rio Ribeira de Iguape, este atuando como um molhe para a deriva litorânea.
- Entre os anos de 1984 e 2001 ocorria uma progradação na Praia do Leste e erosão da Juréia, cenário que se inverte após esse período, entre 2001 e 2021 com erosão da linha de costa.
- As mudanças ocorridas no pontal da Ilha Comprida dependem mais da deriva litorânea, acontecendo um aumento longitudinal da linha de costa em todo o período analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agisoft Metashape. 2021. **Agisoft Metashape Professional Edition, Version 1.7**: user guide. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf. Acesso em: 13 Fev. 2021.

Alcántara-Carrió, J.; Dinkel, T. M.; Portz, L. & Mahiques, M. 2017. Two new conceptual models for the formation and degradation of baymouth spits by longshore drift and fluvial discharge (Iguape, SE Brazil). **Earth Surf. Process. Landforms**, **43**: 695-709.

Alisson, P. A; Smith, C. R.; Kukert, H.; Deming, J. W. & Bennet, B. A. 1991. Deep-Water taphonomy of vertebrate carcasses: a whale skeleton in the bathyal Santa Catalina Basin. **Paleobiology**, **17**(1): 78-89.

Almeida, J. A. P. & de Oliveira, P. J. 2010. **Sensoriamento Remoto I**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 12p.

Angulo, R. J.; Lessa, G. C. & Souza, M. C. 2006. A critical review of mid to late Holocene sealevel fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, **25**(6): 486-506.

Aragon, C. C. 2017. **Morfodinâmica das desembocaduras de Icapara e do Ribeira de Iguape, São Paulo**. (*Dissertação de Mestrado*). Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP), São Paulo, 149 p.

Baig, M. R. I.; Ahmad, I. A.; Tayyab, S. M. & Rahman, A. 2020. Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). **Annals of GIS, 26**(4): 361-376.

Belaústegui, Z.; Gilbert, J. M.; Domènech, R.; Muñiz, F. & Martinell, J. 2011. Tafonomía y contexto paleoambiental de los restos de um cetáceo del Mioceno médio de Taragona (NE España). **Geobios**, **44**: 19-31.

Behrensmeyer, A. K. 1975. The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblages east of Lake Rudolf, Kenya. **Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, 146**: 473-578.

Behrensmeyer, A. K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. **Paleobiology**, **4**(2): 150-162.

Behrensmeyer, A. K. & Kidwell, S. M. 1985. Taphonomy's contributions to paleobiology. **Paleobiology**, **11**(1): 105-119.

Behrensmeyer, A. K. 1991. Terrestrial vertebrate accumulations, 291-335. *In*: Kidwell, S. M., Bosence, D. W. J., Alisson, P. A. & Briggs, D. E. G. (eds**.). Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record**. New York: Plenum Press 9, 336p.

Behrensmeyer, A. K. & Miller, J. H. 2012. Building links between ecology and paleontology using taphonomic studies of recent vertebrate communities, 69-91. *In*: Louys, J. (Ed) **Paleontology in Ecology and Conservation**. Springer, Berlin, Heidelberg, 284p.

Behrensmeyer, A. K.; Kidwell, S. M. & Gastaldo, R. A. 2000. Taphonomy and paleobiology. **Paleobiology**, **26**(4): 103–147.

Bertoni-Machado, C. 2008. **Tafonomia de paleovertebrados em sistemas continentais do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil e do Departamento de San José, Uruguai**. (*Tese de Doutorado*). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 263p.

Bentz, D. 2004. **Os cordões litorâneos da Planície de Una-Juréia, municípios de Peruíbe e Iguape, SP**. (*Dissertação de Mestrado*). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 134p.

Bentz D. & Giannini P. C. F. 2003. Interpretação aerofotogeomorfológica da planície costeira de Una-Juréia, municípios de Peruíbe-Iguape, SP: modelo evolutivo e origem da erosão na praia da Juréia. *In*: **IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) 9**, 5.

Bianucci, G. 1995. A new record of baleen whale from the Pliocene of Tuscany (Italy). **Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem.**, Serie A 102: 101-104.

Bianucci, G.; Di Celma, C.; Urbina, M. & Lambert, O. 2016. New beaked whales from the late Miocene of Peru and evidence for convergent evolution in stem and crown Ziphiidae (Cetacea, Odontoceti). **PeerJ, 4**: e2479.

Bianucci, G.; Llàcer, S.; Cardona, J. Q.; Collareta, A. & Florit, A. R. 2019. A new beaked whale record from the upper Miocene of Menorca, Balearic Islands, based on CT scan analysis of limestone slabs. **Acta Palaeontologica Polonica**, **64**(2): 291-302.

Branch, A.; Matsuoka, K. & Miyashita, T. 2004. Evidence for increases in antarctic blue whales based on bayesian modelling. **Marine Mammal Science**, **20**(October): 726–754.

Branch, T. A.; Stafford, K. M.; Palacios, D. M.; Allison, C.; Bannister, J. L.; Burton, C. L. K. & Warneke, R. M. 2007. Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Southern Hemisphere and northern Indian Ocean. **Mammal Review**, **37**(2): 116-175.

Brett, C. E. & Baird, G. C. 1986. Comparative taphonomy; a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. **Palaios**, **1**(3): 207-227.

Buchmann, F. S. C. & Rincón, G. 1997. Fósseis de vertebrados marinhos do Pleistoceno superior na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Notas Técnicas** CECO-UFRGS, **10**: 07-16.

Buchmann, F. S.; Zurlo, F. M.; Vanucchi, F. S. & Martins, C. C. A. 2017. First record of a fossil blue whale in São Paulo State, Brazil. **Aquatic Mammals**, **43**(6): 649–654.

Casella, E.; Drechsel, J.; Winter, C.; Benninghoff, M. & Rovere, A. 2020. Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. **Geo-Marine Letters**, **40**: 1-14.

Chu, Z. X.; Sun, X. G.; Zhai, S. K. & Xu, K. H. 2006. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. **Marine Geology**, **227**(1-2): 13-30.

Cuitiño, J. I.; Buono, M. R.; Viglino, M.; Farroni, N. & Bessone, S. 2019. Factors affecting the preservation and distribution of cetaceans in the lower Miocene Gaiman Formation of Patagonia, Argentina. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **526**: 110-125.

Cunha, F. L. S. 1982. Novos registros de baleias fósseis (Balaenopteridae e Balaenidae) no Pleistoceno de Santa Vitória do Palmar, RS, Brasil **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **54**(1): 264.

Cunha, F. L. S. 1985. Registros de cetáceos Balaenidae (*Eubalaena*) no Pleistoceno de Santa Vitória do Palmar, RS, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **57**(1): 142.

Cunha, F. L. S. & Nunan, G. W. A. 1980. Pleistocene marine vertebrates (Sciaenidade and Balaenopteridae) from litoral of Santa Vitória do Palmar, RS, Brasil. **31º Congresso Brasileiro de Geologia**, **5**: 3049-3055.

Cunha, F. L. S.; Bergqvist, L. P. & Capilla, R. 1992. Cetáceos fósseis e subfósseis da coleção de paleovertebrados do Museu Nacional. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **64**(3): 277-288.

