

Danae Copoono Erdosi Marques Teixeira

**ILHAS-BARREIRA EM SISTEMAS ABRIGADOS: ESTUDO
DA MARGEM NORDESTE DA LAGOA DA CONCEIÇÃO, ILHA
DE SANTA CATARINA, UTILIZANDO TÉCNICAS DE
ANÁLISE ESPACIAL**

Dissertação de Mestrado submetida ao
Programa de Pós – Graduação em
Oceanografia da Universidade Federal
de Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Oceanografia.
Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti
Filho

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Teixeira, Danae

ILHAS-BARREIRA EM SISTEMAS ABRIGADOS: ESTUDO DA MARGEM NORDESTE DA LAGOA DA CONCEIÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA, UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL / Danae Teixeira ; orientador, JARBAS BONETTI FILHO, 2018.

163 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

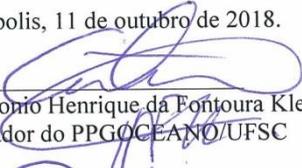
1. Oceanografia. 2. Oceanografia Costeira. 3. Oceanografia Geológica. 4. Geologia Costeira. I. BONETTI FILHO, JARBAS. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. III. Título.

Danae Copoono Erdosi Marques Teixeira

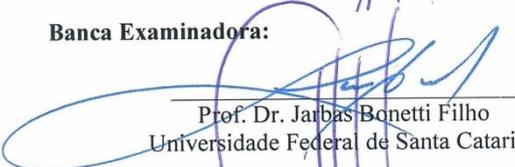
**Ilhas-Barreira em sistemas abrigados: estudo da
margem nordeste da Lagoa da Conceição, Ilha de
Santa Catarina, utilizando técnicas de análise espacial**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Oceanografia”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Oceanografia.

Florianópolis, 11 de outubro de 2018.


Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein
Coordenador do PPGOCEANO/UFSC

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho
Universidade Federal de Santa Catarina


Dr. Renato Pereira Lopes
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr. Eduardo Juan Soriano-Sierra
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente meu orientador Dr. Jarbas Bonetti pela oportunidade do tema desenvolvido e orientação deste.

A Professora Dra. Carla Bonetti por toda ajuda ao longo do trabalho, por acreditar e me mostrar que meus resultados poderiam ser mais do que eu imaginava, além de todo conhecimento passado durante esse período.

Ao Prof. Dr. Eduardo Soriano por compartilhar seus conhecimentos da região principalmente na atuação na vegetação.

À Dra Kalina Brauko pelo apoio em campo e auxílio na descrição da vegetação. E também pelos conselhos e experiências divididas.

Um agradecimento especial a Yasmim Garcia da Silveira por toda amizade e apoio e principalmente pela ajuda impecável na escrita fluída do trabalho.

Aos colegas do LOC, principalmente à Faynna pelos trabalhos e comidas compartilhadas e ao Zelão por me ajudar com as várias dúvidas no processo de Geoprocessamento sempre com uma suavidade impar.

À Marys por ter me acompanhando durante toda essa jornada, dividido o dia-a-dia, medos e conquistas.

À Marina Bettim pela conexão de sempre e apoio nas revisões.

Aos meus pais, Lara e Carlos, que sempre confiaram e me apoiaram em todas as decisões por mais que estivesse distante do que imaginavam, vocês são incríveis. Aos meus irmãos (Ariadne, Arion, Glauco, Dudu e Lolo) por serem tão únicos e incríveis ao jeito de vocês, sempre me ensinando e me recarregando minhas energias, obrigada também por terem sempre os olhares mais carinhosos do mundo comigo. A Di em especial que escolheu dividir a profissão ainda, e assim acabamos por dividir amigos, cidade, aventuras e dia-a-dia. Obrigada a toda minha enorme família por todo suporte a distância, principalmente a Tia Lu, Vô Oswaldo e Vó Valmira que são pessoas admiráveis nas quais me espelho. Ao meu Avô Ladislau que partiu a pouco tempo, deixando além de saudades valores importantes de responsabilidades, companheirismo e família.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro de Ciências Físicas e Matemáticas (CFM) e ao Programa de Pós

Graduação em Oceanografia (PPGOceano) por me apoiar e amparar como aluna neste período.

RESUMO

Este estudo visa avaliar a distribuição, evolução temporal e processos hidrodinâmicos associados à formação das ilhas-barreira de sistemas abrigados da margem nordeste da Lagoa da Conceição. Localizados na zona de transição entre o oceano e continente, os sistemas lagunares são ambientes únicos e de alta sensibilidade. Sua morfologia encontra-se sujeita a constantes variações apesar de estarem inseridos em um contexto de baixa hidrodinâmica. As ilhas-barreira que ocorrem no interior em sistemas abrigados são um exemplo de ambientes de sedimentação associados a corpos aquosos de baixa energia. Formam-se em locais com pouca exposição aos agentes da dinâmica costeira, em setores com significativas variações de batimetria e que possuem alta disponibilidade sedimentar. A metodologia aplicada nesta pesquisa baseou-se na análise de imagens de satélite ou foto aéreas, aplicação de técnicas de geoprocessamento e verificação em campo e está dividida em quatro capítulos. O primeiro discorre sobre a caracterização morfológica das feições e sua evolução temporal. Para tal, foram utilizadas cinco imagens que abrangem um intervalo de 78 anos. Por meio da vetorização de polígonos sobre os perímetros dessas ilhas-barreira e posterior comparação, foi possível observar que a configuração das mesmas tornou-se mais afilada, compatível com o desenvolvimento clássico de ilhas-barreiras em sistemas abrigados, e há uma movimentação em direção norte e à costa leste da Lagoa da Conceição. O segundo capítulo discorre sobre a aplicação da extensão para ArcGIS *Wind Fetch and Wave Model*, a qual identificou os setores mais expostos à ação do vento e quais direções do mesmo mais influenciam para a geração de ondas que causam retrabalhamento das feições. Verificou-se que a direção de vento dominante sobre o sistema lagunar é de direção Sul e que as ilhas-barreira fornecem proteção à margem Nordeste da Lagoa da Conceição aos efeitos de ventos e ondas. O terceiro capítulo versa sobre o controle vegetativo das ilhas-barreira, constatou-se que as ilhas-barreira que apresentam alta complexidade vegetal, com presença de espécies arbóreas de grande porte, são mais maduras e apresentam terrenos mais estáveis. O quarto capítulo disserta sobre o comportamento da granulometria sedimentar nas margens das ilhas-barreiras. A análise granulométrica mostrou que as feições são compostas por areia fina, bem selecionada e assimetria simétrica. Após integração dos dados, concluiu-se que as feições arenosas intra-lagunares da Lagoa da Conceição constituem ilhas-barreira de sistemas abrigados ativas construtivas e clássicas, submetidas à direção de vento

dominante no sistema (Sul), controle vegetativo indicado pela presença de vegetação de borda indicando terrenos em processo de estabilização.

Palavras-chave: Laguna Costeira. Sistemas costeiros abrigados. *Wind Fetch and Model*.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the distribution, temporal evolution and hydrodynamic processes associated to the development of the fetch-limited barrier islands of the northeast coast of Lagoa da Conceição. Located in the transition zone between the ocean and the continent, lagoon systems are unique environments with high environmental sensitivity. Their morphology is subject to constant variations although they are inserted in a context of low hydrodynamics. The barrier islands that occur inward sheltered systems are an example of sedimentation environments associated with low energy aqueous bodies. They are formed in places with little exposure to agents of coastal dynamics, in sectors with significant variations in bathymetry and that have high sedimentary availability. The methodology applied in this research was based on the analysis of satellite images or aerial photos, application of geoprocessing techniques, field verification and is divided into four chapters. The first describes the morphological characterization of the features and their temporal evolution. For this, five images covering a range of 78 years were used. Through the generation of polygons on the perimeters of the barrier islands and subsequent comparison, it was possible to observe that the configuration of these islands became sharper, compatible with the classic development of barrier islands in sheltered systems, and there is a movement towards to the east coast of Lagoa da Conceição. The second chapter discusses the application of the ArcGIS Wind Fetch and Wave Model extension, which identified the sectors most exposed to the wind and which directions influence the generation of waves that rework the features. It was verified that the dominant wind direction on the lagoon system is of South direction and that the barrier islands provide protection to the Northeast margin of Lagoa da Conceição to the effects of winds and waves. The third chapter shows the vegetative control of the barrier islands in its margins. It was found that the barrier islands that present high plant complexity, with presence of large arboreal species, are more mature and present more stable terrains. The fourth chapter discusses the behavior of sedimentary granulometry on the banks of the islands-quarries. The granulometric analysis showed that the features are composed of fine sand, symmetrical and well selected. After data integration, it was concluded that the intra-lagunar sandy features of Lagoa da Conceição constitute classic constructive and actives fetch limited barrier-islands, submitted to the dominant wind direction in the system (South), vegetative control

indicated by the presence of edge vegetation suggesting terrains in the process of stabilization.

Keywords: Coastal Lagoon. Sheltered coastal systems. Wind Fetch and Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo. Em 1: Lagoa de Cima; 2: Lagoa do Meio e 3: Lagoa de Baixo.	22
Figura 2: Fluxograma geral das etapas da metodologia.	24
Figura 3: (A) Ilha ativa em Baía de Inhambane, Moçambique. A pista máxima de vento é em direção ao canto inferior direito. (B) Ilha inativa cercada por pântano salgado no estuário de Rio de Plata, Argentina. A forma indica que a ilha já foi ativa, com pista máxima de vento em direção ao canto direito. (C) Ilha antrópica em Laguna Madre, Texas, EUA. Formada a partir de rejeito de dragagem, atualmente modificada por ondas. Fonte: Pilkey <i>et al.</i> (2009).	27
Figura 4: (A) Ilha-barreira clássica, Baía de Maputo, Moçambique. (B) Ilha-barreira de dois lados, ponta sul da Ilha de Tânger, no sul da Baía de Chesapeake, EUA. Fonte: Pilkey <i>et al.</i> (2009).	28
Figura 5: (A) Ilha-barreira de barreiras paralelas. (B) Ilhas-barreira deltaicas. Ambas em Laguna Madre, México. Fonte: Pilkey <i>et al.</i> (2009).	29
Figura 6: (A) Ilha-barreira de fiorde, Golfo San Esteban, Chile. A fonte de sedimentos para essa ilha é o lobo glacial à direita. (B) Ilha-barreira de <i>inlet</i> , Ilha de Xefina, Baía de Maputo, Moçambique. O <i>inlet</i> formou-se nos últimos 20 anos e apresenta dunas de até 5 m de altura, incomum para ilhas-barreira de sistemas abrigados. Fonte: Pilkey <i>et al.</i> (2009).	29
Figura 7: (A) Ilha-barreira de franja de pântano, costa oriental da Baía de Delaware, EUA. (B) Ilha-barreira de termocarste, Golfo de Ob, Rússia. À esquerda, topografia do termocarste no continente, à direita, golfo parcialmente coberto pelo gelo (KUPTSOV & LISITSYI, 2003).	30
Figura 8: Evolução da topografia pré-existente em Laguna Madre, México. A duna de argila afogada (A) com extensa vegetação e escarpa no centro da ilha (B) começa a ser retrabalhada por ondas locais (C) culminando em uma clássica ilha-barreira de sistema abrigado. Este é um exemplo de topografia pré-existente, afogada pelo aumento do nível do mar, retrabalhada por ondas locais e resultando na formação de verdadeiras ilhas-barreira de sistemas abrigados. Fonte: Pilkey <i>et al.</i> (2009).	30
Figura 9: Fluxograma da metodologia.	31

Figura 10: Visão geral do arquipélago de ilhas-barreira estudado, segmentado em cinco grupos de acordo com sua continuidade e semelhança morfológica.	33
Figura 11: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha A....	35
Figura 12: Pontos característicos da Ilha A. (I) Lagoa interna de formato triangular. (II) Afunilamento do segmento. (III) Cobertura vegetal na margem exterior da ilha-barreira. (IV) Limite entre ilhas A e B.....	36
Figura 13: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha B....	37
Figura 14: Pontos característicos da Ilha B. (I) Praia arenosa a norte. (II) e (IV) Cobertura vegetal na margem externa. (III) Cobertura vegetal na margem interna. (V) Praia arenosa na porção sul.	38
Figura 15: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha C....	39
Figura 16: Pontos característicos da Ilha C. (I) Cobertura vegetal na margem exterior. (II) Praia na margem exterior. (III) Pequena ilha desenvolvida no corpo d'água confinado. (IV) Área de banhado no setor sul.....	40
Figura 17: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha D....	41
Figura 18: Pontos característicos da Ilha D. (I) Cobertura vegetal da margem externa. (II) Lagoa interna à oeste. (III) Cobertura vegetal da margem interna. (IV) Esporões arenosos.	42
Figura 19: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha E. ...	43
Figura 20: Pontos característicos da Ilha E. (I) Esporão arenoso. (II) Cobertura vegetal na margem externa.	44
Figura 21: Delimitação poligonal do perímetro do arquipélago de ilhas-barreira nos anos de 1938 (à esquerda) a 2007 (à direita).....	46
Figura 22: Evolução temporal da morfologia do segmento de ilhas-barreira Ilha A.	48
Figura 23: Evolução temporal da morfologia do segmento de ilhas-barreira Ilha B.	50
Figura 24: Evolução temporal da morfologia do segmento de ilhas-barreira Ilha C.	52
Figura 25: Evolução temporal da morfologia dos segmentos de ilhas-barreira ilhas D e E.....	54
Figura 26: Interpolação dos perímetros delimitados para os anos de 1938, 1977 e 2016.	56
Figura 27: Fluxograma da metodologia do Capítulo 2.....	64
Figura 28: Representação do modelo para obtenção da pista de vento utilizando o método do SPM. Modificado de (ROHWEDER <i>et al.</i> , 2012).	65

Figura 29: Rosa dos ventos representativa das condições da Lagoa da Conceição.	70
Figura 30: Cenário para direção Sul (180°), Oeste (270°), Norte (0°), Nordeste (50°) e Leste (90°).	72
Figura 31: Direções de vento com maiores influências sobre o arquipélago de ilhas-barreira.	73
Figura 32: Parâmetros físicos de ondas (altura, comprimento e período) geradas por ventos de direção Sul (180°).	74
Figura 33: Parâmetros físicos de ondas (altura, comprimento e período) geradas por ventos de direção Oeste (270°).	75
Figura 34: Parâmetros físicos de ondas (altura, comprimento e período) geradas por ventos de direção Norte (0°).	76
Figura 35: Parâmetros físicos de ondas (altura, comprimento e período) geradas por ventos de direção Nordeste (50°).	76
Figura 36: Batimetria da área de estudo.	78
Figura 37: Localização dos pontos de controle.	79
Figura 38- Diagrama ETA (Erosão, Transporte e Acreção) para pontos de controle.	79
Figura 39: Velocidades máximas orbitais para os cenários de regime de vento analisados.	80
Figura 40: Áreas com probabilidade de resuspensão de sedimento para os cenários de regime de vento analisados.	81
Figura 41: Área de maior probabilidade de ocorrência de sedimentos em suspensão, calculada pelo programa <i>Wave Model</i>	82
Figura 42: Plataformas densas de mangue (M) desenvolvidos nas margens interna e externa das ilhas-barreira, no alto Golfo de Spencer, sul da Austrália Fonte: Pilkey <i>et.al.</i> (2009).	90
Figura 43: Mapa de cobertura e uso do solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição. Em vermelho, setor de ocorrência das ilhas-barreira analisadas. Fonte: Oliveira, 2016.	92
Figura 44: Exemplos de vegetação observadas: à direita, <i>Juncus</i> sp. e <i>Scirpus</i> sp.; à esquerda, <i>Myrsine parvifolia</i>	95
Figura 45: Vegetação composta de macrófitas aquáticas emergentes enraizadas de porte herbáceo e arbustivo (Ilha A).	96
Figura 46: Exemplos de vegetação da Ilha B. À direita, macrófitas lenhosas enraizadas de porte médio arbustivo e <i>Pinus</i> sp. de grande porte; à esquerda, vegetação lenhosa de maior porte ou arbórea se sobressaindo à arbustiva.	96
Figura 47: Visão geral da Ilha C vista a partir da Ilha D.	97
Figura 48: À direita, pequena ilha presente nas águas confinadas; à esquerda, banhado presente no setor sul da Ilha C.	97