Cunliffe, A. M.; Tanski, G.; Radosavljevic, B.; Palmer, W. F.; Sachs, T.; Lantuit, H., & Myers-Smith, I. H. 2019. Rapid retreat of permafrost coastline observed with aerial drone photogrammetry. **The Cryosphere**, **13**(5), 1513-1528.

Da Rocha, J. M. 1983. Revision of Brazilian whaling data. **Reports of the Internacional Whaling Comission, 33**: 419-427.

Dalla Rosa, L. & Secchi, E. R. 1997. Stranding of a blue whale (*Balaenoptera musculus*) in Southern Brazil: "True" or "pygmy"? **Reports of the International Whaling Comission, 47**: 425-430.

Dantas, C. C. 2017. **Análise tafonômica de ossos de mamíferos marinhos provenientes de encalhes no litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte no semi-árido nordestino, Brasil**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Mossoró, 51p.

Deméré, T. A.; Berta, A. M. & Michael R. 2005. The taxonomic and evolutionary history of fossil and modern balaenopteroid mysticetes. **Journal of Mammalian Evolution, 12**: 99-143

Dominici, S.; Danise, S.; Cau, S. & Freschi, A. 2020. The awkward record of fossil whales. **Earth-Science Reviews**, **205**, 20p.

Dominici, S.; Cioppi, E.; Danise, S.; Betocchi, U.; Gallai, G.; Tangocci, F.; Valleri, G. & Monechi, S. 2009. Mediterranean fossil whale falls and the adaptation of mollusks to extreme habitats. **Geology**, **37**(9): 815-818.

Dominguez, J. M. L.; Bittencourt, A. C. S. P. & Martin, L. 1983. 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**, **13**(2): 98-105.

Esperante, R. 2005. How to not become a fóssil – taphonomy of modern whale falls. **2º International Meeting Taphos**, Barcelona.

Esperante, R.; Brand, L.; Nick, K. E.; Poma, O. & Urbina, M. 2008. Exceptional occurence of fossil baleen in shallow marine sediments of the Neogene Pisco Formation, Southern Peru. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **257**: 344-360.

Esperante, R.; Guinea, F. M. & Nick, K. E. 2009. Taphonomy of a mysticeti whale in the Lower Pliocene Huelva Sands Formation (southern Spain). **Geologica Acta**, **7**(4): 489-505.

Farias, E. G. G. & Maia, L. P. 2010. Uso de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, **10**(4): 521-544.

Fernandez-Jalvo, Y. & Andrews, P. 2016. **Atlas of taphonomic identifications: 1001+ images of fossil and recent mammal bone modification**. New York: Springer, 359p.

Fitzgerald, D. M. 1988. Shoreline erosional-depositional processes associated with tidal inlets. 186-225. *In*: Aubrey, D. G. & Weishar, L. (ed). **Hydrodynamics and sediment dynamics of tidal inlets**. New York: Springer, 29, 456p.

França, C. A. S. 2000. **Contribuição ao estudo da variabilidade do nível do mar na região Tropical Atlântica por altimetria do satélite TOPEX/POSEIDON e modelagem numérica.** Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo.

Frank, M. C. & Buchmann, F. S. 2021. Rio Suamirim: Paleocanal holocênico do rio Ribeira de Iguape, SP, Brasil. *In*: **II Simpósio de Biodiversidade de Ambientes Costeiros (SIBAC)**.

Gariboldi, K.; Gioncada, A.; Bosio, G.; Malinverno, E.; Di Celma, C.; Tinelli, C.; Cantalamessa, G.; Landini, W; Urbina, M. & Bianucci, G. 2015. The dolomite nodules enclosing fossil marine vertebrates in the East Pisco Basin, Peru: field and petrographic insights into the Lagerstätte formation. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **438**: 81-95.

Geobrás, S. A. & Fundacões, S. A. 1966. Complexo Valo Grande, mar Pequeno, rio Ribeira de Iguape. Relatório GEOBRÁS S/A. **São Paulo: Engenharia e Fundações para o Serviço do Vale do Ribeira do Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2**.

Gianinni, P. C.; Deblasis, P.; Sawakuchi, A. O. & Amaral, P. G. 2005. Processos e materiais geológicos e a construção de sambaquis no litoral sul de Santa Catarina. *In*: **X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA)**, *10*: 196.

Giannini, P. C.; Sawakuchi, A. O.; Martinho, C. T. & Tatumi, S. H. 2007. Eolian depositional episodes controlled by Late Quaternary relative sea level changes on the Imbituba–Laguna coast (southern Brazil). **Marine Geology**, **237**(3): 143-168.

Giannini, P. C.; Guedes, C. C.; Nascimento, D. R.; Tanaka, A. P.; Angulo, R. J.; De Souza, M. C. & Assine, M. L. 2009. Sedimentology and morphological evolution of the Ilha Comprida barrier system, southern São Paulo coast. *In*: **Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil** (177-224pp.). Springer: Berlin, Heidelberg.

Guedes, C. C. F.; Gianinni, P. C. F.; Nascimento Jr., D. R.; Sawakuchi, A. O.; Tanaka, A. P. B. & Rossi, M. G. 2011. Controls on heavy-mineral and grain-size in a Holocene regressive barrier (Ilha Comprida, Southeastern Brazil). **Journal of South America Earth Sciences**, **31**:110–123.

Häussermann, V.; Gutstein, C. S.; Bedington, M.; Cassis D.; Olavarria C.; Dale A. C.; Valenzuela-Toro, A. M.; Perez-Alvarez, M. J.; Sepúlveda, H. H.; McConnell, K. M.; Horwitz F. E. & Försterra, G. 2017. Largest baleen whale mass mortality during strong El Niño event is likely related to harmful toxic algal bloom. **PeerJ**, **5** (e3123).

Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G. & Farris, A, S. 2018. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 126 p.

Hinton, M. A. C. 1925. Reports on papers left by the late Major G. E. H. Barret-Hamilton relating to the whales of South Georgia. **The Crown Agents for the Colonies**, 57-209.

Holz, M. & Simões, M. G. 2002. **Elementos fundamentais de tafonomia**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 231 p.

Horus. 2018. **Qual o GSD ideal para cada resultado?** Florianópolis: Horus. Disponível em: https://horusaeronaves.com/qual-o-gsd-ideal-para-cada-resultado/. Acesso em: 05 fev. 2021.

Huang, C.; Zhang, H. & Zhao, J. 2020. High-efficiency determination of coastline by combination of tidal level and coastal zone DEM from UAV tilt photogrammetry. **Remote Sensing**, **12**(14): 2189.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Normais climatológicas do Brasil. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/?r=clima/normaisclimatologicas >. Acessado em 18 de março de 2021.

Jefferson, T. A.; Webber, M. A. & Pitman, R. L. 2011. **Marine mammals of the world a comprehensive guide to their identification**. Canadá: Elsevier, 2ª Edição, 592p.

Jun, K.; Jun, B. H.; Lee, H.; Kim, S. & Tak, W. 2018. The study of utilization and precision based on the comparison and analysis of drone-based coastal hazard data and its application in the ocean environment. **Journal of Coastal Research**, **85**(sp1): 811-815.