Figura 49: À direita, lagoa interna margeada por franja de <i>Myrsine parviflora</i> e marisma de <i>Scirpus</i> sp. na extremidade; à esquerda, margem interna Ilha D.	98
Figura 50: Visão geral da Ilha E.	98
Figura 51: À direita, pradarias de <i>Ruppia maritima</i> ; à esquerda, margem norte da Ilha E.	98
Figura 52: Mapa de Complexidade Estrutural Vegetativa baseado na presença de sistema de vegetação de borda e nível de complexidade estrutural de cada ilha-barreira.	99
Figura 53: Origem e evolução do sistema lagunar Lagoa da Conceição. A: Primeiro estágio. B: segundo estágio. C: terceiro estágio. D: quarto estágio. Fonte: Caruso Jr. & Frasson (2000).	106
Figura 54: Localização das amostras coletadas.	108
Figura 55: Localização das amostras sedimentares cedidas por Pinto (2015)	111
Figura 56: Localização das amostras coletadas pela Disciplina de Sedimentologia.	111
Figura 57: Distribuição das classes texturais nas amostras.	113
Figura 58: Valores da primeira dimensão encontrados com o MDS associado às classes texturais das amostras de sedimento.	115
Figura 59: Grupos de amostras sedimentares.	116
Figura 60: Mapa representativo da evolução do arquipélago de ilhas-barreira sob atuação dos parâmetros físicos e biológicos.	119
Figura 61: Baía de Chesapeake, EUA. Numerados, os locais estudados pelo autor: (1) James Island, (2) Tar Bay, (3) Shanks Island, (4) Drum Bay, (5) Tangier Island, (6) Watts Island, (7) Poplar Cove e (8). Craddock Neck. Fonte: Cooper, 2013.	123
Figura 62: Localização da Lagoa dos Patos/RS. Modificado de Toldo Jr. <i>et al.</i> (2007).	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: - Compilação dos resultados obtidos através da Ortofoto de 2016	45
Quadro 2: Informações de RMS e escala para as imagens utilizadas.	45
Quadro 3: Classes vegetais e características da Lagoa da Conceição.....	91
Quadro 4: Parâmetros de Estatísticos das amostras analisadas.	114

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	GERAL	21
1.1.2	ESPECÍFICOS:	21
2	ÁREA DE ESTUDO	22
3	METODOLOGIA	24
CAPÍTULO 1		25
4	Evolução Temporal	27
4.1	INTRODUÇÃO	27
4.2	METODOLOGIA	31
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.3.1	Caracterização Morfológica	33
4.3.1.1	Ilha A:	34
4.3.1.2	Ilha B:.....	36
4.3.1.3	Ilha C:.....	38
4.3.1.4	Ilha D:	40
4.3.1.5	Ilha E:.....	42
4.3.2	Análise de Evolução Temporal	45
4.3.2.1	Ilha A	47
4.3.2.2	Ilha B.....	49
4.3.2.3	Ilha C.....	51
4.3.2.3.1	<i>Ilhas A, B e C</i>	53
4.3.2.4	Ilhas D e E.....	53
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
CAPÍTULO 2		59
5	Condições Hidrodinâmicas	61
5.1	INTRODUÇÃO	61
5.2	METODOLOGIA	63
5.2.1	Dados de entrada	63

5.2.1.1	Ventos	63
5.2.1.2	Batimetria:	63
5.2.2	Modelo Hidrodinâmico.....	63
5.2.2.1	Pista de Vento	64
5.2.2.2	Parâmetros de Onda.....	65
5.2.2.3	Parâmetros Sedimentares	67
5.2.3	Integração de Dados	68
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.3.1	Parâmetros Físicos de Vento.....	70
5.3.2	Parâmetros Físicos de Onda	74
5.3.3	Parâmetros Sedimentológicos	77
5.3.3.1	Batimetria	77
5.3.3.2	Diagrama ETA.....	78
5.3.3.3	Máxima Velocidade Orbital.....	80
5.3.3.4	Probabilidade de Sedimento em Suspensão.....	81
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
CAPÍTULO 3	87	
6	Controle Vegetativo	89
6.1	INTRODUÇÃO	89
6.2	METODOLOGIA	94
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	95
6.3.1	Complexidade Vegetal.....	95
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
CAPÍTULO 4	103	
7	Comportamento Sedimentar.....	105
7.1	INTRODUÇÃO	105
7.2	METODOLOGIA	108
7.2.1.1	Coleta de Sedimentos.....	108
7.2.1.2	Processos Laboratoriais	109
7.2.1.3	Análise Estatística.....	110

7.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
7.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117
8	INTEGRAÇÃO DE RESULTADOS.....	119
9	COMPARAÇÕES.....	123
9.1	COMPARAÇÃO ENTRE ILHAS-BARREIRA ABRIGADAS DE DIFERENTES ÁREAS	123
9.2	COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DE ÁREAS ABRIGADAS.....	126
10	CONCLUSÕES	129
11	REFERÊNCIAS.....	133
	APÊNDICE 1.....	141
	APÊNDICE 2.....	143
	APÊNDICE 3.....	145
	APÊNDICE 4.....	150
	APÊNDICE 5.....	152

1 INTRODUÇÃO

As características físicas dos sistemas costeiros estão em constante mudança, sendo condicionadas, entre outros fatores, pelo grau de exposição do meio à incidência de ondas, podendo ser abrigados, semi-abrigados ou expostos. As ilhas-barreira constituem importante feição geomorfológica encontrada nesses sistemas, sendo responsáveis pela formação de ambientes de sedimentação associados (DILLENBURG & HESP, 2009). Sua origem está diretamente relacionada aos eventos de regressão e transgressão do nível do mar e ao crescimento de pontões arenosos, que ao interagir com processos costeiros, como ação de ondas, correntes, marés e eventos meteorológicos, exibem modificações morfodinâmicas significativas (NETO *et al.*, 2004).

A geomorfologia e a morfodinâmica das estruturas costeiras protegidas e de baixa energia receberam muito menos atenção do que as de costas expostas (JACKSON *et al.*, 2002). Como características de costas expostas, as ilhas-barreira têm sido amplamente estudadas em todo o mundo, especialmente na América do Norte, onde ocorrem mais de 35% delas (STUTZ & PILKEY, 2011). Os estudos de Hoyt (1967), Schwartz (1973), Dolan (1972), Oertel (1985), Davis (1992; 1994), Hayes (1994), Riggs *et al.* (1995) e Pilkey (2003) consistem em importantes avaliações dos processos evolutivos dessas estruturas.

Globalmente, o comprimento das margens de baixa energia ultrapassa em muito as de alta energia (JACKSON *et al.*, 2002), entretanto, a ocorrência de ilhas-barreira em sistemas abrigados é muito menos documentada e compreendida do que as contrapartes de alta energia, nunca tendo sido descritas de forma sistemática. Em sistemas expostos, as ilhas-barreira correspondem a 20.000 km do oceano aberto do mundo (aproximadamente 10%), apresentando cerca de 2.200 exemplos (CROMWELL, 1973; STUTZ & PILKEY, 2011), enquanto em litorais protegidos e de baixa energia Cooper *et al.* (2007a) e Pilkey *et al.* (2009) documentaram 15.000 ocorrências.

Os mecanismos de formação das ilhas-barreira oceânicas e de sistemas abrigados são os mesmos: ruptura continental, inundação, erosão da topografia existente e deriva litorânea de sedimentos, porém os níveis de energia envolvidos na formação dos exemplos abrigados são muito inferiores, conseqüentemente, elas são muito menores.

Algumas das ilhas-barreira submetidas à pista de vento limitada, em especial as localizadas no Hemisfério Sul, foram barreiras costeiras

até a diminuição do nível do mar do Holoceno e se mantém ativas somente quando há um regime de tempestade (COOPER, 2013).

Segundo Cooper *et al.* (2007b), as ilhas-barreira de sistemas abrigados são encontradas em todos os continentes, exceto na Antártida. Também existem em todos os tipos de climas costeiros, mas são mais abundantes em temperados (por exemplo, Costa Atlântica, EUA) e zonas subtropicais úmidas (por exemplo, Moçambique).

Os critérios convencionais utilizados para designação de uma ilha-barreira em sistema abrigado baseiam-se na definição de Oertel (1985) para ilhas expostas, que requerem a totalidade ou a maioria dos seis componentes geomorfológicos conectados: um corpo alongado e de sedimento não consolidado (tipicamente areia); presença de laguna à retaguarda; corpo de água defronte; delimitação por enseadas com deltas de maré; acomodação sobre uma plataforma de barreira e fornecimento de proteção à costa do continente. Porém, a escassez de estudos sobre ilhas-barreira abrigadas e a falta de uma metodologia consagrada para a determinação das mesmas podem resultar em classificações equivocadas de estruturas arenosas.

Alguns autores contestam a classificação de ilhas-barreira em ambientes abrigados. Otvos (2010) questionou a utilização do termo “barreira”, pois em vários casos essa designação entra em conflito com a terminologia costeira convencional. Algumas das formas de relevo classificadas não seriam ilhas-barreira de sistemas abrigados, mas feições como sulcos praias no continente que margeiam manguezais, planície de saída glacial e/ou superfícies costeiras de fiorde ao longo da costa continental.

Autores como Davis (1992; 1994), Fisher e Goodfellow (1982), Oertel (1985) e Neuendorf *et al.* (2005) indicaram que as características fundamentais dessas estruturas são a posição e a função de uma ilha como uma barreira alongada e estreita que fica ao mar, fora da porção continental, representando um limite acentuado entre as configurações contrastantes de batimetria e sedimentologia. As ilhas-barreira separam as bacias costeiras salgadas rasas (e.g.: baías, lagunas alongadas), geralmente caracterizadas por fundos lamacentos, das bacias marinhas profundas, fornecendo isolamento físico e biológico e principalmente mitigando influências marinhas críticas, incluindo influxo de areia de alto mar, salinidades marinhas altas e impacto de tempestade (OTVOS, 2010).

As forçantes de vento, assim como outros fatores hidrodinâmicos e fontes de sedimentos pertinentes, desempenham papel importante tanto nas funções quanto no desenvolvimento contínuo das ilhas-

barreira expostas. No entanto, o uso dessa designação para uma infinidade de outras formas de relevo, tanto em contextos paralelos como em contextos *offshore*, é censurável (OTVOS, 2010). O autor (*op. cit.*) questiona os trabalhos de Davis (1994) e Lewis *et al.* (2005) e o emprego dado pelos autores à palavra “barreira” para as ilhas de baías que, sob a influência da pista de vento curta e da fraca deriva litorânea, podem desenvolver praias pequenas e cumes de areia. Apesar disso, a função crucial de “barreira” está completamente ausente nessas ilhas, resultando em uma aplicação confusa e inválida do termo ilha-barreira.

Neste contexto, a proposta deste trabalho consiste no estudo de um arquipélago de ilhas-barreira de sistema abrigado que ocorre no setor nordeste da Lagoa da Conceição, visando sua classificação quanto aos parâmetros discriminatórios de ilhas-barreira. Para tal, a dissertação está dividida em quatro capítulos. O primeiro versa sobre a caracterização morfológica dessas feições, o segundo sobre as condições hidrodinâmicas do meio no qual estão inserida, o terceiro sobre o controle vegetativo nas feições e o quarto sobre comportamento da granulometria sedimentar da área de estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar as ilhas-barreira de sistemas abrigados da Lagoa da Conceição, analisando seu processo de formação, comportamento nas últimas décadas e composição vegetal e granulométrica.

1.1.2 ESPECÍFICOS:

- Avaliar o comportamento morfológico das ilhas-barreira em diferentes escalas temporais utilizando fotos e imagens aéreas;
- Caracterizar o processo de retrabalhamento dessas feições por ventos e ondas de acordo com as características hidrodinâmicas da Lagoa da Conceição;
- Avaliar a influência do controle vegetativo sobre a morfologia das ilhas-barreira;
- Caracterizar o comportamento da granulometria sedimentar sobre as ilhas-barreira;
- Classificar as ilhas-barreira de acordo com os critérios propostos por Oertel (1985).

2 ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa da Conceição está localizada na porção leste da Ilha de Santa Catarina, centrada na latitude $27^{\circ} 34' S$ e longitude $48^{\circ} 27' W$. Possui área total aproximada de $19,2 \text{ km}^2$, $13,5 \text{ km}$ de extensão no eixo N-S e largura variável entre $0,15$ e $2,5 \text{ km}$ (MUEHE & CARUSO JR., 1999). Segundo Andrade (2001), ela pode ser dividida em três compartimentos: Lagoa de Baixo (subsistema sul), Lagoa do Meio (subsistema central) e Lagoa de Cima (subsistema norte), sendo que nesta última estão localizadas as feições em análise (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

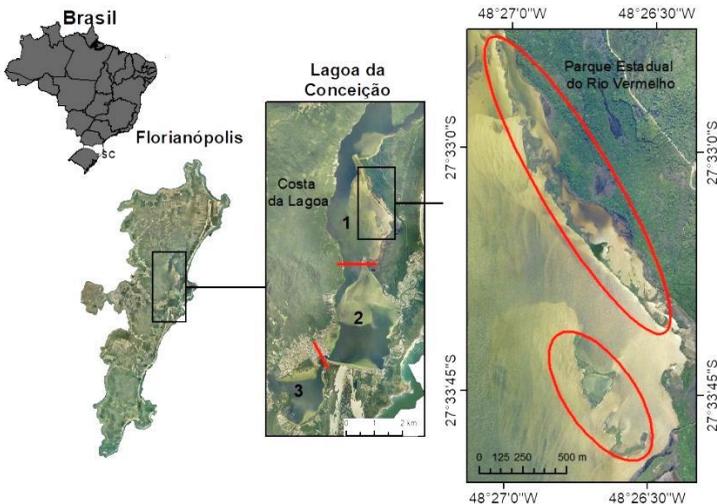


Figura 1: Localização da área de estudo. Em 1: Lagoa de Cima; 2: Lagoa do Meio e 3: Lagoa de Baixo.

Por constituir um corpo d'água orientado paralelamente à linha de costa, estar separada do oceano por uma barreira e conectada a ele por um canal, a Lagoa da Conceição é classificada geomorfológicamente como uma laguna. Adicionalmente, devido à sua conexão restrita com o oceano e por apresentar como força dominante a do vento e eventos de estratificação intermitentes serem observados devido à radiação solar e escoamento superficial do continente para a laguna, é discriminada como uma laguna sufocada (KJERFVE, 1994). A conexão com o mar é feita através de um longo e estreito canal, de $2,5 \text{ km}$ de extensão e largura variando entre 20 e 40 m , denominado Canal

da Barra, cuja foz localiza-se em frente ao mar aberto, na praia Barra da Lagoa (ANDRADE, 2001).

O Canal da Barra constitui o único aporte de água salgada, entretanto a Lagoa da Conceição também recebe aportes de água doce provenientes de precipitações, escoamento superficial ou drenagem de pequenos córregos e rios, como o rio João Gualberto Soares. Situado no extremo norte do sistema lagunar, este rio apresenta bacia hidrográfica de 4 km², contribuindo com uma vazão média de 1 m³/s, medida nas proximidades da foz (DUTRA, 1990).

A Lagoa da Conceição está situada em uma planície costeira, sendo o seu substrato constituído por depósitos marinhos de idade quaternária. Sua origem está relacionada aos movimentos de transgressão e regressão do nível do mar ocorridos no Pleistoceno e Holoceno (CARUSO JR., 1993). Essas oscilações eustáticas permitiram a formação de depósitos sedimentares com diferentes características texturais e mineralógicas ao longo da planície. O retrabalhamento desses depósitos, principalmente quando a Lagoa esteve submersa, determinaram sua morfologia atual (MUEHE & CARUSO JR., 1989).

Os autores (*op. cit.*) descreveram as margens lagunares. À oeste é constituída por encostas altas e íngremes do complexo cristalino, em geral com praias pouco desenvolvidas, formadas por sedimentos arenosos imaturos trazidos pelos pequenos córregos. À leste, no seu segmento norte, é constituída por um largo campo de areias de origem marinha, cujo limite oceânico é formado pela praia de Moçambique e que se estende a sul até a elevação cristalina do Morro da Galheta. A porção sul corresponde a um extenso campo de dunas, associado à praia da Joaquina, que se desenvolveu sobre depósitos marinhos e lagunares, sendo responsável pelo isolamento dessa porção do corpo lagunar.

Seguindo Odebrecht & Caruso Jr. (1999), a partir de 1982 evidencia-se um processo de salinização da Lagoa da Conceição, passando de cerca de 41% de água marinha para uma situação atual de água praticamente marinha, com salinidade correspondente a 91% da água do mar (ANDRADE, 2001).

3 METODOLOGIA

O procedimento analítico utilizado para discriminação das ilhas-barreira fundamentou-se em três etapas, divididas em dois grandes grupos de atividade: análise espacial em SIG e verificação de campo (Figura 2). O geoprocessamento consistiu na caracterização das feições e análise temporal da evolução destas, por meio de imagens de satélite e fotografias aéreas; e aplicação da extensão *Wind Fetch and Wave Model* para avaliação das condições hidrodinâmicas. A verificação de campo compreendeu a caracterização da cobertura vegetal e composição sedimentar.

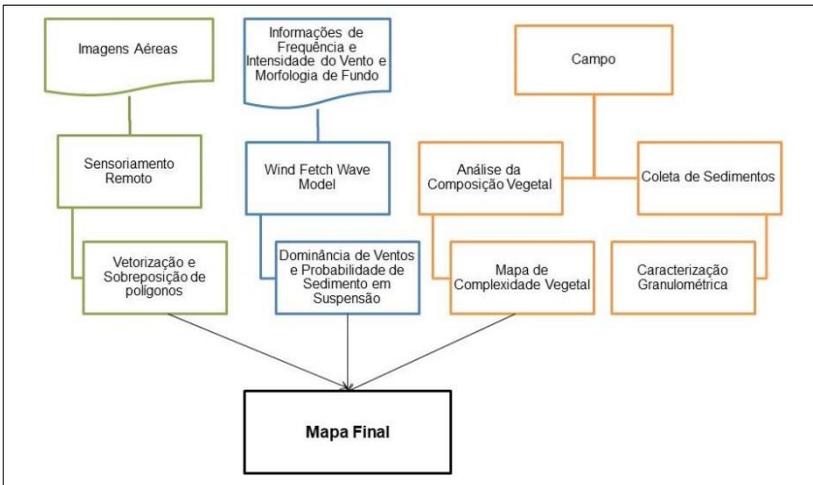


Figura 2: Fluxograma geral das etapas da metodologia.

A integração da análise da variação temporal do arquipélago de ilhas-barreira por meio de comparação vetorial, adicionada à atuação dos ventos e ondas dominantes no sistema, morfologia de fundo, probabilidade de sedimento em suspensão e controle vegetativo gerou o mapa final. Este mapa consiste na representação integrada das características do arquipélago de ilhas-barreira no contexto das características físicas e biológicas locais.

CAPÍTULO 1

Evolução Temporal

4 Evolução Temporal

4.1 INTRODUÇÃO

As ilhas-barreira de sistemas abrigados podem ser classificadas em ativas, inativas ou de origem antrópica. As ativas continuam sujeitas aos efeitos de ondas e correntes que causam alterações permanentes construtivas ou destrutivas. Quando estão cercadas por manguezal ou marisma, que as protegem das tempestades e das modificações associadas à dinâmica sedimentar, são consideradas inativas. As de origem antrópica, mais abundantes e difíceis de distinguir, estão associadas a dragagens, manutenção de canais de navegação e recifes artificiais (COOPER *et al.*, 2007a).

Pilkey *et al.* (2009) caracterizaram globalmente a geomorfologia das ilhas-barreira de sistemas abrigados com base nas definições propostas por Oertel (1985). Os autores (*op. cit.*) reconheceram as três categorias amplas, citadas anteriormente (Figura 3).



Figura 3: (A) Ilha ativa em Baía de Inhambane, Moçambique. A pista máxima de vento é em direção ao canto inferior direito. (B) Ilha inativa cercada por pântano salgado no estuário de Rio de Plata, Argentina. A forma indica que a ilha já foi ativa, com pista máxima de vento em direção ao canto direito. (C) Ilha antrópica em Laguna Madre, Texas, EUA. Formada a partir de rejeito de dragagem, atualmente modificada por ondas. Fonte: Pilkey *et al.* (2009).

Pilkey *et al.* (2009) distinguiram, ainda, outros oito tipos amplos de ilhas-barreira de sistemas abrigados, de acordo com sua configuração geológica/oceanográfica e morfologia. São elas (em tradução livre): clássicas (“classic”), de dois lados (“two-sided”), barreiras paralelas (“backbarrier parallel”), deltaicas (“deltaic”), de fiordes (“fjord-head”), de inlet (“inlet”), de franja de pântano salgado (“marsh fringe”) e de termocarste (“thermokarst”). Uma breve descrição proposta por esses autores encontra-se a seguir.

As ilhas-barreira clássicas assemelham-se em forma e comportamento às ilhas-barreira de sistemas expostos. Apresentam um lado mais exposto e outro lado de ‘águas calmas’. Também estão sujeitas a variação de maré, com tamanho e morfologia que refletem predominância de condições oceanográficas. (Figura 4A). Ilhas-barreira de dois lados apresentam pistas de vento aproximadamente similares em duas direções perpendiculares ao longo do maior eixo da ilha. (Figura 4B).

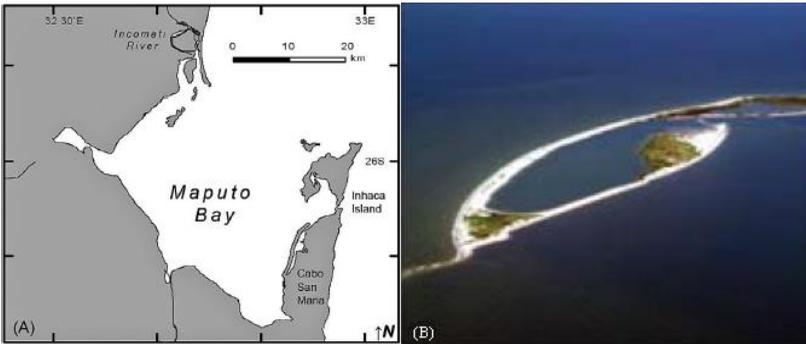


Figura 4: (A) Ilha-barreira clássica, Baía de Maputo, Moçambique. (B) Ilha-barreira de dois lados, ponta sul da Ilha de Tânger, no sul da Baía de Chesapeake, EUA. Fonte: Pilkey *et al.* (2009).

Ilhas-barreira de barreiras paralelas formam longos arquipélagos de ilhas em direção à terra e paralelos às ilhas-barreira de sistemas expostos, separados por intervalos de alguns metros a dezenas de metros (Figura 5A). Ilhas-barreira deltaicas desenvolvem curtos arquipélagos de ilhas ao longo das bordas dos deltas dos rios que deságuam em ambientes abrigados (Figura 5B).



Figura 5: (A) Ilha-barreira de barreiras paralelas. (B) Ilhas-barreira deltaicas. Ambas em Laguna Madre, México. Fonte: Pilkey *et al.* (2009).

Ilhas-barreira de fiorde são semelhantes em forma às deltaicas, porém se formam na margem de uma planície de degelo de geleira ativa em direção ao mar (Figura 6A). Ilhas-barreira de *inlet* desenvolvem-se em deltas de inundação dentro de lagoas imediatamente atrás de desembocaduras de ilhas-barreira de sistemas expostos (Figura 6B).



Figura 6: (A) Ilha-barreira de fiorde, Golfo San Esteban, Chile. A fonte de sedimentos para essa ilha é o lobo glacial à direita. (B) Ilha-barreira de *inlet*, Ilha de Xefina, Baía de Maputo, Moçambique. O *inlet* formou-se nos últimos 20 anos e apresenta dunas de até 5 m de altura, incomum para ilhas-barreira de sistemas abrigados. Fonte: Pilkey *et al.* (2009).

Ilhas-barreira de franja de pântano formam-se como sedimentos cobertos por sal nas margens de um pântano salgado (Figura 7A). Ilhas-barreira de termocarste desenvolvem-se quando o tundra permafrost erode e os fragmentos se encaham em um ambiente de pista de vento limitada (Figura 7B).

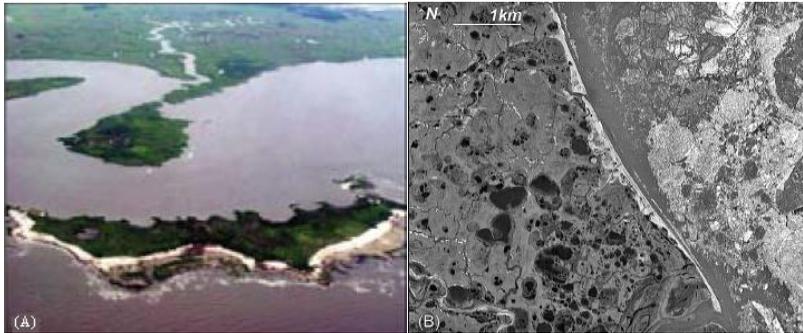


Figura 7: (A) Ilha-barreira de franja de pântano, costa oriental da Baía de Delaware, EUA. (B) Ilha-barreira de termocarste, Golfo de Ob, Rússia. À esquerda, topografia do termocarste no continente, à direita, golfo parcialmente coberto pelo gelo (KUPTSOV & LISITSYI, 2003).

Uma diferença notável em grandes escalas temporais é o efeito das flutuações do nível do mar. Considerando que o efeito morfológico das mudanças no nível do mar é similar tanto para as ilhas-barreira de sistemas abrigados quanto para sistemas expostos, as ilhas-barreira abrigadas podem responder mais rapidamente a essas mudanças, devido ao menor volume de sedimentos, menor suprimento de areia e menor tamanho (PILKEY *et al.*, 2009) (Figura 8).

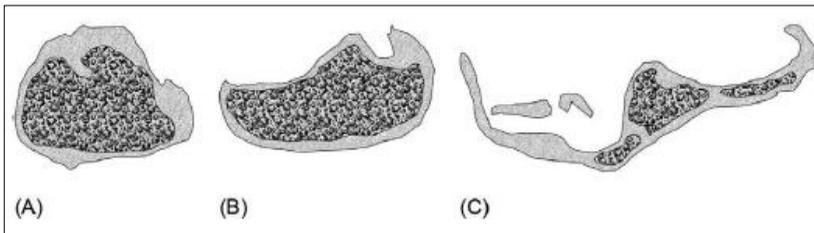


Figura 8: Evolução da topografia pré-existente em Laguna Madre, México. A duna de argila afogada (A) com extensa vegetação e escarpa no centro da ilha (B) começa a ser retrabalhada por ondas locais (C) culminando em uma clássica ilha-barreira de sistema abrigado. Este é um exemplo de topografia pré-existente, afogada pelo aumento do nível do mar, retrabalhada por ondas locais e resultando na formação de verdadeiras ilhas-barreira de sistemas abrigados.

Fonte: Pilkey *et al.* (2009).

4.2 METODOLOGIA

Este capítulo discorre sobre a morfologia do arquipélago de ilhas-barreira analisado e sua evolução temporal. Para tal, foram realizadas técnicas de geoprocessamento e interpretação visual (Figura 9).

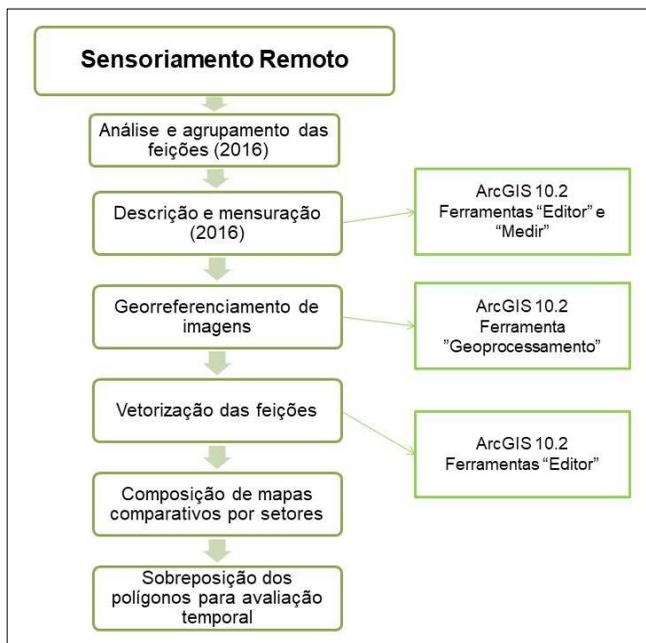


Figura 9: Fluxograma da metodologia.

A caracterização da configuração atual das ilhas-barreira foi realizada com base em uma ortofoto do Município de Florianópolis do ano de 2016, cedida pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF). Foram utilizadas ferramentas de edição e medição disponíveis no *software* ArcGIS 10.2.

Essa ortofoto foi utilizada como base para criação de polígonos da margem leste da Lagoa da Conceição e do perímetro das feições arenosas analisadas. Por meio destes polígonos e da avaliação da ortofoto da área de estudo determinou-se a quantidade de feições ilhas-barreira que formam o arquipélago, seus comprimentos, orientações e proximidade com a margem.

As ilhas-barreira foram analisadas por grau de similaridade morfológica e organizadas em conjuntos para análise individual. Para

cada um desses conjuntos foram confeccionados mapas contendo as dimensões das feições, distâncias entre si e proximidade com a margem.

A evolução espacial das feições arenosas foi avaliada por meio de duas fotografias aéreas (1938 e 1977) e três imagens de satélites (2002, 2007 e 2016), adquiridas através do IPUF, contemplando um intervalo de 78 anos. O georreferenciamento foi realizado com base na imagem de 2016, utilizando a ferramenta de Geoprocessamento do *software* ArcGIS 10.2. Para a análise da variação da configuração e disposição espacial do arquipélago de ilhas-barreira foram elaborados polígonos delimitando o perímetro em cada uma das cinco imagens, e os três mais informativos foram sobrepostos para avaliar qualitativamente sua evolução.

Devido à baixa resolução das imagens áreas e baixa qualidade geométrica, não foi possível realizar uma avaliação quantitativa em relação à proximidade das feições e variação de suas extensões. Com a análise da morfologia das feições arenosas como orientação, proximidade da margem, comprimento, por outro lado, foi possível classificar as feições e sua tipologia como ilhas-barreira de acordo com os trabalhos realizados por Cooper *et al.* (2007a, 2007b), e principalmente com o trabalho “*Global Distribution and Geomorphology of Fetch-Limited Barrier Islands*” de Pilkey *et al.* (2009).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Caracterização Morfológica

O arquipélago de ilhas-barreira estudado foi segmentado em cinco grupos menores (Ilha A a E), de acordo com sua continuidade e semelhanças morfológicas (Figura 10).

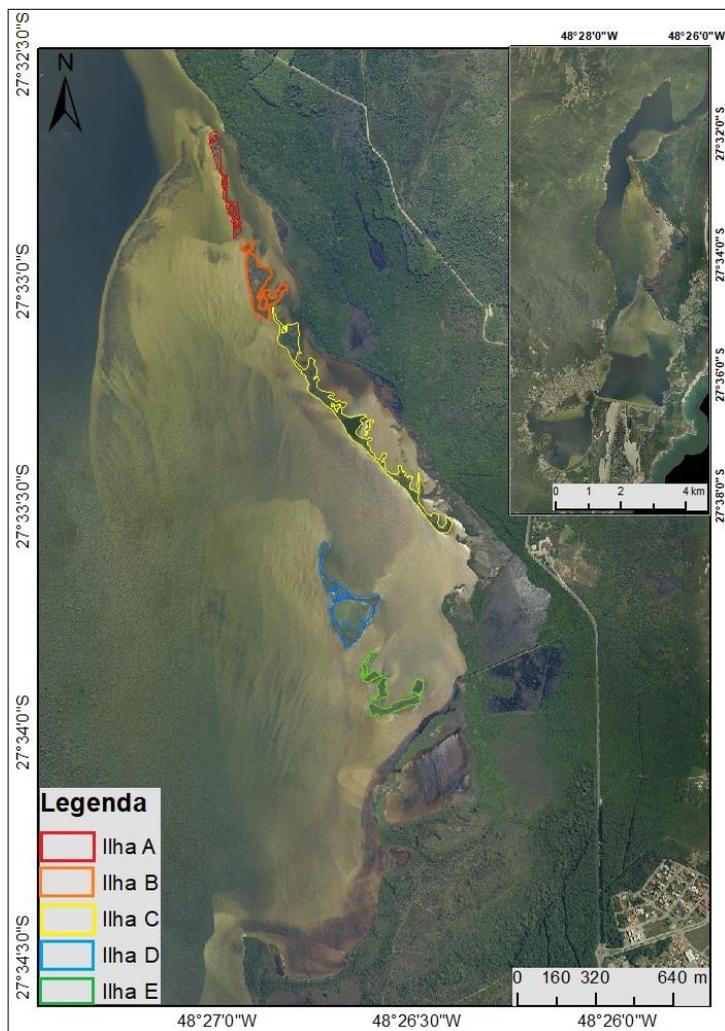


Figura 10: Visão geral do arquipélago de ilhas-barreira estudado, segmentado em cinco grupos de acordo com sua continuidade e semelhança morfológica.

Nas descrições a seguir, o termo “corpo d’água exposto” refere-se à massa de água entre o limite externo da ilha-barreira e a Lagoa da Conceição e o termo “corpo d’água confinado” à massa de água entre a margem interior da ilha-barreira e a margem leste da Lagoa da Conceição.

Por toda a extensão do arquipélago de ilhas-barreira observa-se no corpo d’água confinado a presença de sedimentos (identificados em campo como sendo lamosos devido à presença de matéria orgânica) e variação abrupta de profundidade, cuja morfologia de fundo torna-se mais rasa a sul, formando um banhado. No corpo d’água exposto, há a formação de praias e a variação de profundidade é amena, sendo que da porção mediana do seguimento até o extremo sul não há alteração.