Kawakubo, F. S; Morato, R. G.; Nader, R. S. & Luchiari, A. 2011. Mapping change in coastline geomorphic features using Landsat TM and ETM+ imagery: examples in southeastern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, **32**(9): 2547-2562.

Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B. & Rubel, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrif**, **15**(3): 259-263.

Liebig, P. M; Taylor, T. A. & Flessa, K. W. 2003. Bones on the beach: Marine mammal taphonomy of the Colorado Delta, Mexico. **Palaios**, ***18***: 168-175.

Liebig, P. M.; Flessa, K. W. & Taylor, T. S. A. 2007. Taphonomic variation despite catastrophic mortality: analysis of a mass stranding of false killer whales (*Pseudorca crassidens*), Gulf of California, Mexico. **Palaios, 22**(4), 384-391

Lima, C. O. & Oliveira, R. C. 2012. Os processos de erosão e progradação no município de Ilha Comprida – SP. **Revista Geonorte**, Edição Especial, **1**(4), 902-915.

Loch, C. & Lapolli, E. D**. Elementos básicos da fotogrametria e sua utilização prática**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1989.

Lodi, L. & Borobia, M. 2013. **Baleias, botos e golfinhos do Brasil - Guia de identificação**. Rio de Janeiro: Technical Books, 1ª Edição, 479p.

Lopes, R. P.; Buchmann, F. S. C. & Caron, F. 2008. Taphonomic analysis on fossils of Pleistocene mammals from deposits submerged along Southern Rio Grande do Sul coastal plain, Brazil. **Arquivos do Museu Nacional**, **66**(1): 213-229.

Martins, A. S. F. 2019. **Evolução sedimentar holocênica do complexo de cordões litorâneos da Jureia, Iguape, SP**. (*Dissertação de Mestrado*). Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Vicente, 80 p.

Mezzalira, S. 1982. Ocorrências de ossada semifossilizadas de baleias no litoral paulista, município de Praia Grande, SP. **Revista do Instituto Geológico**, **3**(1): 25-39.

Monteiro, J. G.; Jiménez, J. L.; Gizzi, F.; Přikryl, P.; Lefcheck, J. S., Santos, R. S. & Canning-Clode, J. 2021. Novel approach to enhance coastal habitat and biotope mapping with drone aerial imagery analysis. **Scientific Reports**, **11**(1), 1-13.

Mutaqin, B. W. 2017. Shoreline changes analysis in Kuwaru coastal area, Yogyakarta, Indonesia: an application of the digital shoreline analysis system (DSAS). **International Journal of Sustainable Development and Planning, 12**(7): 1203-1214.

Nascimento Jr., D. R.; Giannini, P. C. F.; Tanaka, A. P. B. & Guedes, C. C. F. 2008. Mudanças morfológicas da extremidade NE da Ilha Comprida (SP) nos últimos dois séculos. **Revista Brasileira de Geologia**, **8**(1): 25-39.

Nikolakopoulos, K.; Kyriou, A.; Koukouvelas, I.; Zygouri, V. & Apostolopoulos, D. 2019. Combination of aerial, satellite, and UAV photogrammetry for mapping the diachronic coastline evolution: the case of Lefkada Island. ISPRS **International Journal of Geo-Information**, **8**(11), 489.

Nimer, E. 1989. **Climatologia do Brasil** (2 ed). IBGE: *Rio de Janeiro*: 421 p.

Oliveira, B. J. 2020. **Morfodinâmica e a infauna na desembocadura do rio Itaguaré**. (*Dissertação de Mestrado*). Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Vicente, 105 p.

Peters, S. E.; Antar, M. S. M.; Zalmout, I. S. & Gingerich, P. D. 2009. Sequence stratigraphic control on preservation of late Eocene whales and other vertebrates at Wadi Al-Hitan, Egypt. **Palaios**, **24**(5): 290-302.

Pye, K. & Tsoar, H. 2009. Characteristics of Windblown Sediments. *In*: **Aeolian Sand and Sand Dunes**. Springer, Berlin, Heidelberg, 458p.

Pyenson, N. D. 2011. The high fidelity of the cetacean stranding record: insights into measuring diversity by integrating taphonomy and macroecology. **Proceedings of the Royal Society,** B 278: 3608-3616.

Pyenson, N. D.; Gutsteins, C. S.; Parham, J. F.; Roux, J. P. L.; Chavarria, C. C.; Little, H.; Metallo, A.; Rossi, V.; Valenzuela-Toro, A. M.; Velez-Juarbe, J.; Santelli, C. M.; Rogers, D. R; Cozzuol, M. A. & Suárez, M. E. 2014. Repeated mass strandings of Miocene marine mammals from Atacama Region of Chile point sudden death at sea. **Proceedings of The Royal Society**, *B 281*: 20133316.

Redweik, P. 2007. **Fotogrametria aérea**. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa: 3p.

Ribeiro, A. M.; Drehmer, C. J.; Buchmann, F. S. & Simões-Lopes, P. C. 1998. Pleistocene skull remains of *Pontoporia blainvillei* (Cetacea, Pontoporiidae) from the coastal plain of Rio Grande do Sul State, Brazil, and the relationships of pontoporids. **Revista Universidade Guarulhos Geociências**, **6**: 71-77.

Rocha, A.; Marchetto, C.; Pacheco, L. & Secchi, E. R. 2019. Occurrence of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in offshore waters of southeastern Brazil. **Marine Biodiversity Records**, **12**(1), 1-5.

Sant'Anna Neto, J. L. 2005. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, **1**(1): 43-60.

Santos, G. C. 2020. **Aplicação de geotecnologias na avaliação de processos erosivos: estudo de caso da Fazenda do Glória-Uberlândia, MG**. (*Trabalho de Conclusão de Curso*). Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG, 106p.

Sears, R. & Perrin, W. F. 2008. Blue Whale - *Balaenoptera musculus*, 120-124. *In*: W. F. Perrin, B. Würsig, & J. G. M. Thewissen (eds.). **Encyclopedia of Marine Mammals**. New York: Academic Press Vol. 11, 1352p.

Simões, M. G.; Rodrigues, S. C.; Bertoni-Machado, C. & Holz, M. 2010. Tafonomia: Processos e ambientes de fossilização, 19-51. *In*: Carvalho, I. S. (Ed). **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Interciência, Vol 1, 756p

Shipman, P. 1981. **Life history of a fossil: an introduction to taphonomy and paleoecology**. Harvard University Press, Cambridge, 222 p.

Short, A. D. & Trembanis, A. C. 2004. Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen Beach, Australia—time series, PCA and wavelet analysis. **Journal of Coastal Research, 20**(2(202)): 523-532.

Smith, C. R.; Glover, A. G.; Treude, T.; Higgs, N. D. & Amon, D. J. 2015. Whale-fall ecosystems: recent insights into ecology, paleoecology, and evolution. **Annual Review of Marine Science**, **7**(1): 571-596.

Sopchaki, C. H.; Paz, O. L. D. S.; Salles Graça, N. L. S. & Sampaio, T. V. M. 2018. Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise, 43**: 200-214.

Souza, C. R. G. 1997. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. (*Tese de Doutorado*). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 204p.