A seguir, cada um dos cinco grupos foi analisado individualmente.

4.3.1.1 Ilha A:

O segmento do arquipélago de ilhas-barreira denominado Ilha A corresponde às feições localizadas ao norte do conjunto.

Apresentando 443,52 m de comprimento, esse segmento é o segundo maior do arquipélago. A distância entre sua margem interna e a margem leste da Lagoa da Conceição varia de 23,62 m no extremo norte ao máximo de 125,3 m na porção mediana. O corpo d’água confinado entre essas margens apresenta profundidade máxima de 1,5 m. Exibe formato afilado, com margens tanto interna quanto externas levemente recortadas. Seu extremo norte é arredondado, enquanto o sul é pontiagudo (Figura 11).

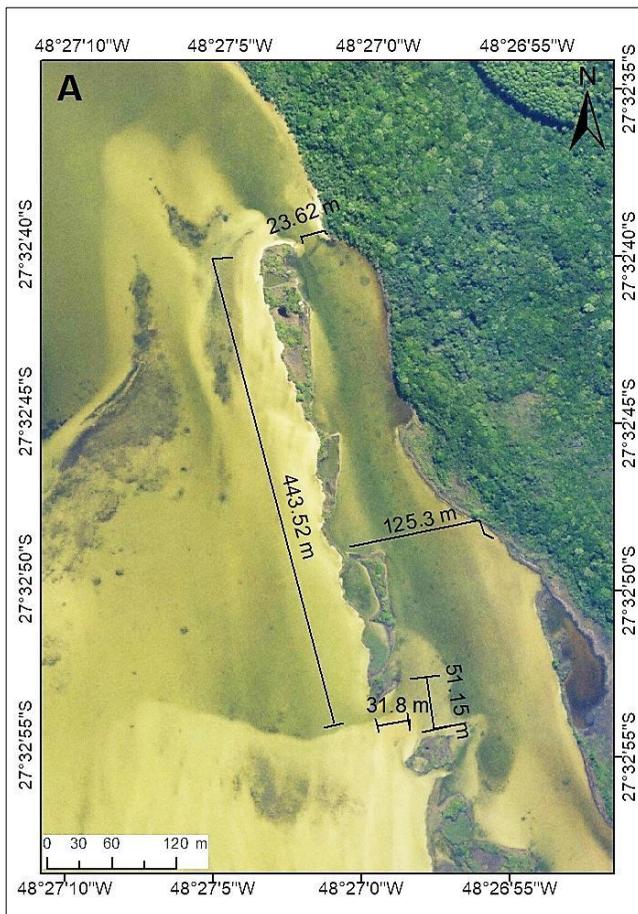


Figura 11: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha A.

A Ilha A não apresenta praias bem desenvolvidas, a vegetação densa desenvolve-se até os limites das margens da ilha-barreira. Apresenta lagoas internas dispersas ao longo da extensão. No extremo norte há uma lagoa interna de formato triangular, com 24 m no maior eixo de alongamento, na qual há um esporão arenoso em estágio avançado de desenvolvimento em seu limite superior; e no setor sul uma com 106 m de comprimento, em processo de divisão devido ao desenvolvimento de um pontal arenoso densamente coberto por vegetação.

A Figura 12 a seguir ilustra quatro pontos característicos da Ilha A:

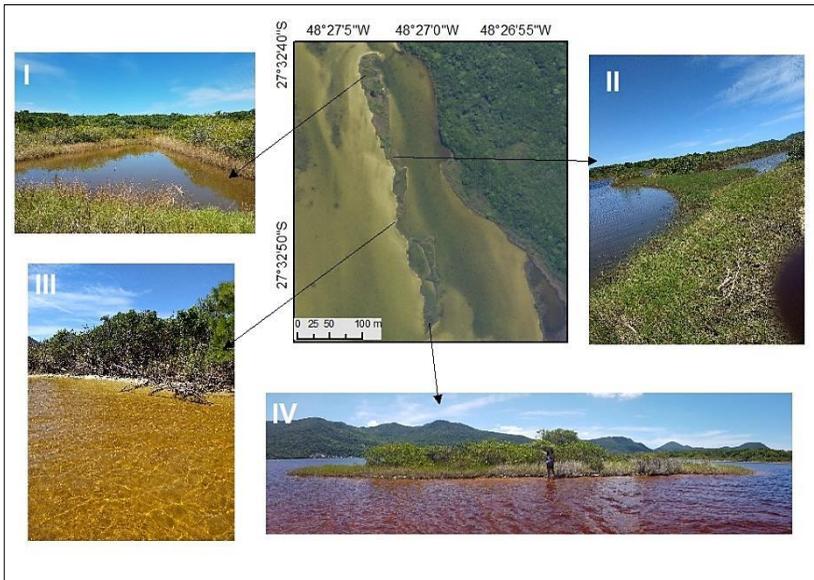


Figura 12: Pontos característicos da Ilha A. (I) Lagoa interna de formato triangular. (II) Afunilamento do segmento. (III) Cobertura vegetal na margem exterior da ilha-barreira. (IV) Limite entre ilhas A e B.

Em (I) observa-se a lagoa interna de formato triangular citada anteriormente. (II) detalha um ponto de afunilamento da ilha-barreira, responsável pela continuidade do segmento. Na imagem é possível perceber a proximidade entre o corpo d'água confinado e uma lagoa interna. Na foto (III) está representada a margem exterior da ilha-barreira, com praia pouco desenvolvida e densa cobertura vegetal. (IV) mostra o limite entre a Ilha A e a Ilha B, descrita a seguir.

4.3.1.2 Ilha B:

A uma distância de 51,15 m da Ilha A, a Ilha B representa um segmento de 318,75 m de comprimento, composto por um conjunto de duas ilhas separadas por 10,97 m. Sua largura varia de 42,96 a 95,52 m, apresenta morfologia recortada com presença de grandes lagoas internas e semiabertas. Sua margem externa é retilínea, enquanto a interior é recortada. Suas extremidades variam entre pontiagudas e arredondada (Figura 13).

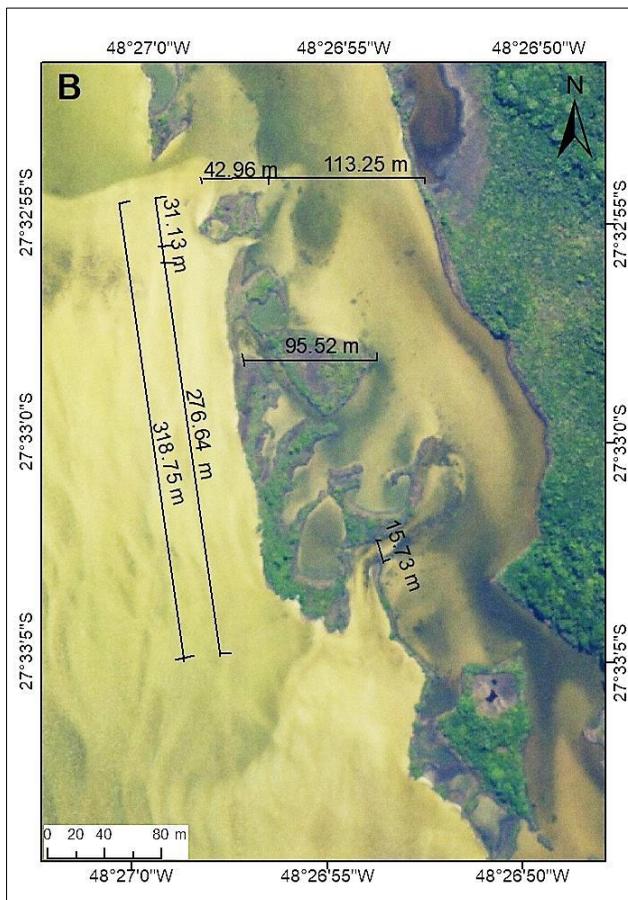


Figura 13: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha B.

A Ilha B apresenta a maior largura de todo o conjunto. Forma as praias mais desenvolvidas de todo o arquipélago de ilhas-barreira e apresenta a cobertura vegetal mais densa, principalmente na sua porção sul. Nessa mesma porção há a presença de uma lagoa interna com 61 m de eixo de maior alongamento. O crescimento de esporões arenosos resulta na formação de lagoas semiabertas no sentido do corpo d'água confinado.

A seguir, a Figura 14 exibe cinco pontos característicos da Ilha B, focando em sua diversidade vegetal e formação de praias:

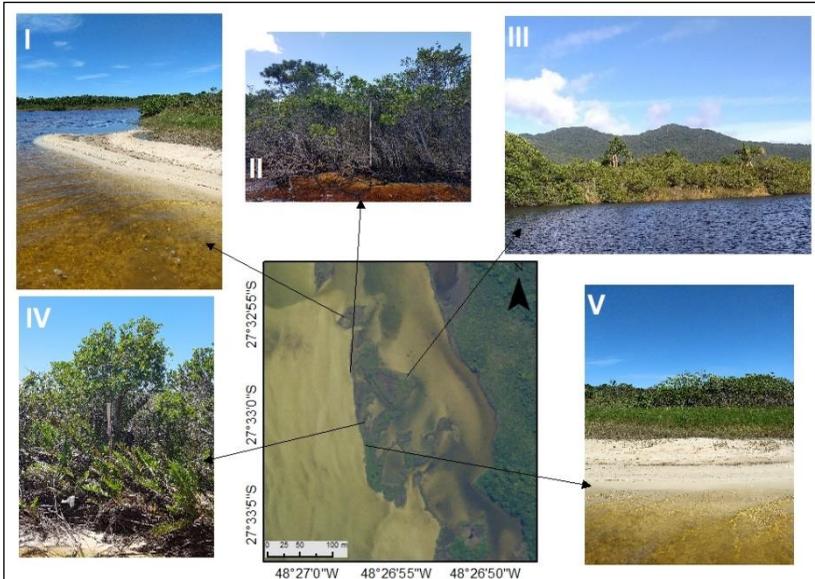


Figura 14: Pontos característicos da Ilha B. (I) Praia arenosa a norte. (II) e (IV) Cobertura vegetal na margem externa. (III) Cobertura vegetal na margem interna. (V) Praia arenosa na porção sul.

As fotos (I) e (V) exemplificam praias arenosas bem desenvolvidas, na pequena ilha a norte e na porção sul, respectivamente. Em (II) e (IV) são mostradas a densa cobertura vegetal na margem externa da ilha-barreira, com espécies altas e de tronco fino. (III) mostra a cobertura vegetal vista da margem interna da Ilha B, com espécies de altura levemente inferior às da externa.

4.3.1.3 Ilha C:

Separada por apenas 15,73 m da Ilha B, a Ilha C é o maior segmento do arquipélago de ilhas-barreira, com 1.174,71 km de comprimento. A distância entre a margem interna e a margem leste da Lagoa da Conceição varia entre o mínimo de 60,17 e o máximo 179,73 m, ambos no setor norte do segmento. Apresenta esporões arenosos em direção ao corpo d'água confinado bem desenvolvidos no setor norte, ao sul estes esporões são mais ocorrentes e menos desenvolvidos, formando uma margem interna recortada. Sua margem externa é retilínea, levemente mais recortada no setor norte. Assim como a Ilha A, seu formato geral é afilado (Figura 15).

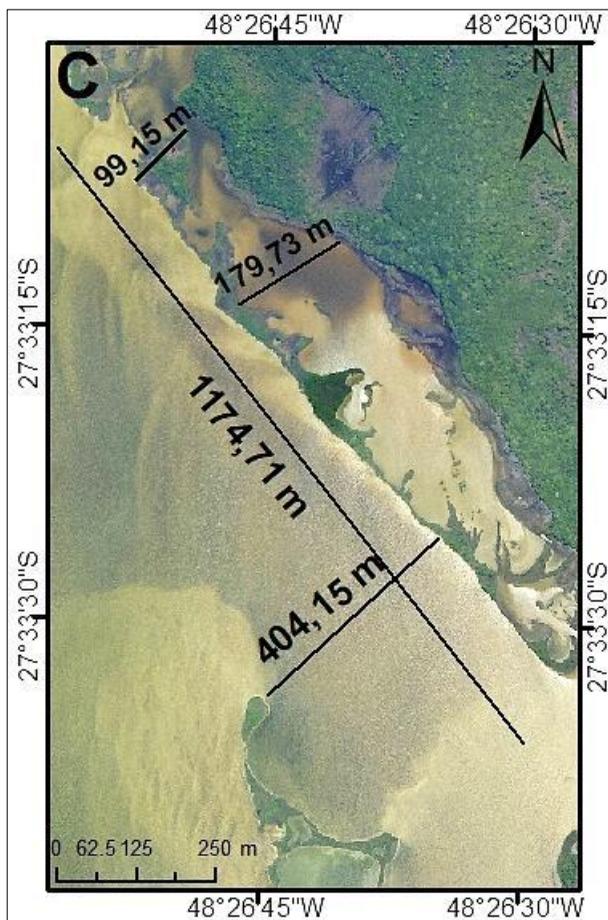


Figura 15: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha C.

Este segmento é formado por quatro bancos de sedimentos consolidados, ligados por um cordão de espessura estreita. Notam-se ainda pequenos bancos arenosos entre a margem interna e a margem da Lagoa da Conceição. Apresenta vegetação densa e variada, com predomínio de espécies altas e praias bem desenvolvidas.

Foram seleccionados quatro pontos característicos da Ilha C, apresentados na Figura 16 a seguir:

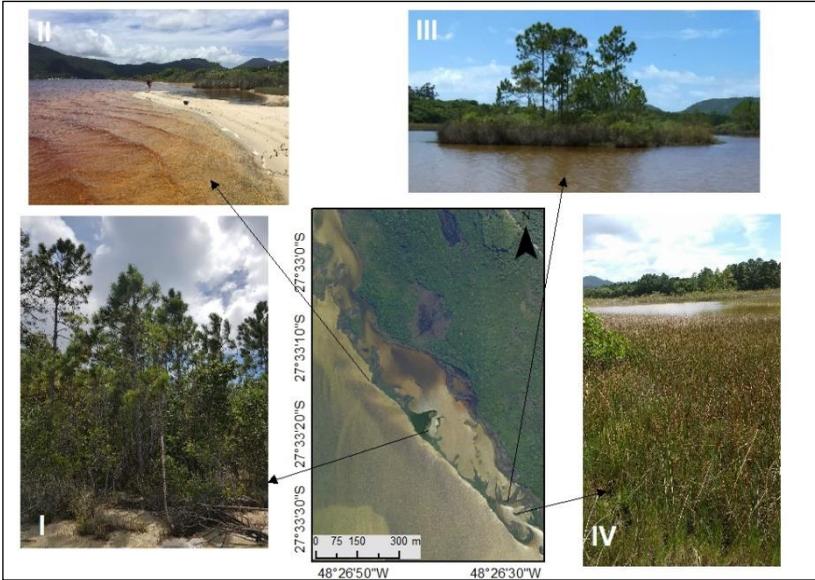


Figura 16: Pontos característicos da Ilha C. (I) Cobertura vegetal na margem exterior. (II) Praia na margem exterior. (III) Pequena ilha desenvolvida no corpo d'água confinado. (IV) Área de banhado no setor sul.

Em (I) está representada a cobertura vegetal da área, composta principalmente por espécies altas e de tronco fino, semelhante à Ilha B. (II) ilustra uma praia da margem exterior do segmento, bem desenvolvida. A imagem (III) exemplifica uma pequena ilha desenvolvida entre a margem interna da ilha-barreira e a margem leste da Lagoa da Conceição, com vegetação densa e de porte variável. A foto (IV) mostra uma área de banhado no extremo sul do segmento, com corpo d'água confinado margeado por densa vegetação de pequeno porte.

4.3.1.4 Ilha D:

O segmento de ilha-barreira Ilha D está localizado paralelamente ao setor sul da Ilha C, separado desta por 404,15 m em direção ao interior da Lagoa da Conceição. Apresenta 432,97 m de comprimento e lagoas internas, com destaque à uma ocorrência semicircular com 158,47 m de eixo de maior alongamento. Seu formato geral é levemente triangular, cujas extremidades são arredondadas e a margem externa apresenta-se bem recortada. A margem interna é dividida entre um setor

de orientação NE, semicircular e pouco recortado, e um setor SE retilíneo, também pouco recortado (Figura 17).