Souza, W. F.; Leite, N. S.; Meireles, A. J. A. & Silva, E. V. 2016. O uso de SIG na análise da evolução de linha de costa controlada por promontório: trecho entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, Icapuí-Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, **18**(2) 20-95.

Strasser, A. & Davaud, E. 1986. Formation of Holocene limestone sequences by progradation, cementation, and erosion; two examples from the Bahamas. **Journal of Sedimentary Research, 56**(3), 422-428.

Tessler, M. G. 1988. **Dinâmica sedimentar quaternária no litoral sul paulista.** (*Tese de Doutorado*). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 296p.

Tessler, M. G. & Mahiques, M. M. 1993. Utilization of coastal geomorphic features as indicators of longshore transport: Examples of the Southern coastal region of the State of São Paulo, Brasil. **Journal of Coastal Research**, **9**(3): 823-830.

Tessler, M. G.; Goya, S. C.; Yoshikawa, P. S. & Hurtado, S. N. 2004. Relatório Técnico, Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil.

Toots, H. 1965. Sequence of disarticulation in mammalian skeletons. **Rocky Mountain Geology**, **4**(1), 37-39.

Wuttke, M. & Reisdorf, A. 2012. Taphonomic processes in terrestrial and marine enviroments. **Palaeobiodiversity and Palaeoenviroments**, **92**: 1-3.

Yochem, P. K. & Leatherwood, S. 1985. Blue Whale (*Balaenoptera musculus* Linnaeus, 1758). *In*: S. H. Ridgeway & R. Harrison (Eds.). **Handbook of Marine Mammals, 3**: 193-240. London: Academic Press.

Zerbini, A. N., Secchi, E. R., Siciliano, S. & Simões-Lopes, P. C. 1997. A review of the occurence and distribuition of whales of the genus *Balaenoptera* along the Brazilian coast. **Reports of the International Whaling Comission**, **47**: 407-417.

Zurlo, F. M. 2015. **Descrição do fóssil de baleia-azul encontrado na Praia do Leste, Iguape/SP**. (*Trabalho de Conclusão de Curso*). Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Vicente, 40 p.

ANEXO I

Tabela 3 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros da Praia do Leste (1984-2020).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R^2
1	690,8034	-683,62	-19,532	-20,6838	91,14%
2	847,8655	-652,528	-18,1258	-20,1093	85,36%
3	817,5477	-575,569	-15,988	-18,7584	80,42%
4	770,7995	-541,561	-15,0434	-17,9028	76,40%
5	734,3872	-527,209	-14,6447	-17,719	68,17%
6	1148,407	-489,484	-13,5968	-14,7542	30,82%
7	1177,845	-372,226	-10,3396	-11,6249	13,33%
8	896,3579	-347,92	-9,66445	-12,4139	17,69%
9	945,5501	-267,536	-7,43155	-16,2513	32,64%
10	979,1639	-260,722	-7,24227	-19,0794	42,05%

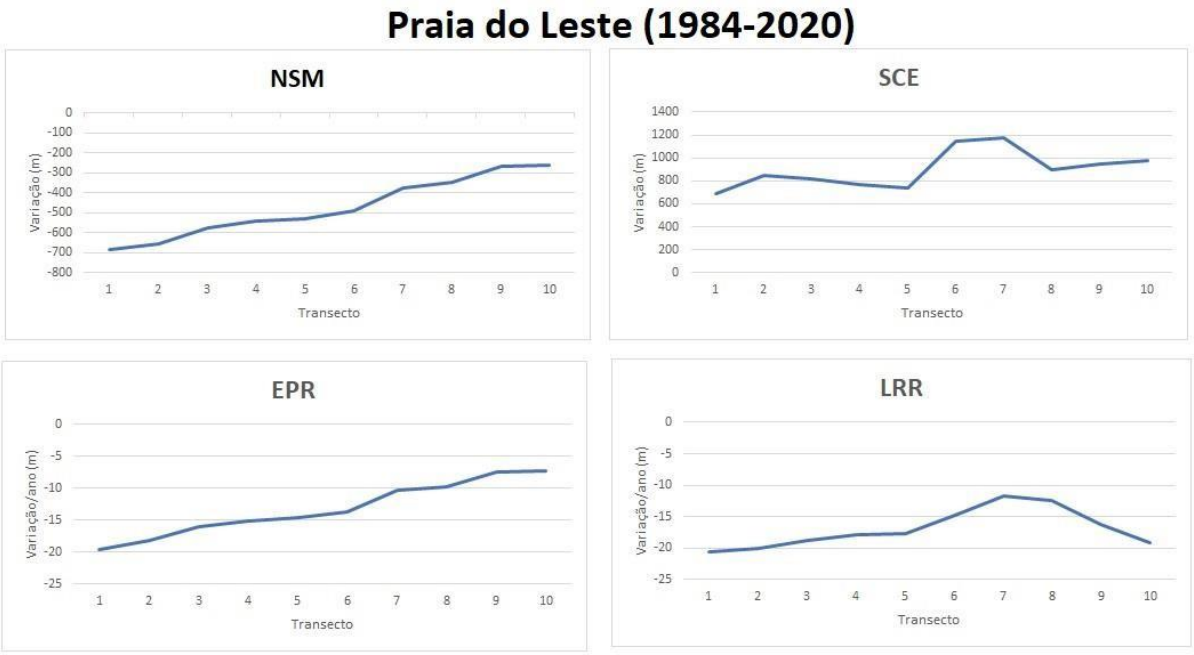

Figura 26 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Praia do Leste (1984-2020).

Tabela 4 -Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da Ilha Comprida (1984-2020).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R^2
1	72,12881	-60,7761	-3,57506	-2,35626	30,28%
2	165,9234	-131,102	-3,74578	-2,94853	57,34%
3	163,2126	-123,487	-3,5282	-3,76709	75,36%
4	138,3989	-119,887	-3,42535	-3,61178	74,42%
5	166,7139	-128,06	-3,65887	-4,25556	70,11%
6	187,0827	-161,285	-4,60813	-5,51502	78,52%
7	168,1577	-149,502	-4,2715	-4,70095	75,99%
8	217,9362	109,7449	3,135567	0,571012	1,35%
9	480,0698	282,4084	8,068812	6,107033	41,57%
10	915,8806	915,8806	26,16802	27,01134	95,42%
11	911,429	890,0779	25,4308	29,64518	89,69%
12	823,1761	537,5854	15,35958	22,93708	77,69%
13	563,3982	452,3195	12,92341	14,09609	76,13%
14	491,9596	491,9596	14,05599	7,484276	48,94%
15	498,379	473,8927	13,53979	0,203856	0,03%
16	425,3525	311,7971	8,908489	-4,97745	17,76%
17	424,4107	84,53187	2,415196	-7,81114	46,45%
18	385,8571	-67,8135	-1,93753	-8,87476	65,93%
19	367,6935	-117,746	-3,36418	-9,02174	75,54%