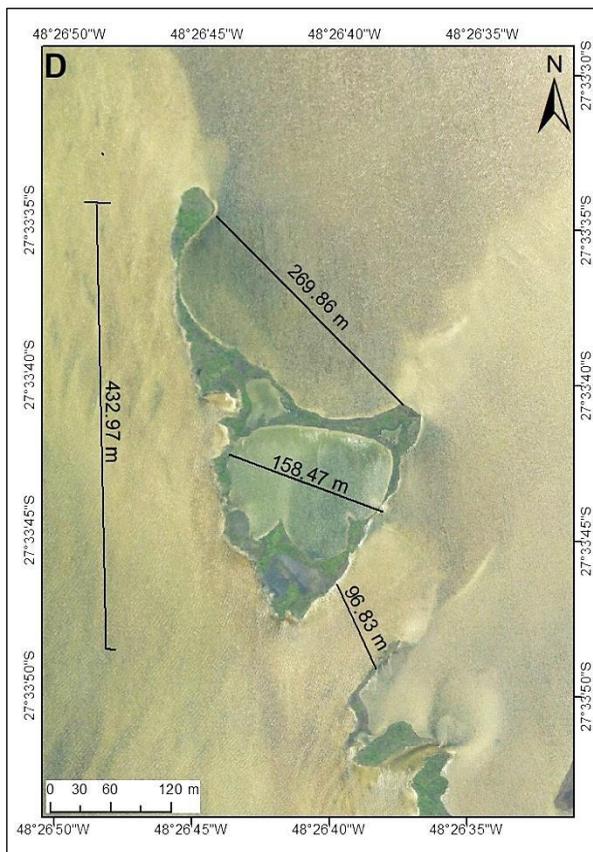


Figura 17: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha D.

Ocorrem, ainda, duas outras lagoas internas distinguíveis, uma delas à oeste e outra à leste, como 44 e 20 m de eixo de maior alongamento, respectivamente. Apesar da morfologia recortada e da presença de grandes lagoas internas, não é observada nenhuma quebra no segmento. A vegetação encontrada é predominantemente arbustiva e não há o desenvolvimento de praias.

A seguir, quatro fotos caracterizam o segmento Ilha D (Figura 18):

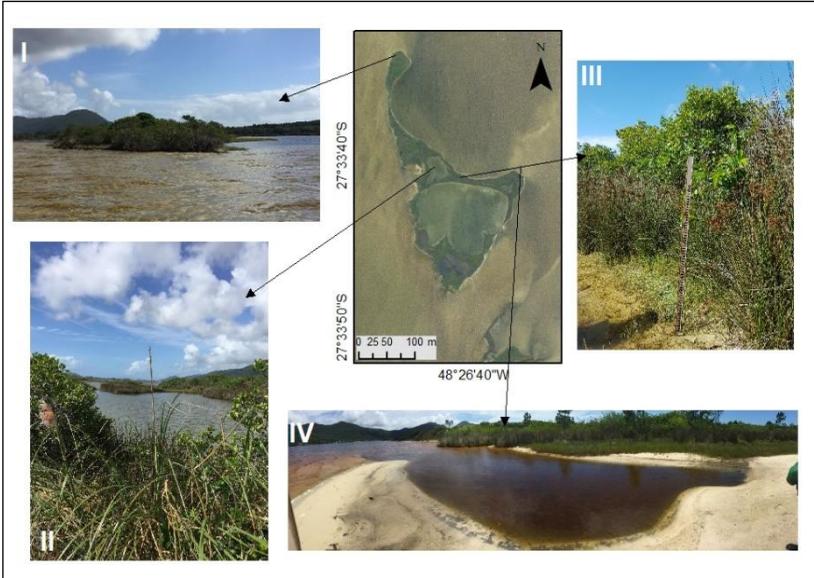


Figura 18: Pontos característicos da Ilha D. (I) Cobertura vegetal da margem externa. (II) Lagoa interna à oeste. (III) Cobertura vegetal da margem interna. (IV) Esporões arenosos.

A foto (I) mostra a vegetação arbustiva de médio porte. (II) ilustra a lagoa interna à oeste, rodeada pela vegetação predominante do segmento. Em (III) está representada a vegetação na margem interna da Ilha D, com presença de espécies de porte mais alto. Em (IV) estão representando esporões arenosos desenvolvidos na margem interna do segmento, cobertos parcialmente por densa vegetação arbustiva.

4.3.1.5 Ilha E:

A 96,83 m a sul da Ilha D, a Ilha E encerra o arquipélago de ilhas-barreira. Apresenta dois segmentos perpendiculares de ilha-barreira com morfologia semelhante. O segmento paralelo à margem leste da Lagoa da Conceição apresenta comprimento de 272,48 m e seu perpendicular 194,43 m.

Seu formato geral é predominantemente retilíneo, com extremidades pontiagudas ou também retilíneas. O segmento paralelo à margem da Lagoa da Conceição apresenta margens externas com pouco recorte, enquanto as internas apresentam forte recorte. As margens do setor perpendicular são ordinariamente retilíneas (Figura 19).

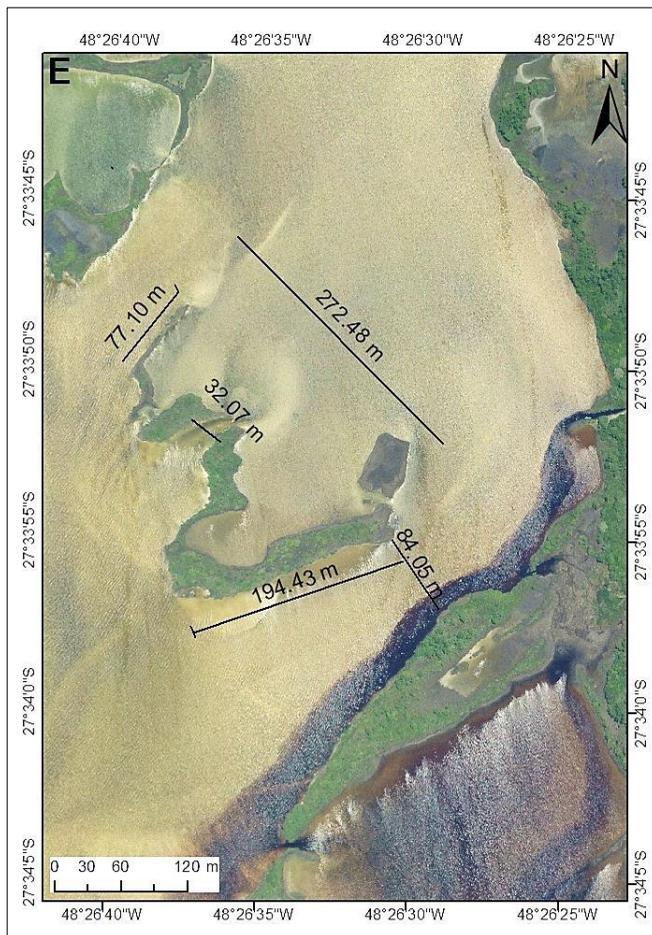


Figura 19: Segmento do arquipélago de ilhas-barreira Ilha E.

Os segmentos perpendiculares à margem leste encontram-se mais desenvolvidos que os paralelos, apresentando maiores espessuras, vegetação mais densa e consolidada. Ao longo de todo o conjunto não há o desenvolvimento de praias, porém formam-se esporões arenosos.

A Figura 20 a seguir ilustra duas características da Ilha E:

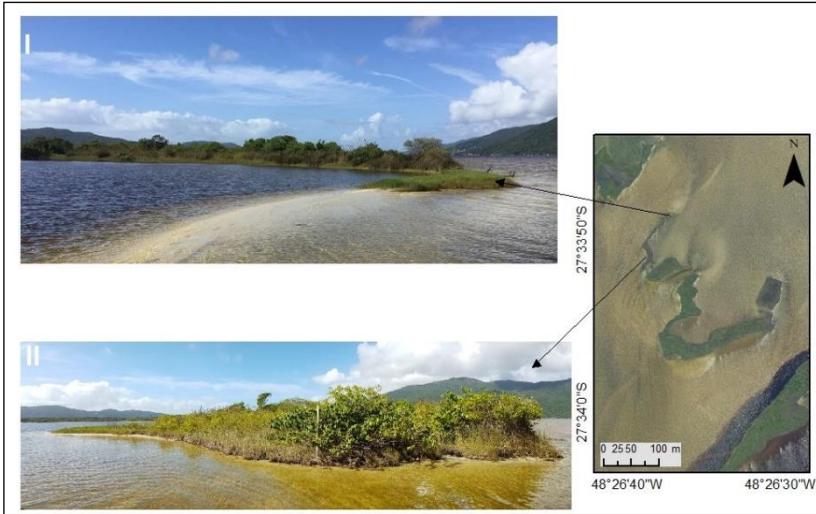


Figura 20: Pontos característicos da Ilha E. (I) Esporão arenoso. (II) Cobertura vegetal na margem externa.

Em (I) está representado um esporão arenoso bem desenvolvido, orientado em sentido à Ilha D. A foto (II) mostra a cobertura vegetal característica da área, densa e bem consolidada, com espécies de médio porte.

A margem exterior do conjunto de ilhas-barreira é, majoritariamente, retilínea e com pouco recorte. Exibe, ainda, as únicas ocorrências de praias, independente do grau de desenvolvimento. A margem interna frequentemente apresenta o desenvolvimento de esporões arenosos, implicando em forte recorte. Devido a essa morfologia das margens, acredita-se que haja uma predominância de ventos em direção à margem leste da Lagoa da Conceição. A influência dos regimes de vento e hidrodinâmica da Lagoa da Conceição para a formação dessas ilhas-barreira será analisada no Capítulo 2.

As principais medidas obtidas por meio da análise da ortofoto de 2016 está resumida no Quadro 1. Com o quadro é possível concluir que a Ilha C possui maior comprimento, área perímetro e variação entre distâncias com a margem. As ilhas A e D apesar de comprimentos aproximados possuem alta distinção entre suas áreas, devido à maior largura da Ilha D, e ao formato afilado da Ilha A. A Ilha B diferentemente das outras ilhas-barreira possui formato arredondado devido a conexão de diversos blocos arenosos a ele, na tabela pode ser analisado a sua elevada área e baixo perímetro.

Quadro 1: - Compilação dos resultados obtidos através da Ortofoto de 2016

Descrição	Ilha A	Ilha B	Ilha C	Ilha D	Ilha E
Comprimento	443,72	318,75	1174,71	432,97	272,48
Largura Máxima	31,8	95,52	99,15	218,92	194,43
Distância Máx da Margem	125,3	113,25	179,73	627,148	448,08
Distância Mín. da Margem	23,62	75,66	29,43	524,069	225,77
Área	9035,58	19099,46	42845,69	20322,52	14897,15
Perímetro	1493,61	1341,35	3931,47	2040,65	1519,88
Lagoas Internas Distinguíveis	4	1	4	3	0

4.3.2 Análise de Evolução Temporal

Após o georreferenciamento das imagens dos anos anteriores a 2016 foi obtido o RMS (erro médio quadrado) para cada imagem. Esses dados e a escala de cada uma das imagens utilizadas estão compilados no Quadro 2.

Quadro 2: Informações de RMS e escala para as imagens utilizadas.

Ano	RMS	Escala
1938	6,23	1:35000
1977	11,24	1:50000
2002	8,54	1:15000
2007	12,02	1:15000

A evolução da morfologia dos segmentos do arquipélago de ilhas-barreira Ilha A a E, ao longo de 78 anos, será analisada a seguir, por meio da comparação entre quatro imagens de satélite (Figura 21).

A principal característica semelhante entre todos os segmentos do arquipélago de ilhas-barreira é o desenvolvimento mais intenso da margem interna dessas estruturas. A análise temporal corrobora as características observadas na análise descritiva, de que a configuração das margens internas indica que o regime de vento é menos intenso nas áreas de águas confinadas. Essa hipótese será avaliada no Capítulo 2.

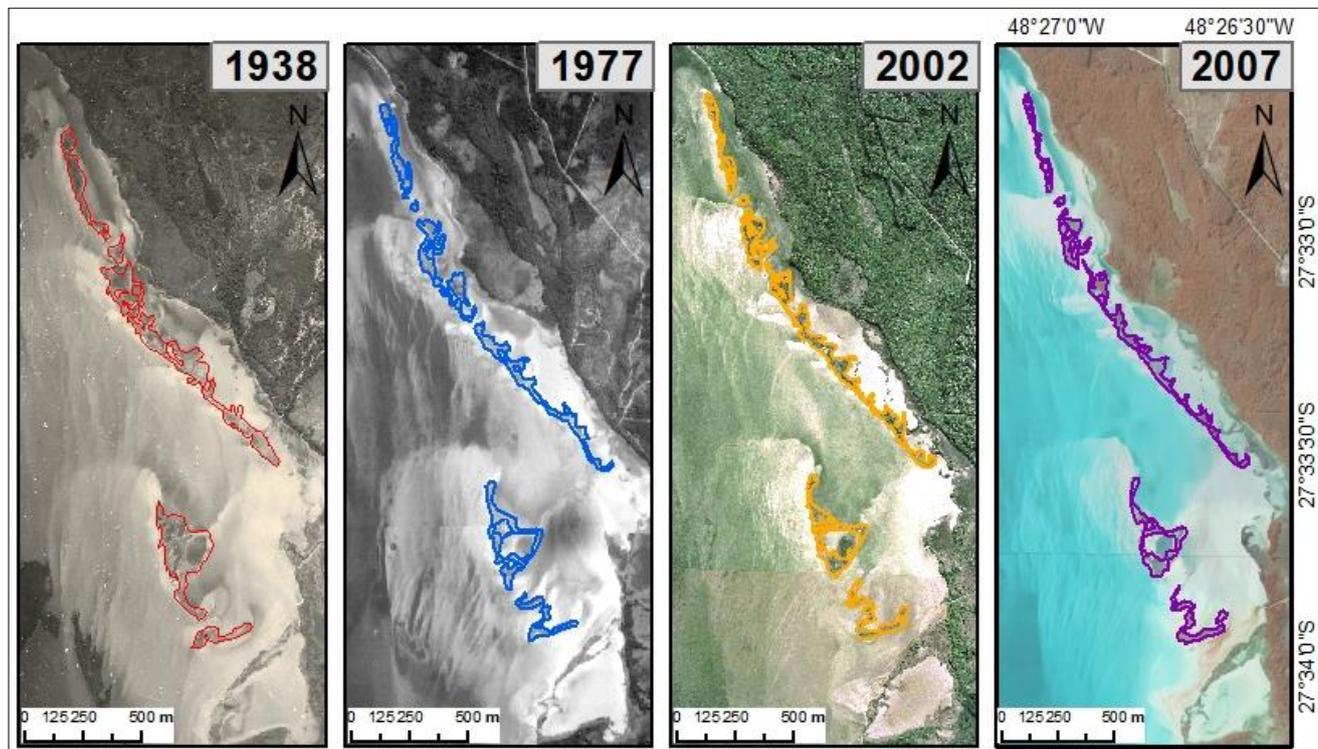


Figura 21: Delimitação poligonal do perímetro do arquipélago de ilhas-barreira nos anos de 1938 (à esquerda) a 2007 (à direita).

A evolução temporal foi qualificada por meio de uma análise dos polígonos que delimitam o perímetro do arquipélago de ilhas-barreira foi delimitado.

Durante o intervalo de 1938 a 1977 observa-se um distanciamento entre a Ilha A e a Ilha B, além da separação de um grande segmento em ilhas B e C. Houve crescimento do setor sul da Ilha C, aumento do perímetro da lagoa interna na Ilha D e separação do setor sul dessa Ilha, que veio a fazer parte da Ilha E. Em um aspecto geral, entre esses anos o arquipélago de ilhas-barreira aumentou seu comprimento e teve sua largura estreitada.

Entre 1977 e 2002 ocorreu o crescimento extensional e lateral de todo o conjunto, além da diminuição da lagoa interna da Ilha D e o desenvolvimento de esporões arenosos nas águas confinadas adjacentes à Ilha C.

No intervalo de cinco anos entre 2002 e 2007, a mudança mais significativa é a abertura da Ilha B, evidenciada pelo aumento em área das lagoas internas e manutenção da largura das margens.

Em 2007, no extremo norte da Ilha A inicia-se a formação do esporão arenoso em direção à margem leste da Lagoa da Conceição.

A seguir a análise temporal será analisada de acordo com cada seguimento do arquipélago de ilhas-barreira.

4.3.2.1 Ilha A

A partir da Figura 22 é possível distinguir cinco aspectos evolutivos da Ilha A. Nos primeiros 40 anos avaliados (1938 – 1977) houve a formação de esporões arenosos nas águas confinadas. O posterior desenvolvimento dessas estruturas originou lagoas internas e configurou a atual margem interna da Ilha A. Os mesmos 40 anos mostram que o segmento, inicialmente, era composto por quatro bancos isolados. A partir de então houve o acúmulo sedimentar entre eles, formando cordões que geraram a continuidade atual e unificaram a estrutura. Na foto de 2016 esses cordões já se apresentam consolidados, com desenvolvimento de densa vegetação.

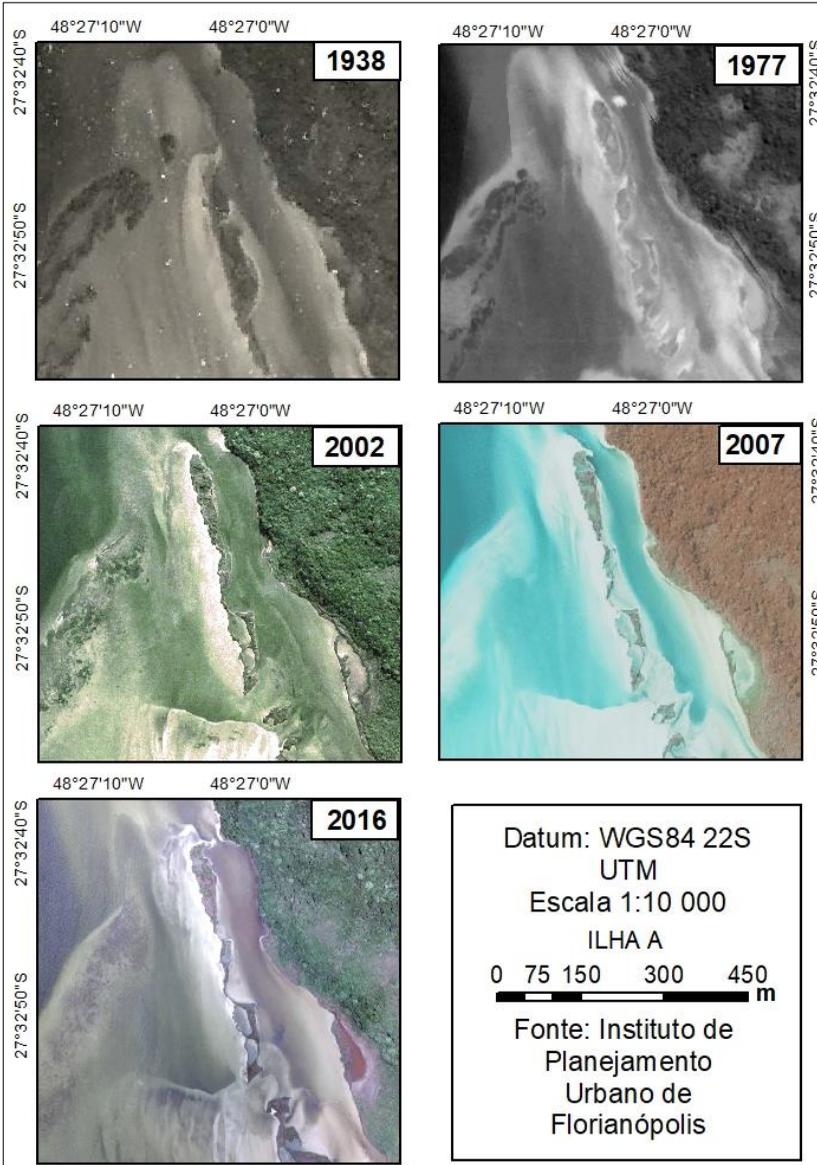


Figura 22: Evolução temporal da morfologia do segmento de ilhas-barreira Ilha A.

As fotos de 2002 a 2016 exibem o desenvolvimento de nova lagoa interna, no setor meridional. Como a formação dessas feições está ligada ao acúmulo sedimentar e desenvolvimento de esporões, pode-se dizer que o processo evolutivo desse segmento da ilha ainda é ativo.

A margem interna da Ilha A é o principal local de acúmulo de sedimentos, cujo crescimento fica mais visível ao redor das lagoas internas no setor sul do segmento, dos anos 2002 a 2016.

De 1938 a 2002, houve o crescimento extensional do banco arenoso a norte do segmento. A partir de 2007, o crescimento casou expansão lateral das margens e formação de esporão arenoso no extremo norte, em direção às águas confinadas.

Ao longo dos 78 anos comparados, a Ilha A manteve seu formato afilado e sua extremidade superior arredondada. O desenvolvimento de esporões conferiu a atual configuração pontiaguda do extremo sul.

4.3.2.2 Ilha B

Na Figura 23 é apresentada a evolução temporal da Ilha B, com quatro aspectos notáveis. Nos primeiros 64 anos avaliados (1938 – 2002) houve o desenvolvimento da margem externa da ilha-barreira, com acúmulo significativo de sedimentos nesse setor. Nos 14 anos seguintes, a margem externa teve sua espessura diminuída, contrapondo com o desenvolvimento da margem interna e formação de esporões arenosos.

A evolução desses esporões em águas confinadas acarretou o desenvolvimento de lagoas internas, mais visíveis entre os anos de 2002 e 2016.

Até 1938, o setor norte da Ilha C compunha a configuração da Ilha B. A partir de 1977, observa-se que esses segmentos foram separados. A partir de 2002, a distância entre esses dois segmentos de ilha-barreira vem diminuindo progressivamente.

O último aspecto diferenciável é a formação de um cordão arenoso entre 2007 e 2016, responsável pela ligação entre o pequeno bloco arenoso a norte e a ilha-barreira logo abaixo, conferindo continuidade e a configuração atual do segmento do arquipélago de ilhas-barreira. Essa estrutura, apesar de recente, encontra-se bem estabelecida.

Nos 78 anos de processo evolutivo avaliados, o principal setor de acúmulo de sedimentos passou da margem externa (até 2002) para a margem interna. Não houve alterações significantes no seu formato ou nas características das suas extremidades.

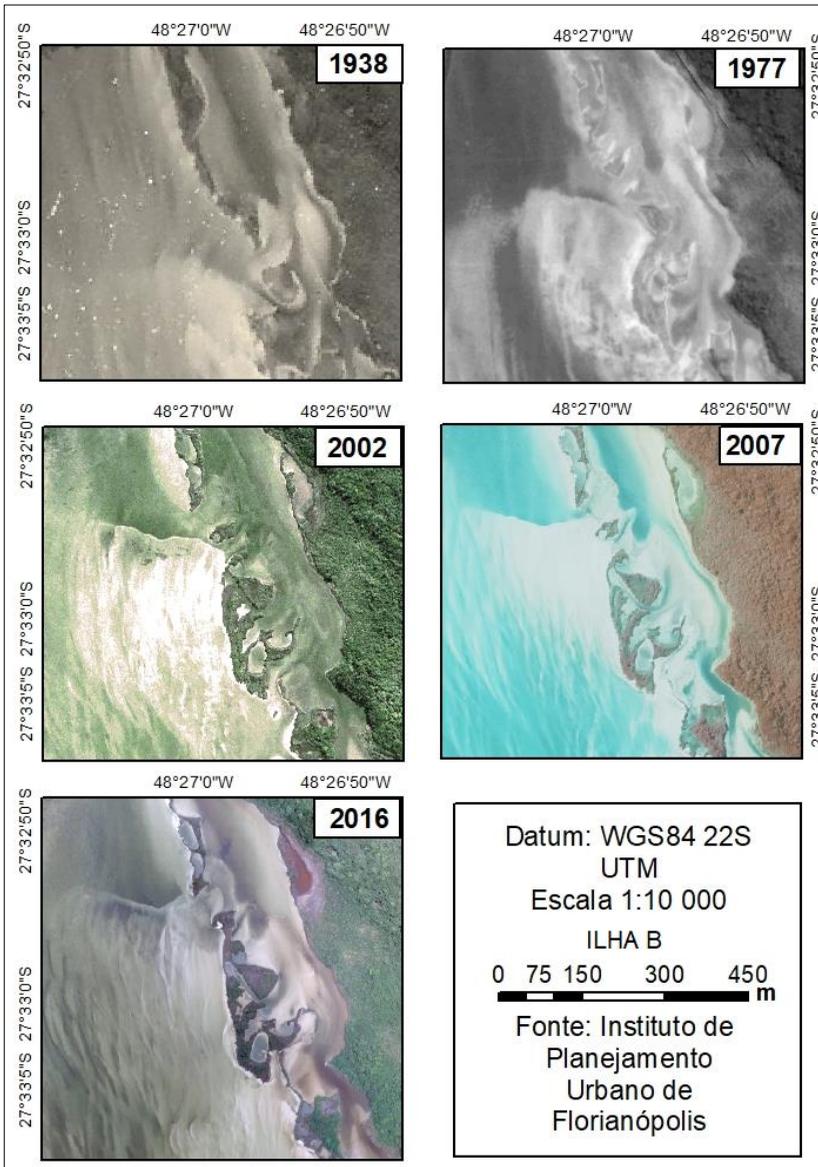


Figura 23: Evolução temporal da morfologia do segmento de ilhas-barreira Ilha B.

4.3.2.3 Ilha C

A evolução temporal da Ilha C apresenta três aspectos identificáveis (Figura 24). A principal característica é o desenvolvimento da margem externa, responsável por unir diversos blocos arenosos que inicialmente estavam separados (1938 – 2002), formando assim o segmento mais extenso do arquipélago de ilhas-barreira. Dos anos de 2007 a 2016, devido ao acúmulo sedimentar nesse setor, houve o desenvolvimento da margem externa, com estabelecimento da estrutura.

No extremo norte, a evolução de um esporão arenoso ocorre gradualmente a partir de 2002, diminuindo a distância entre as ilhas B e C. Se esse processo continuar progredindo, em breve essas duas ilhas irão se unir, formando um único segmento.

Houve, ainda, o desenvolvimento de esporões arenosos nas águas confinadas. Devido ao fato dessas estruturas crescerem em direção à margem leste da Lagoa da Conceição, elas são responsáveis, até o momento, pela formação de lagoas internas recentes (a partir de 2002).

De forma geral, o desenvolvimento da Ilha C pode ser dividido em dois setores. O norte apresentou maior variação de morfologia devido à fragmentação e o sul menor variação, pois recebe proteção das ilhas D e E aos efeitos dos ventos.

Durante todo o processo evolutivo analisado, não houve alteração do formato afilado da Ilha C. Em relação à sua configuração, houve variação da sua margem externa que, a partir de 1938, foi tornando-se progressivamente mais retilínea.

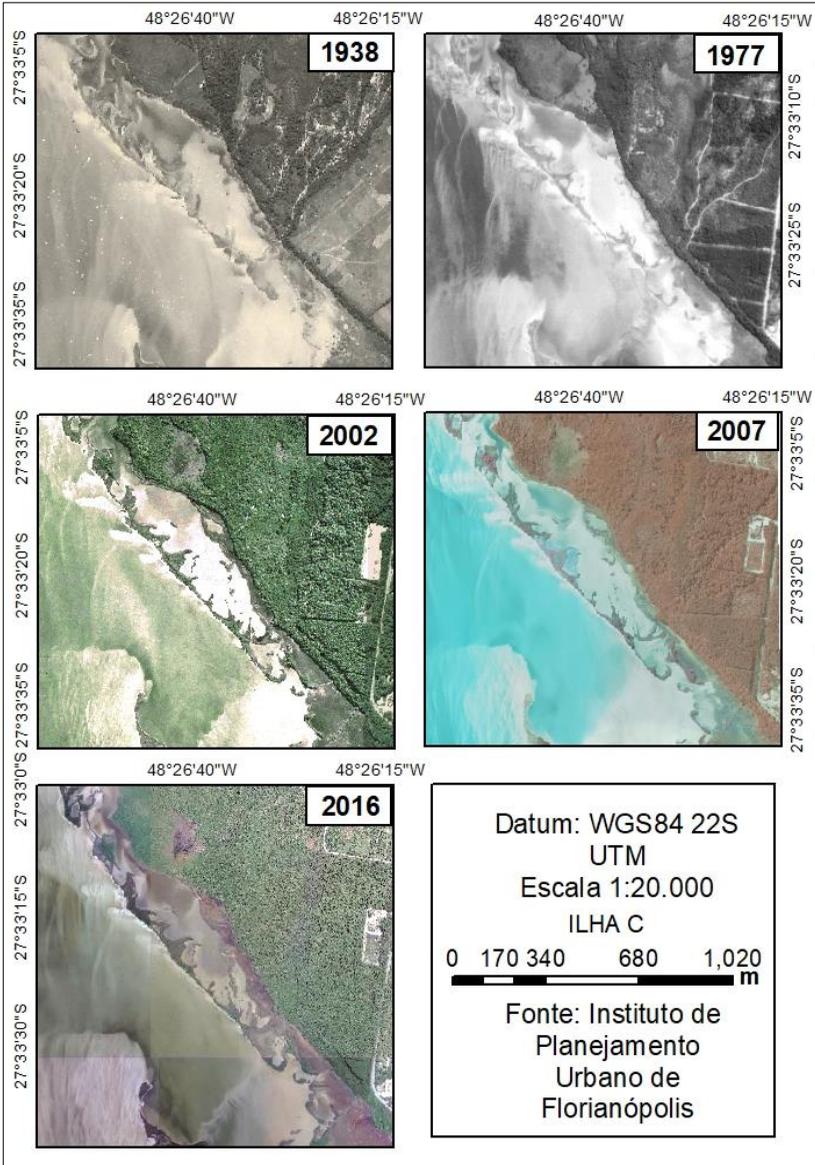


Figura 24: Evolução temporal da morfologia do segmento de ilhas-barreira Ilha C.

4.3.2.3.1 Ilhas A, B e C

Esse três segmentos do arquipélago de ilhas-barreira assemelham-se devido a sua maior proximidade à margem leste da Lagoa da Conceição, quando comparadas às ilhas D e E.

A principal semelhança evolutiva entre essas ilhas é o acúmulo preferencial de sedimentos na margem interna das ilhas. Logo, há o desenvolvimento de esporões arenosos nas águas confinadas, em geral levando ao desenvolvimento de lagoas internas.

Além disso, o desenvolvimento da margem externa foi responsável pela união de blocos arenosos isolados, levando à configuração atual dos segmentos avaliados.

Aparentemente, não houve alteração significativa da margem da Lagoa da Conceição e a distância da mesma com as ilhas A a C permanece a mesma.

4.3.2.4 Ilhas D e E

Devido à sua proximidade e proporções reduzidas, a evolução das ilhas D e E foi ilustrada conjuntamente (Figura 25).

O processo evolutivo da Ilha D apresenta quatro características distinguíveis e a principal delas é o desenvolvimento das margens. Houve o acúmulo sedimentar em ambos os setores, com o predomínio da margem interna, seguindo a tendência observada para os segmentos anteriores.

A segunda característica é a interrupção da formação de uma lagoa na margem externa, próximo a uma lagoa interna já estabelecida no setor noroeste. Até o ano de 2002 há o desenvolvimento de um esporão arenoso nessa região. A partir de 2007 pode-se observar que tal esporão foi erodido, conferindo aspecto semicircular a esse trecho da margem.

A terceira característica evolutiva dessa ilha é o desenvolvimento do setor norte, a partir do ano de 1938. Ao longo dos 78 anos avaliados, essa porção aumentou sua extensão, adquirindo aspecto afilado. Em 2016 apresenta-se com o extremo norte bastante desenvolvido, porém em processo de separação do restante do segmento.

Por fim, a quarta característica é o desaparecimento do esporão arenoso a sul. O mesmo pode ser visualizado em 1938, em 1977 com extensão extremamente diminuída, tornando-se inexistente em 2002.

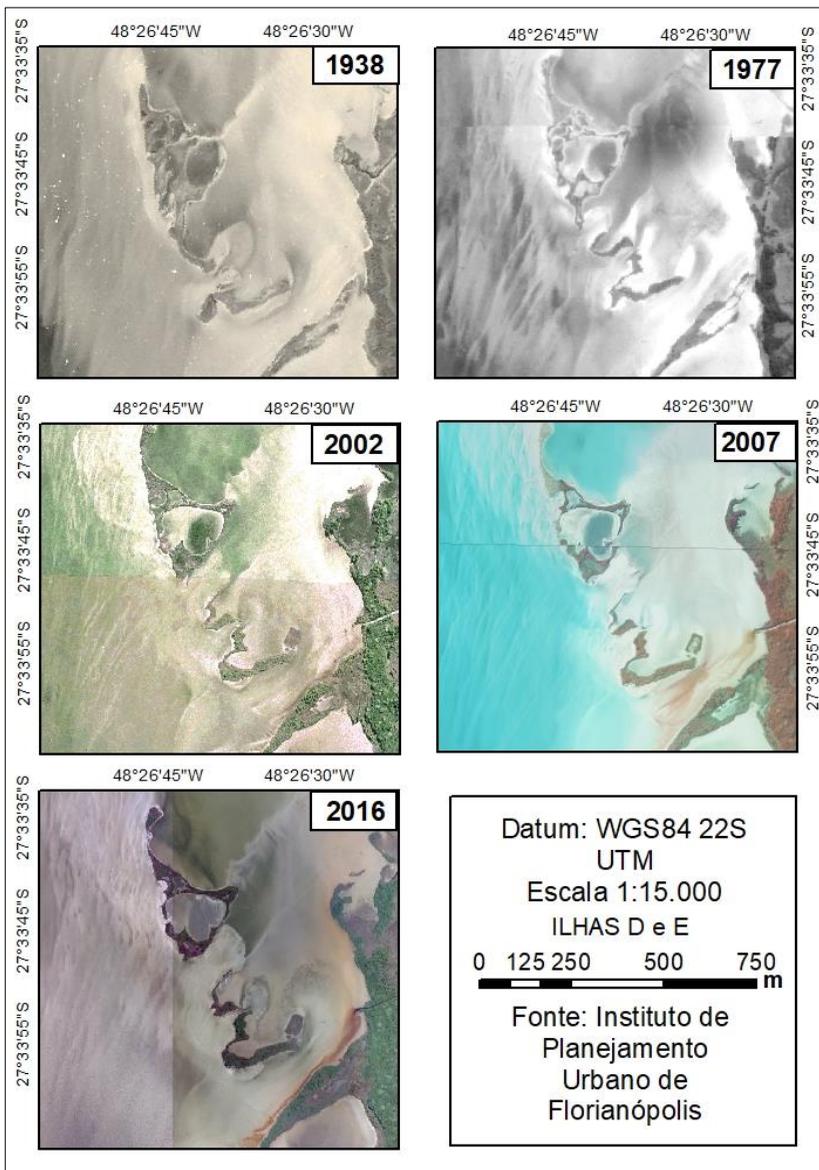


Figura 25: Evolução temporal da morfologia dos segmentos de ilhas-barreira ilhas D e E.