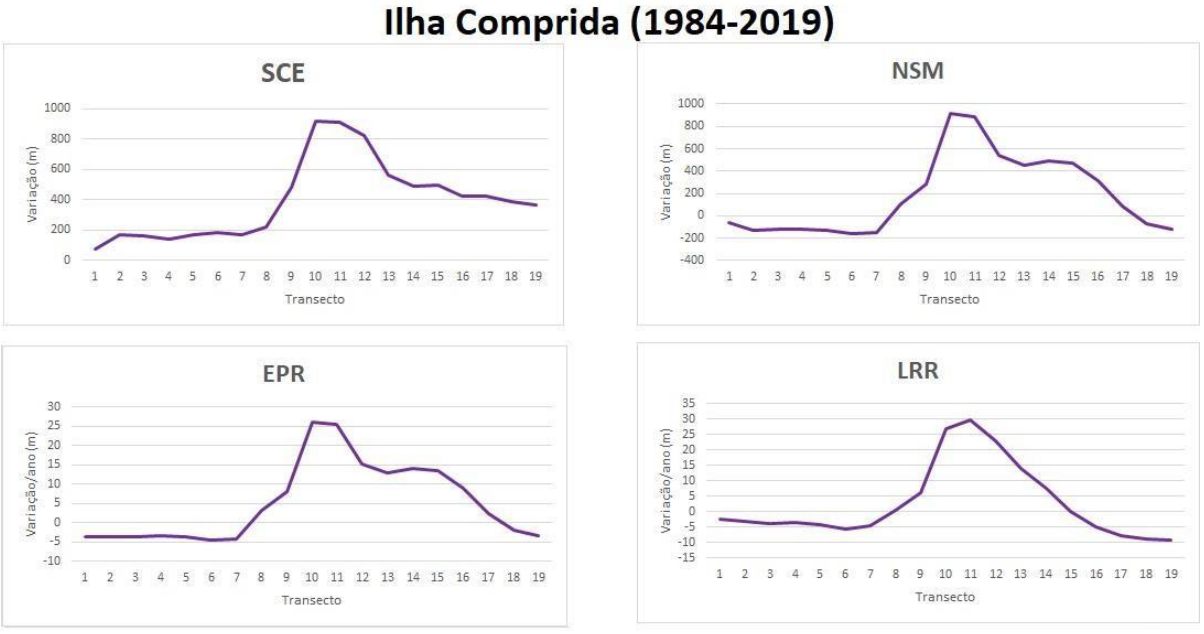

Figura 27 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Ilha Comprida (1984-2019).

Tabela 5 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da praia da Juréia (1984-2020).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	LR2
1	141,3763	-141,376	-28,2753	0	0,00%
2	308,1575	-20,6091	-2,94416	11,76939	6,30%
3	295,7085	56,84411	5,684411	11,51577	18,79%
4	237,192	-134,393	-13,4393	-12,8808	46,01%
5	2472,494	521,4933	14,89981	59,77367	56,79%
6	2118,973	790,2226	22,57779	38,69168	51,05%
7	825,7447	453,6408	16,80151	13,16609	17,79%
8	314,9987	-314,999	-31,4999	-23,5534	71,36%
9	151,2035	-151,203	-15,1203	-11,3166	75,88%
10	148,1008	-148,101	-14,8101	-10,1471	67,30%
11	113,969	-113,969	-11,3969	-10,4414	85,35%
12	80,01824	-80,0182	-10,0023	-10,3094	80,06%
13	68,93638	-39,2118	-5,60168	-7,92237	48,87%
14	49,84789	-46,1301	-9,22601	-9,80943	79,03%

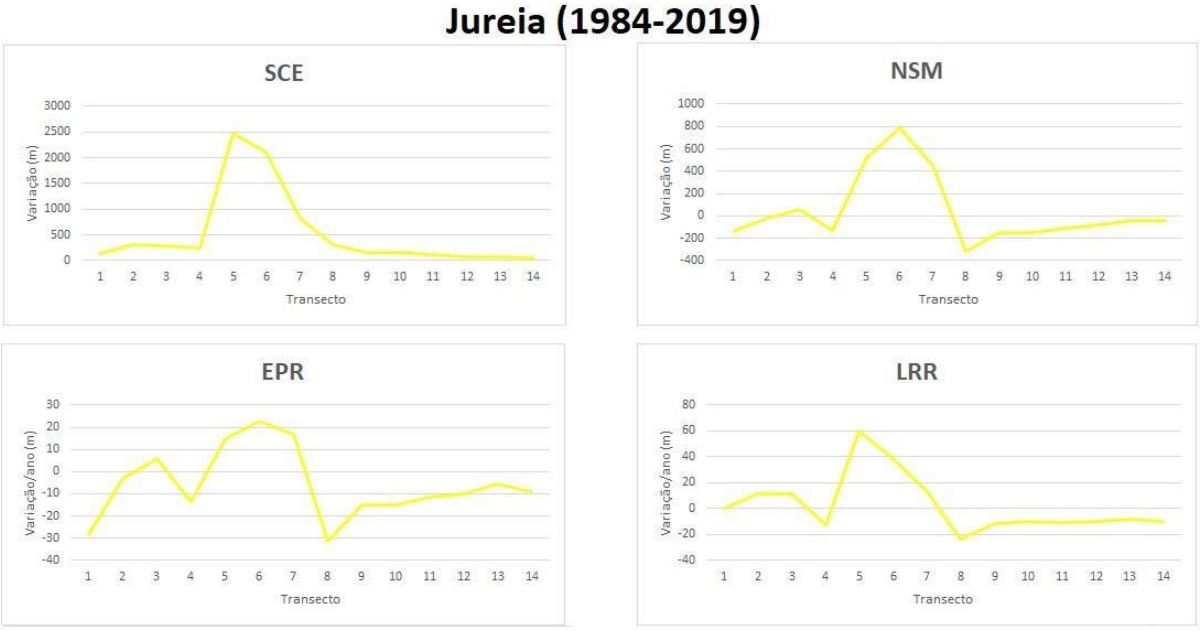

Figura 28 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a praia da Juréia (1984-2019).

Tabela 6 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros da Praia do Leste (1984-2001).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R²
1	503,7598	-503,76	-29,6329	-26,883	95,31%
2	548,9754	-548,975	-32,2927	-28,2144	92,93%
3	503,5052	-503,505	-29,618	-24,4457	85,23%
4	385,197	-385,197	-22,6586	-18,33	56,13%
5	405,4901	-233,289	-13,7229	-11,8865	19,75%
6	398,7641	-54,9202	-3,2306	-5,97212	5,67%
7	331,3308	43,8554	2,579729	-0,3414	0,02%
8	509,4777	393,278	23,134	19,65135	39,91%
9	897,3093	752,7176	44,27751	40,304	63,93%
10	913,8373	732,2241	43,072	49,21132	80,50%
11	666,2726	454,6514	26,7442	42,69993	76,75%
12	670,696	363,4994	21,38232	39,62191	67,63%
13	719,81	336,1984	19,77638	38,17013	59,74%
14	755,4251	337,2068	19,8357	37,76884	53,41%
15	761,1107	327,6217	19,27187	36,1678	47,91%

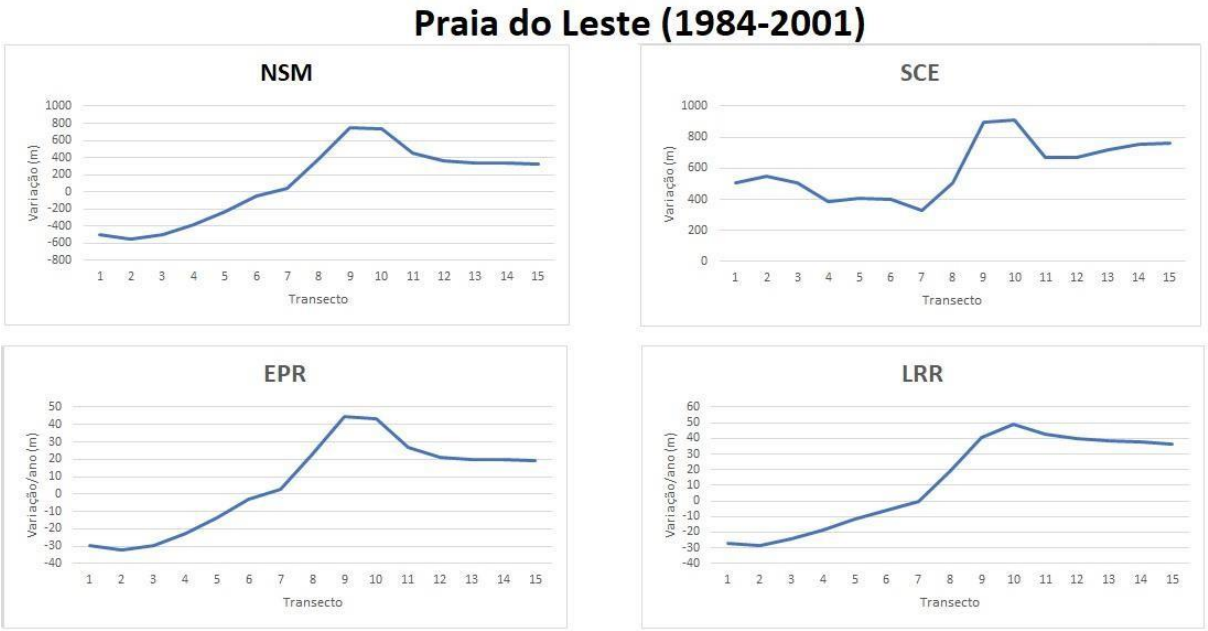

Figura 29 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Praia do Leste (1984-2001).

Tabela 7 -Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da Ilha Comprida (1984-2001).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R²
1	72,0651	-72,0651	-14,413	-14,6547	98,00%
2	116,1977	-56,6984	-3,3352	-3,50793	29,33%
3	88,98838	-40,4105	-2,37709	-3,66649	42,96%
4	82,34467	-23,9141	-1,40671	-2,01819	16,66%
5	92,60547	-17,4453	-1,02619	-1,39244	5,74%
6	96,77971	-34,2638	-2,01552	-4,10596	36,09%
7	110,2266	-44,2449	-2,60264	-3,97047	32,64%
8	191,0187	191,0187	11,23639	9,059471	62,06%
9	492,6048	492,6048	28,97675	20,52423	75,14%
10	453,859	394,0682	23,18048	22,07262	81,28%
11	495,8015	371,532	21,85482	24,74885	76,16%
12	360,6904	346,3594	20,37408	22,69837	75,37%
13	423,4732	423,4732	24,91019	20,12618	77,03%
14	394,5613	394,5613	23,20949	15,43126	54,15%
15	391,4672	340,2755	20,01621	10,98636	25,41%
16	415,2961	271,9228	15,99546	8,461019	14,45%
17	282,5918	43,25527	2,544428	2,775118	2,99%
18	206,5996	-75,0672	-4,41572	-1,47321	1,81%
19	188,9806	-110,728	-6,51343	-2,72231	7,46%
20	161,1615	-75,4876	-4,44045	-2,41134	8,90%

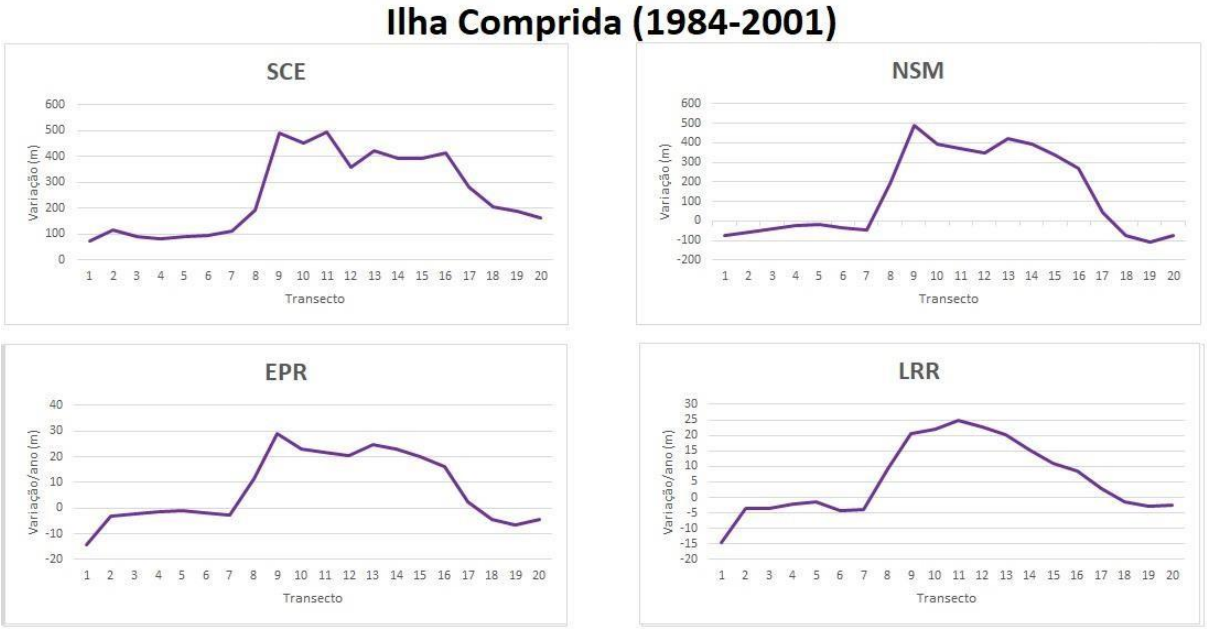

Figura 30 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Ilha Comprida (1984-2001).