A Ilha E será caracterizada quanto à evolução do seu segmento paralelo à margem leste da Lagoa da Conceição, e posteriormente do segmento perpendicular.

O setor norte do segmento paralelo provavelmente originou-se a partir do esporão ao sul da Ilha D, que após processo erosivo separou-se da mesma. Mantendo a tendência observada para as outras ilhas, o acúmulo sedimentar é mais intenso na margem interna da ilha-barreira.

Com relação à sua continuidade, ao longo de 78 há alternância de processos de união e separação. Entre 1977 e 2007, o segmento está dividido em três blocos arenosos distintos. Porém, em 2016 são apenas dois blocos, com pequena distância entre ambos.

O segmento perpendicular não apresenta grandes alterações evolutivas. Além do maior desenvolvimento da margem interna da ilha-barreira, há o isolamento de um bloco à leste da estrutura, observado a partir de 2002. Entre 2007 e 2016, estabeleceu-se uma lagoa interna nessa estrutura.

Das cinco imagens analisadas, aquelas que exibem as mudanças mais significativas no processo evolutivo do arquipélago de ilhas-barreiras são as referentes aos anos 1938, 1977 e 2016.

Para a conclusão da análise de variação temporal, foi realizada a sobreposição dos perímetros do arquipélago de ilhas-barreira nos três anos citados anteriormente (Figura 26).

O padrão geral de desenvolvimento mostra que o arquipélago de ilhas-barreira sofreu retrabalhamento, adquirindo configuração cada vez mais afilada e com crescimento extensional. O formato inicialmente irregular da margem externa, com reentrâncias e extremidades pontiagudas, deu lugar ao arranjo atual, predominantemente retilíneo. Enquanto isso, na margem interna, desenvolveram-se esporões arenosos e finos bancos arenosos nas águas confinadas.

A evolução da sua disposição espacial corrobora o proposto por Pilkey *et al.* (2009) e ilustrado na Figura 8. O retrabalhamento de ondas locais agiu sobre a morfologia pré-existente, evoluindo de um formato arredondado ou semi-arredondado para um formato adelgado, característico de ilhas-barreira de sistemas abrigados.

Conforme concluído anteriormente, por toda a caracterização morfológicas dos segmentos do arquipélago de ilhas-barreira, o conjunto apresentou grande desenvolvimento de suas margens, tanto internas quanto externas, nesse intervalo de 78 anos avaliados. Houve um acréscimo na margem interna (deposição) e decréscimo na margem externa (erosão).

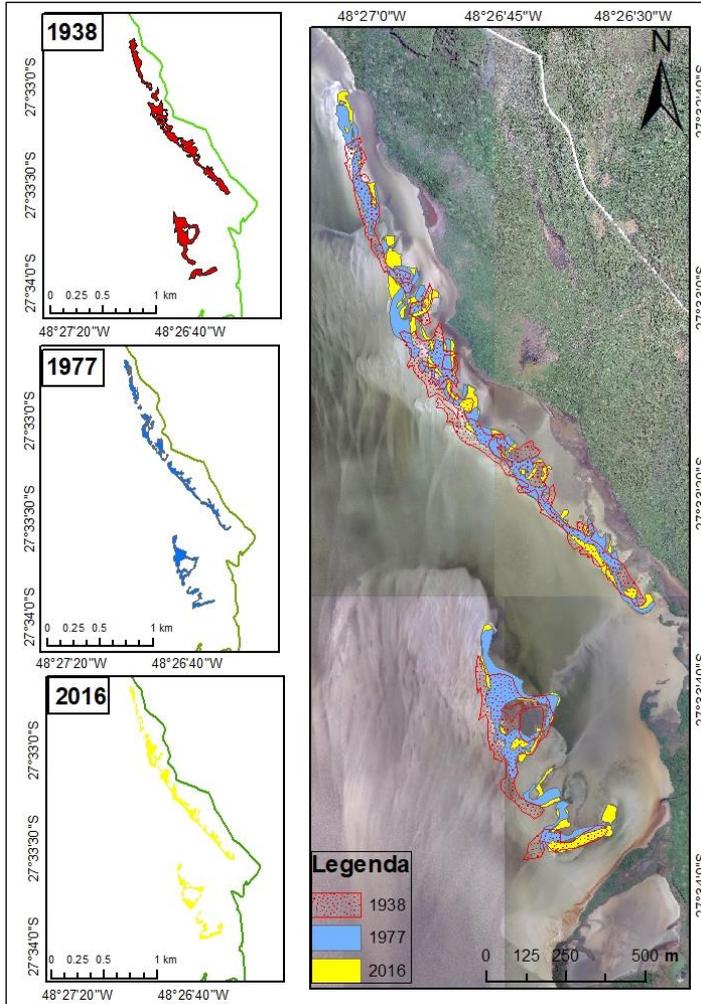


Figura 26: Interpolação dos perímetros delimitados para os anos de 1938, 1977 e 2016.

Tanto os mapas individuais quanto o mapa de perímetros interpolados (Figura 26) mostram que o conjunto está, gradativamente, mais próximo da margem leste da Lagoa da Conceição. Adicionalmente as ilhas A e B de 1938 a 1977 tiveram uma migração acelerada em direção ao norte. Dessa forma, com relação a sua movimentação, é possível conceber a ideia de que as ilhas-barreira estão se movimentando em sentido norte e leste.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como os estudos desenvolvidos por Cooper *et al.* (2007a, 2007b) e Pilkey *et al.* (2009), a caracterização morfológica das ilhas-barreira realizada nesse trabalho baseou-se em imagens de satélite ou fotografias aéreas.

Segundo Cooper *et al.* (2007a), as ilhas-barreira de sistemas abrigados são tipicamente curtas (1 km de extensão) e estreitas (entre 10 e 100 m). Essas informações conferem com o observado nas ilhas-barreiras analisadas, onde a extensão varia de 272,48 m a 1.174,71m, portanto curtas, e a largura máxima é de 95,52 m (Ilha B), portanto estreitas.

Em relação à classificação quanto às três primeiras amplas categorias propostas por Cooper *et al.* (2007b), as ilhas-barreiras avaliadas podem ser categorizadas como ativas construtivas, devido ao seu contínuo processo de erosão, deposição e conseqüente migração sem que haja perdas significativas de material.

Quanto às oito amplas categorias propostas posteriormente por Pilkey *et al.* (2009), as feições analisadas tratam-se de ilhas-barreiras clássicas, limitadas em uma margem por ‘águas calmas’ e em outra por águas expostas, além de formarem um longo arquipélago com diversas ilhas conectadas.

A morfologia das ilhas-barreira avaliadas no presente trabalho também está de acordo com outras duas características expostas por Cooper *et al.* (2007b): extremidades em geral arredondadas e formação de um arquipélago de ilha-barreira com segmentos pouco curvados. O último descritor utilizado pelos autores (*op. cit.*) para a classificação de ilhas-barreira clássicas é o controle vegetativo, como presença de mangues e de banhados, estes indicativos de estabilização do sistema. Essas características serão abordadas no Capítulo 3, onde se avaliará a maturidade de cada um dos segmentos do arquipélago de ilhas-barreira.

As feições descritas neste capítulo correspondem a alguns dos requisitos propostos por Oertel (1985) para a classificação das mesmas como ilhas-barreira. Pode-se citar: um corpo alongado e de sedimento arenoso inconsolidado, presença de corpo d’água confinado à retaguarda (corpo aquoso entre margem interna do arquipélago de ilhas-barreira e margem leste da Lagoa da Conceição) e presença de corpo d’água exposto (corpo aquoso entre limite externo das ilhas-barreira e a Lagoa da Conceição)

CAPÍTULO 2

Condições hidrodinâmicas

5 Condições Hidrodinâmicas

5.1 INTRODUÇÃO

Segundo Pilkey *et al.* (2009), os fatores dominantes que favorecem o desenvolvimento de ilhas-barreira de sistemas abrigados são: baixo gradiente de fundo marinho, profundidade de água rasa, abundância de sedimento em suspensão e clima de tempestade moderado a forte.

As lagunas costeiras tem sua circulação hidrodinâmica definida pela sua geologia de fundo, rugosidade, maré, precipitação e regime de ventos atuantes no local (KJERFVE, 1994).

O transbordamento causado por tempestades é tipicamente o processo de transporte de sedimentos mais importante responsável pela evolução de ilhas-barreira de sistemas abrigados. Como a inundação da chuva não gera fluxo de retorno significativo dentro de ambientes protegidos, as ilhas de baixa energia movem-se predominantemente em direção à terra (JACKSON *et al.*, 2002).

A partir de um levantamento batimétrico realizado por Muehe & Caruso Jr. (1983), conheceu-se a formação do fundo da Lagoa da Conceição. Esta apresenta perfil assimétrico, condicionado pela desigualdade entre as margens opostas. Observam-se encostas íngremes na margem oeste, onde se verificam as maiores profundidades, atingindo valores de até 8,7 m e depósitos sedimentares na margem leste. A profundidade média é de 1,7 m, sendo que 44% do fundo possui profundidade maior que 4 m e 29% valores menores que 1 m (MUEHE & CARUSO JR., 1999).

Com relação a seus aspectos sedimentológicos, a Lagoa da Conceição tem a superfície de seu leito dominada basicamente por areias e lama, em que as areias estão presentes na maior parte do corpo lagunar, enquanto a lama aparece nas porções mais profundas. Os sedimentos superficiais de fundo podem ser classificados em cinco fácies texturais: areia, areia siltosa, silte arenoso, silte e silte argiloso. 40% da superfície é ocupada por areia, com profundidades inferiores a 1,5 m. 10% da área, na porção central da Lagoa, é ocupada por areia siltosa, em profundidades entre 1,5 e 4 m. O silte arenoso cobre 45% do fundo, sendo dominante nas regiões mais profundas das porções sul, central e nordeste. Apenas 2% da área da Lagoa é composta por silte e 3% por silte argiloso (GRÉ & HORN FILHO, 1999).

Dessa forma, o padrão de distribuição dos sedimentos na Lagoa da Conceição segue o padrão clássico das lagunas costeiras, isto é,

areias nas margens e sedimentos finos na região central mais profunda e nas áreas abrigadas do vento (PORTO FILHO, 1993).

Durante os ciclos de maré, o Canal da Barra atua como amortecedor dos efeitos da maré, reduzindo em até 90% a amplitude desta no interior da laguna (SIERRA DE LEDO & KLINGEBIEL, 1999). Segundo os autores (*op. cit.*), as marés de sizígia típicas, com altura de 1 m na embocadura marítima do canal, causam variações no nível d'água inferiores a 5 cm no interior da laguna. Marés de quadratura típica apresentam alturas de 0,40 m e causam variações da ordem de 3 cm.

Sobre a região atuam as massas de ar tropical atlântica, que ocorre durante o ano todo, com uma incidência de 80% na primavera e verão; e a polar, que determina a entrada de frentes frias provenientes do sul, com ventos de até 60 km/h, e chuvas, em especial nos meses de outono e inverno (NIMER, 1966). As taxas de precipitação estão uniformemente distribuídas ao longo de todo o ano, tendo uma oscilação de 172,4 mm a 74,1 mm, resultando em diminuição da salinidade e aumento da circulação hidrodinâmica (INEMET, 1980).

Os ventos exercem grande influência sobre os padrões de circulação da Lagoa da Conceição, sendo mais evidente nos compartimentos Norte e Sul, onde a maré tem contribuição menor. Nos trechos mais rasos é possível observar o escoamento direcionado de acordo com o vento incidente, alcançando maiores velocidades nesses trechos. No Canal da Barra são observados elevados campos de velocidade que, por sua vez, sofrem brusca redução na saída do canal, reduzindo bastante à intensidade no interior do corpo lagunar, proporcionando inclusive pontos de estagnação em regiões mais afastadas do mesmo (ANDRADE, 2001).

Este capítulo abordará a influência da circulação hidrodinâmica da Lagoa da Conceição, cujo controle sobre o aprisionamento sedimentar resultou na atual morfologia das ilhas-barreira.

5.2 METODOLOGIA

Para definição das áreas mais propícias ao aprisionamento sedimentar, foram realizadas modelagens utilizando informações de vento e batimetria local.

5.2.1 Dados de entrada

5.2.1.1 Ventos

A avaliação da influência do regime de ventos na área de estudo foi realizada utilizando dados de direção e intensidade de vento, totalizando 39.658 registros coletados entre 1964 e 1998 pela Estação Meteorológica da Ilha do Arvoredo e disponibilizados pela Marinha do Brasil através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO). A partir destes registros foi confeccionada uma rosa dos ventos utilizando o *software WRPLOT View*, onde foi possível determinar as cinco direções de vento representativas e predominantes que serviram de cenário para modelagem da exposição a ventos.

5.2.1.2 Batimetria:

As informações de batimetria em formato MDT (Modelo Digital de Terreno), obtidas pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) em meio analógico com equidistância aproximada de 50 m entre as sondagens e disponibilizadas em meio digital pelo Laboratório de Oceanografia Costeira/UFSC, foram processadas no *software ArcGIS 10.2* a fim de obter curvas de níveis em intervalos de 0,25 m através da ferramenta *contour*. Em seguida, estas curvas foram interpoladas utilizando o modelo *Triangulated Irregular Network (TIN)*.

5.2.2 Modelo Hidrodinâmico

Os dados de entrada foram inseridos na extensão *Wind Fetch and Wave Model*, desenvolvida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Abaixo, o diagrama da Figura 27 representa as relações entre os dados de entrada e de saída do modelo de ondas.

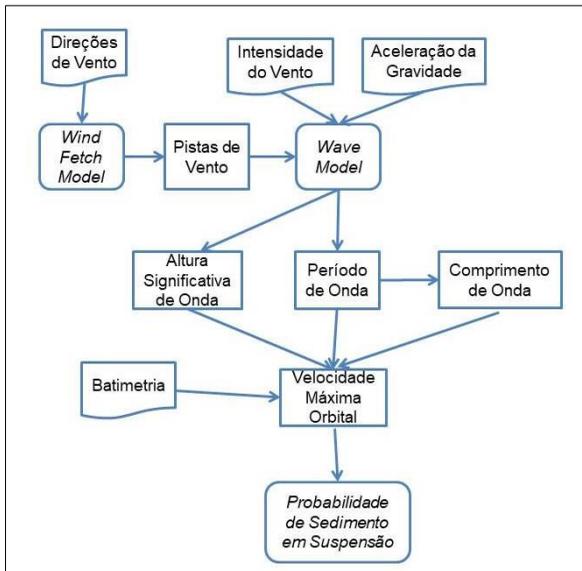


Figura 27: Fluxograma da metodologia do Capítulo 2.

5.2.2.1 Pista de Vento

A extensão *Wind Fetch and Wave Model* calcula primeiramente a pista de vento de um sistema, que consiste na distância sem obstruções que o vento pode percorrer sobre uma superfície aquosa em uma direção constante (FINLAYSON, 2005). Para determinação da extensão da pista de vento inseriu-se uma imagem da área de estudo, reclassificada com valores 1 para área continental e 0 para área hídrica, e as cinco direções de vento representativas foram listadas em um arquivo de texto (.txt).

O cálculo realizado pela extensão é baseado no *Shore Protection Manual*, em que a direção de vento é aplicada em nove raios com 3° graus de equidistância (Figura 28), obtendo um total de 24°, o que fornece uma condição mais próxima do real. Em cada célula de referência é retirada a média aritmética das nove distâncias.