Tabela 8 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da praia da Juréia (1984-2001).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R²
1	123,1902	-123,19	-24,638	0	0
2	301,5737	-13,8089	-1,9727	12,34461	0,071121
3	292,8557	94,7134	9,47134	14,57382	0,301134
4	377,528	124,2974	12,42974	-1,33827	0,001558
5	1987,691	-480,883	-32,0589	-26,7448	0,028824
6	592,4736	-331,973	-25,5364	-35,1988	0,480943
7	376,9234	-244,215	-18,7857	-25,2918	0,809795
8	298,0909	-298,091	-29,8091	-21,3185	0,661088
9	151,9903	-151,99	-15,199	-11,2091	0,725383
10	150,3033	-150,303	-15,0303	-10,1699	0,652155
11	114,4189	-114,419	-11,4419	-10,6452	0,871507
12	77,94913	-77,9491	-9,74364	-10,1272	0,790188
13	68,13823	-35,8213	-5,11733	-7,47253	0,458481
14	55,02614	-44,8534	-8,97067	-9,71052	0,696684

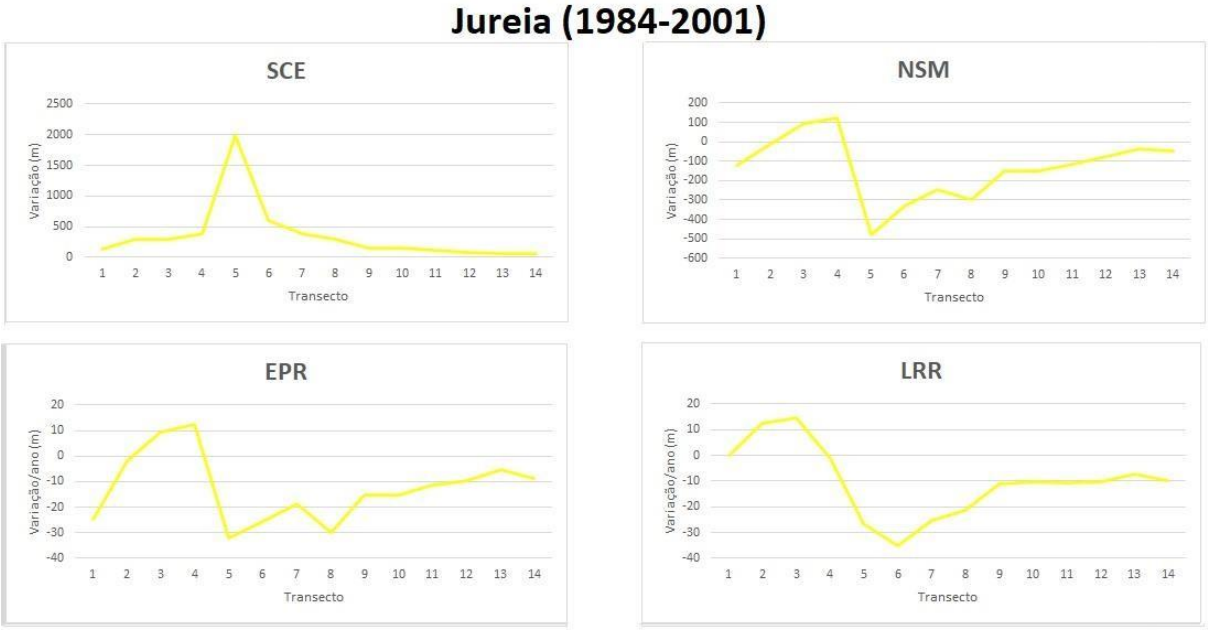

Figura 31 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para praia da Juréia (1984-2001).

Tabela 9 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros da Praia do Leste (2001-2020).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R^2
1	275,8078	-275,808	-15,3227	-13,9402	97,20%
2	389,4884	-389,488	-20,4994	-18,2187	97,43%
3	512,9391	-512,939	-26,9968	-23,8865	91,56%
4	528,8552	-528,768	-27,8299	-25,7999	85,05%
5	667,0237	-667,024	-35,1065	-31,1866	83,09%
6	1148,407	-1148,41	-60,4425	-48,0307	80,27%
7	1177,845	-1177,84	-61,9918	-61,307	84,80%
8	896,3579	-805,614	-42,4008	-52,7357	81,94%
9	671,954	-581,109	-30,5847	-29,8076	75,21%
10	405,5437	-405,544	-21,3444	-19,8241	86,94%

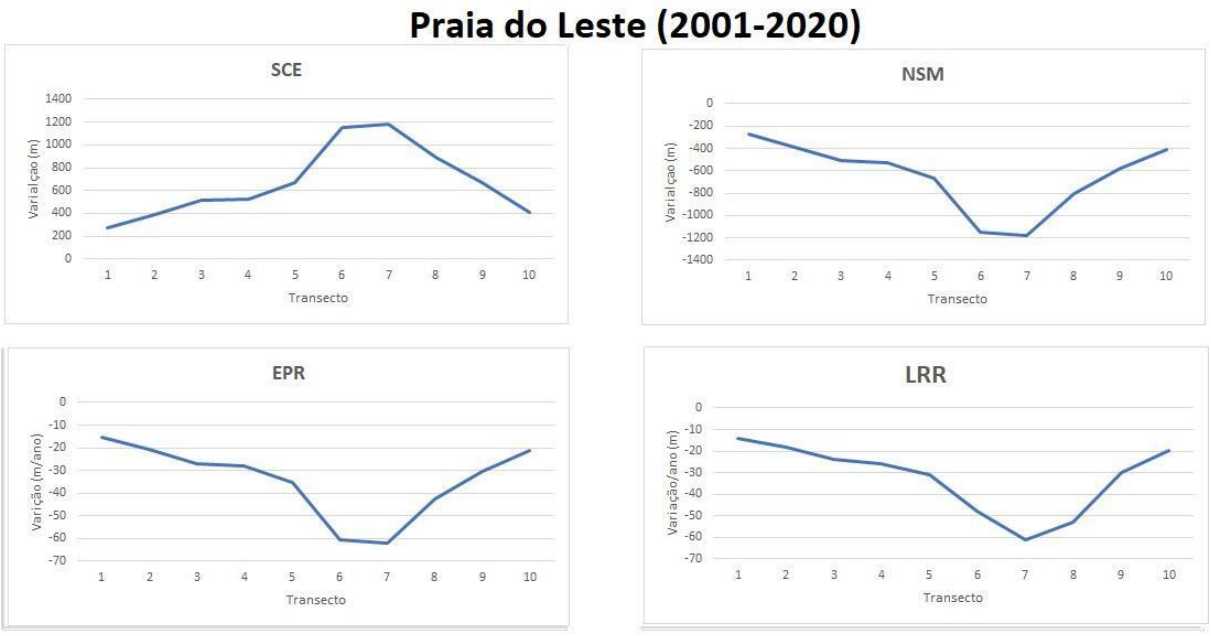

Figura 32 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Praia do Leste (2001-2020).

Tabela 10 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da Ilha Comprida (2001-2019).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R²
1	105,3802	-73,5372	-4,0854	-2,06992	18,15%
2	120,1973	-83,1397	-4,61887	-2,54979	25,79%
3	109,6663	-92,7466	-5,15259	-2,93967	37,74%
4	132,6603	-104,987	-5,83261	-3,60213	37,06%
5	145,4533	-117,229	-6,5127	-3,95428	34,03%
6	128,9656	-109,204	-6,06689	-3,56078	34,24%
7	122,8049	-90,7382	-5,04101	-3,76834	44,99%
8	163,7334	-111,653	-6,20293	-4,65343	45,86%
9	270,3155	-132,36	-7,35335	-2,58991	4,04%
10	88,26544	-77,4845	-4,3047	-3,65647	55,16%
11	474,0026	474,0026	26,33348	19,25104	78,70%
12	740,0528	740,0528	41,11405	32,2453	83,96%
13	610,443	610,443	33,9135	24,85846	68,92%
14	700,0179	360,0674	20,00375	11,36306	13,95%
15	392,1661	152,4905	8,471695	5,014512	6,55%
16	202,9039	31,67519	1,759733	2,288507	3,54%
17	191,4661	107,9348	5,996377	3,815361	17,91%
18	297,3938	131,2491	7,291615	6,08211	18,72%
19	378,2629	130,9313	7,273964	6,941607	14,23%
20	344,0169	113,9649	6,331386	3,257374	4,26%
21	285,7594	91,89101	5,105056	-0,18049	0,02%
22	261,69	65,86261	3,659034	-2,87381	5,98%
23	201,8025	-18,7796	-1,04331	-6,22836	33,98%

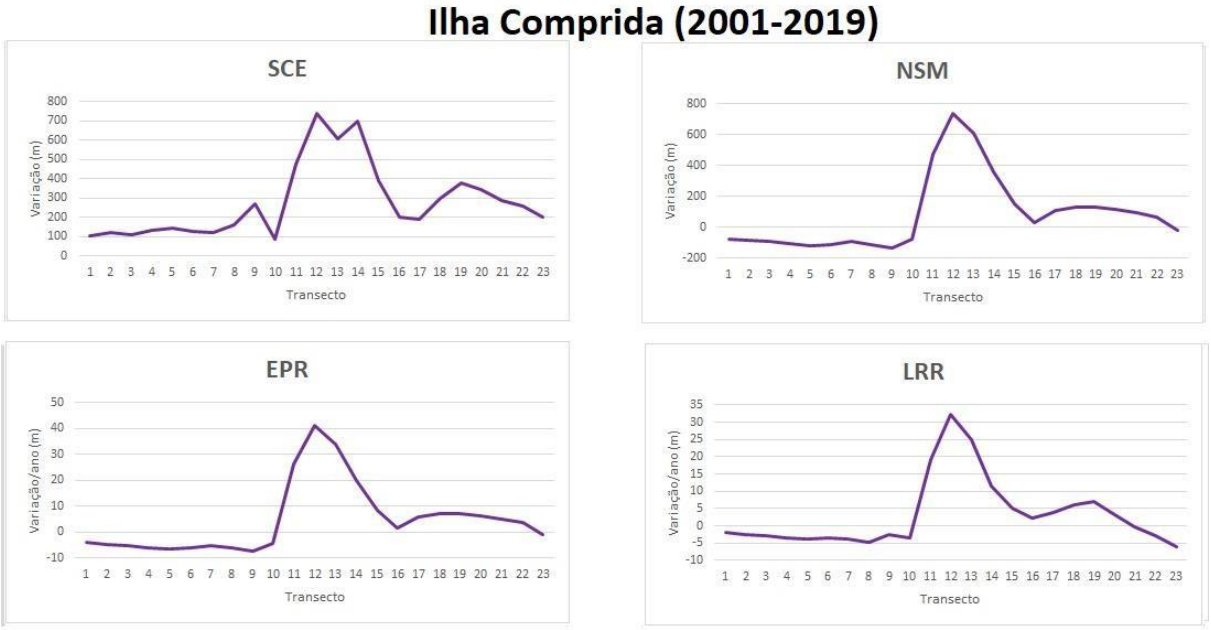

Figura 33 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para a Ilha Comprida (2001-2020).

Tabela 11 - Síntese das variações de linha de costa por transecto em metros do pontal da praia da Juréia (2001-2019).

Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	LR2
1	16,43421	-15,0486	-2,5081	-2,92276	80,45%
2	36,16482	27,94984	2,149988	2,191503	62,10%
3	60,23229	-31,3442	-1,74135	-0,43514	1,49%
4	442,2709	348,4826	19,36015	25,94352	74,76%
5	637,3382	460,7678	25,59821	38,39444	77,97%
6	732,5652	615,6688	34,20382	47,43674	83,12%
7	909,1628	734,6911	40,81617	55,36889	86,38%
8	665,5383	513,7845	28,54358	34,13397	55,82%
9	279,0219	200,8899	11,16055	11,00726	48,64%
10	261,3166	217,7296	12,09609	10,9245	54,34%
11	243,5596	202,2034	11,23352	10,32488	52,96%
12	257,1813	187,0231	10,39017	10,94822	51,96%
13	487,4919	-487,492	-81,2487	-86,3562	91,37%

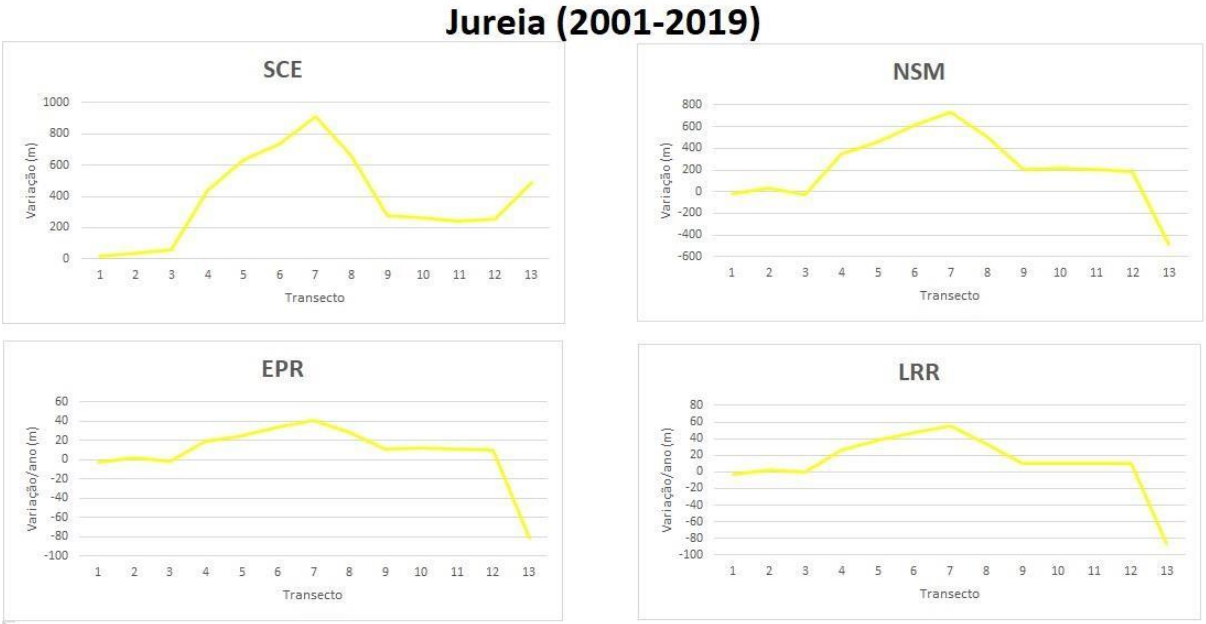

Figura 34 - Gráficos dos parâmetros estatísticos das variações de linha de costa gerados para praia da Juréia (2001-2020).