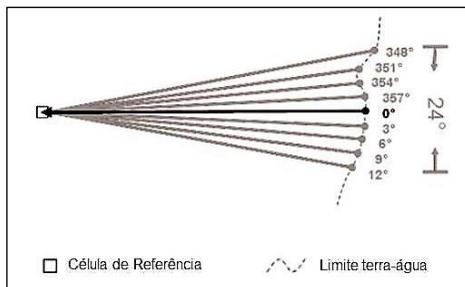


Figura 28: Representação do modelo para obtenção da pista de vento utilizando o método do SPM. Modificado de (ROHWEDER *et al.*, 2012).

O resultado de saída é uma imagem (camada *raster*) para cada direção de vento previamente determinada, onde a gradação por cor determina locais com pista de vento similar.

5.2.2.2 Parâmetros de Onda

A geração de ondas formadas pela ação de ventos é determinada pela extensão da pista e intensidade do vento. Sendo assim, quanto maior a pista, mais exposto à agitação por ação de ondas de vento é aquele segmento. Desta forma, com a análise de áreas mais abrigadas ou expostas à ação do vento é possível verificar a tendência à erosão, deposição e transporte de sedimentos de uma determinada área (CERC, 1987).

Por meio da ferramenta *Wave Model*, inserida na extensão *Wind Fetch Model*, é possível obter dados de saída em camadas *raster* com informações de comprimento, altura e período de pico das ondas geradas pelo vento.

Para aplicação deste modelo foram utilizados os resultados obtidos no processamento anterior, associado à informação batimétrica (TIN), cujos dados são considerados apenas para a determinação de parâmetros sedimentares, e a um arquivo de texto contendo as direções de vento com suas respectivas velocidades médias (milhas/s).

A simulação dos parâmetros de onda como comprimento, altura e período de pico, tem como limitação o fato de não considerar outros processos de propagação de ondas em águas rasas (como refração, difração, empinamento, etc.). As informações batimétricas também são desconsideradas nessa etapa do processamento (FINLAYSON, 2005). Como ilustrado no fluxograma metodológico (Figura 27), o modelo trabalha com uma aproximação de primeira ordem e não utiliza as informações de batimetria para o resultado da área de atuação de ondas.

O cálculo de comprimento, altura e período de pico de ondas utiliza aproximações das equações de teoria de onda linear de USACE (2002). Essas equações consideram a pista de vento local, o ajuste da velocidade de vento (de milhas/h para m/s) e aceleração da gravidade.

O ajuste da velocidade do vento é obtido através da equação abaixo:

$$Eq. 1: U_a = U * 0,44704$$

Onde U_a se refere à velocidade do vento ajustada em m/s, e U à velocidade do vento em milhas por segundo.

Na obtenção da altura de onda considera-se que o ponto mais alto desta se refere à crista e o mais baixo à cava. Em ondas lineares ou de baixas amplitudes os pontos de altura da crista sobre nível de água parada é equivalente ao da cava abaixo do nível de água parada. Sendo assim, a altura de onda equivale a duas vezes a amplitude de onda (USACE, 2002). De acordo com Munk (1944), a altura significativa de onda deve ser obtida pela média das três maiores alturas de onda. A altura de onda significativa é calculada através de aproximações das seguintes equações retiradas do Manual de Engenharia Costeira (USACE, 2002).

$$Eq. 2: C_d \approx 0.001 * (1.1 + (0.035 * U_a))$$

$$Eq. 3: U_* = U_a * \sqrt{C_d}$$

$$Eq. 4: \hat{x} = \frac{(g * x)}{(U_*)^2}$$

$$Eq. 5: \hat{H}_{m0} = 0,0413 * \sqrt{\hat{x}}$$

$$Eq. 6: H_{m0} = \hat{H}_{m0} * \frac{U_*^2}{g}$$

Nas equações 2 a 6, C_d equivale à aproximação do coeficiente de arrasto, U_* é a velocidade de fricção, \hat{x} a pista de vento adimensional, g a velocidade da gravidade (9,82 m/s²) e x a pista de vento em metros. \hat{x} é utilizada para determinar a altura significativa de onda adimensional (\hat{H}_{m0}), que passa pela equação 6 para determinar H_{m0} , ou altura significativa de onda em metros.

O comprimento de onda, distância entre duas cavas ou cristas, é calculado no *Wave Model* baseado na teoria de ondas lineares. Segundo o Manual de Engenharia Costeira (USACE, 2002), esta teoria é de fácil aplicação e possui boa aproximação para os parâmetros de onda pressupondo as seguintes características: o fluido é incompressível

(densidade constante); a tensão superficial e o Efeito de *Coriolis* são desprezados; a pressão superficial é uniforme e constante; fluido não possui viscosidade; a onda não faz interação com outros movimentos da água, assim as forças de cisalhamento são insignificantes; o leito é horizontal, fixo e impermeável, acarretando em velocidade vertical nula; a amplitude da onda é pequena e sua forma não varia com o tempo ou espaço; ondas de duas dimensões, planas ou de crista longa.

Considerando esses pressupostos o modelo calcula o comprimento de ondas (L) em metros (Eq.7), considerando g a aceleração da gravidade ($9,82 \text{ m/s}^2$) e T_p o período de pico (s).

$$\text{Eq. 7: } L = \frac{g * T_p^2}{2\pi}$$

O período de pico de onda espectral (T_p) (Eq. 8 e 9), também calculado com base na equação do Manual de Engenharia Costeira (USACE, 2002), considera que o período de pico equivale ao intervalo de tempo entre a passagem de duas cristas ou cavas sucessivas em um determinado ponto.

$$\text{Eq. 8: } T_p = 0,751 * \sqrt[3]{x^{\wedge}}$$

$$\text{Eq. 9: } T_p = \frac{(T_p^{\wedge} * U_*)}{g}$$

A equação 8 se refere à obtenção do período de pico adimensional (T_p^{\wedge}), obtida através da variável x^{\wedge} referente à pista adimensional de vento. O resultado é combinado com velocidade de refração (U_*) e aceleração da gravidade (Eq.9), determinado em segundos.

5.2.2.3 Parâmetros Sedimentares

Os parâmetros de onda previamente determinados, quando analisados em associação à batimetria, tem como resultados a velocidade máxima orbital (VMO) e a tensão de cisalhamento. Esses atributos são determinantes para obtenção da probabilidade de sedimento em suspensão na área definida.

A formação das ondas cria um movimento orbital na coluna d'água resultando na velocidade de fundo e tensão cisalhamento, que podem ser suficientes para suspender os sedimentos não consolidados para a coluna d'água (USACE, 2006). Segundo Kraus (1991), em águas

profundas o movimento orbital tem velocidade nula e as partículas não são afetadas pelo movimento das ondas de superfície.

Baseado na teoria de ondas lineares, a velocidade máxima orbital de onda (u_m) é calculada segundo a equação de Kraus (1991) e sua unidade é metros por segundo (Eq. 10):

$$Eq. 10: u_m = \frac{\pi H_{m0}}{(T_p * \sinh(\frac{2\pi d_f}{L}))}$$

Nesta equação a velocidade máxima orbital de onda (VMO) depende da altura significativa de onda (H_{m0}) resultante da equação 6, do período de pico de onda (T_p , equação 9), comprimento de onda (L , equação 7) e da profundidade da água (d_f).

A VMO associada à densidade (ρ) e ao fator de fricção (f) resulta na tensão de cisalhamento (τ , Eq.11). Essa tensão é a força de arrasto criado no leito pelo movimento do fluido e tem como unidade N/m².

$$Eq. 11: \tau = \frac{\rho f u_m^2}{2}$$

A área de maior probabilidade de sedimento em suspensão é calculada pela extensão utilizando os resultados de VMO. O sedimento fino inconsolidado necessita de uma velocidade máxima orbital de 0,10 m/s (HÅKANSON AND JANSSON, 1983). Dessa forma, o modelo reclassifica as células dos *rasters* de VMO, fornecendo 1 para velocidades $\geq 0,1$ m/s e 0 para velocidades $< 0,1$ m/s. Em cada cenário de direção de onda gerada pelo vento é obtido um *raster* com esta reclassificação.

5.2.3 Integração de Dados

Para melhor compreensão da atuação dos regimes de vento no sistema foi elaborado um mapa de ventos dominantes sobre os diferentes setores do arquipélago de ilhas-barreira utilizando o *software* ArcGIS. Para isto foram selecionados pontos ao longo das ilhas-barreira com 250 m de equidistância. Em seguida, por meio da ferramenta *Extract to Points*, utilizando-se os resultados de pistas de vento, criou-se uma tabela em que cada coluna equivale ao valor da camada *raster* naquele ponto. Posteriormente, utilizando a ferramenta *Field Calculator* foi criada uma coluna com valor máximo dentre as cinco direções de vento e uma coluna determinando a qual vento esta se referia. As pistas

foram classificadas como baixas (menores que 300 m), médias (entre 300 e 1.000 m) e altas (maiores que 1.000 m).

Por meio dessa classificação os pontos foram representados ao longo do arquipélago e então foram traçados segmentos classificados quanto à direção de vento e sua influência. Os setores de baixa exposição não foram determinados quanto à direção de vento atuante.

Para análise da contribuição de cada direção de vento para o balanço sedimentar foi gerado um diagrama ETA (Erosão, Transporte e Acreção). Este diagrama representa a relação entre a pista de vento (L_f) e profundidade (D). No diagrama os limites entre erosão e transporte são definidos pela equação 12 e os limites entre transporte e acreção pela equação 13:

$$Eq. 12: D_{E-T} = \frac{30,7 * L_f}{L_f + 34,2}$$

$$Eq. 13: D_{T-A} = \frac{45,7 * L_f}{L_f + 21,4}$$

Segundo Håkanson (1981), este diagrama representa como a morfologia de fundo e a energia, presentes em sistemas abrigados, atuam no balanço sedimentar.

A construção do diagrama foi realizada escolhendo pontos de controle na área de estudo. A ferramenta *Extract to Points* foi utilizada novamente, mas dessa vez para extrair os valores das pistas e da profundidade nos pontos de controle. Os valores foram adicionados ao diagrama, tornando possível determinar a contribuição das diferentes direções de vento para os processos de balanço sedimentar.

Os resultados das áreas com presença de sedimento em suspensão em cada cenário foram somados e divididos pelo número total de cenários, assim cada célula está atribuída a uma porcentagem relativa à probabilidade de sedimento em suspensão na área de estudo. Para fins de comparação foi realizada uma média ponderada de cada cenário, sendo seu peso a predominância de vento e incidência.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Parâmetros Físicos de Vento

Utilizando-se o *software WRPLOT View*, foi gerada uma rosa dos ventos representativa das condições do regime de ventos da Lagoa da Conceição, a partir dos registros de direção e velocidade dos mesmos (Figura 29).

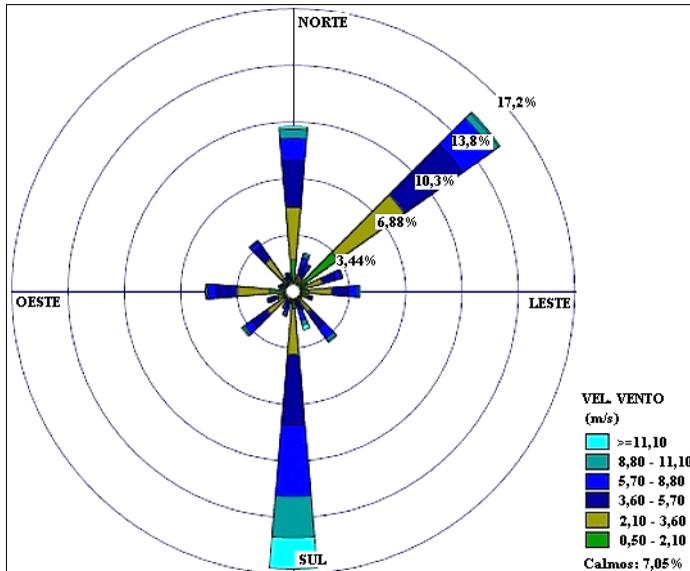


Figura 29: Rosa dos ventos representativa das condições da Lagoa da Conceição.

As condições meteorológicas da área de estudo mostram predominância da ação de vento no eixo Sul-Norte. Os ventos de direção Sul têm maior predominância (17%) e intensidade (11 m/s) que os de Norte (10% e 9,5 m/s, respectivamente), enquanto os ventos de sentido Nordeste exibiram predominância (15%) mais elevada e intensidade similar aos de Norte. Assim, as três direções Norte (0°), Nordeste (50°) e Sul (180°) foram selecionadas como representativas para aplicação como cenários no modelo.

Para visualização da atuação de forçantes eólicas foram analisados os ventos Leste (90°) e Oeste (270°), que possuem predominâncias de 4% e 6% respectivamente e intensidades aproximadas de 8m/s.

As pistas de vento para as direções selecionadas (Sul, Oeste, Norte, Nordeste e Leste) estão representadas na Figura 30. Na imagem é possível perceber que os cenários Sul e Oeste exercem maior influência na área estudada, porém devido à reduzida distância disponível para ser percorrida pelo vento de direção Oeste, este tem um alcance de pista menor que a apresentada no cenário Sul.

Os ventos de direção Sul atingem elevada pista de vento nas ilhas-barreira localizadas ao norte (ilhas A e B) tendo seu máximo na Ilha A, enquanto os ventos Oeste alcançam maiores pistas nas ilhas-barreira localizadas a sul.

Os cenários Sul e Oeste evidenciam que as feições arenosas atuam como barreiras, fornecendo isolamento físico à costa adjacente, mitigando a intensidade trazida pelo vento Sul e o impacto direto do vento Oeste.

Os demais cenários gerados; Norte, Nordeste e Leste, não mostraram interferência expressiva na dinâmica da costa nordeste da Lagoa da Conceição, por esta não apresentar exposição aos mesmos. O cenário Norte apresenta elevada pista de vento que só é alcançada no setor baixo da Lagoa da Conceição.

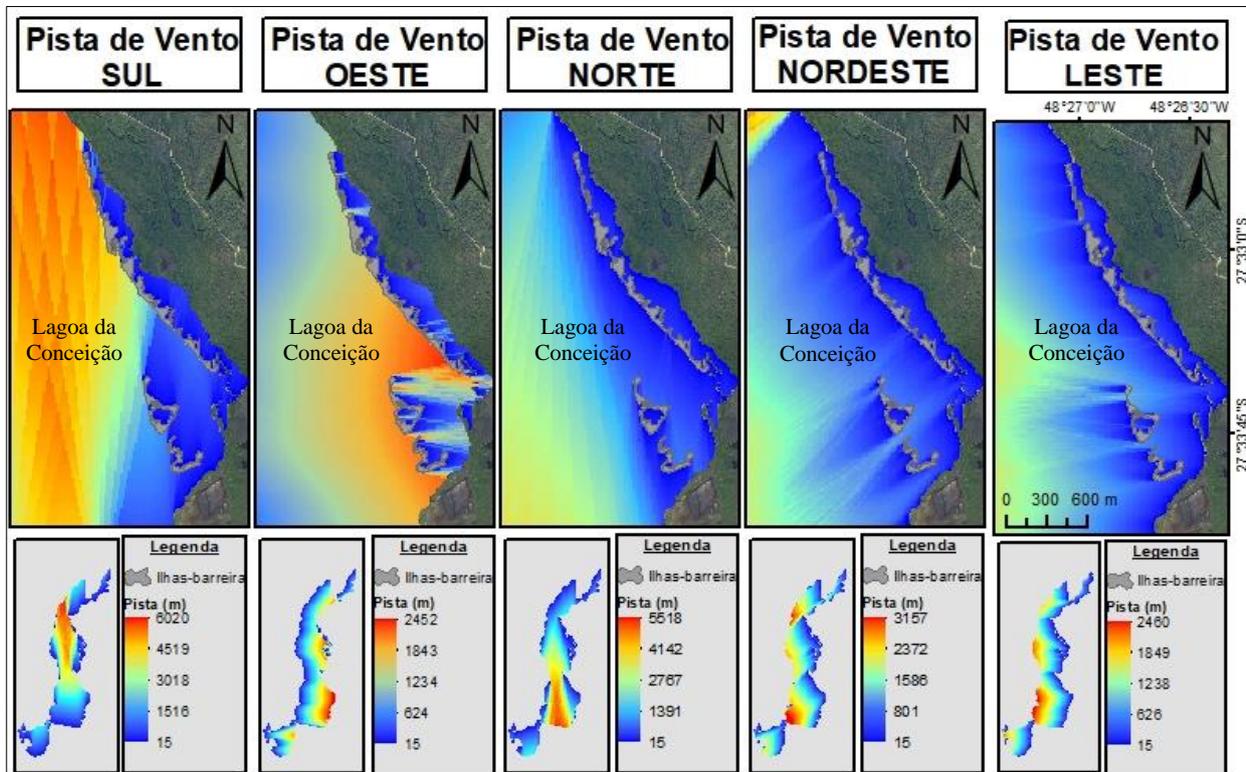


Figura 30: Cenário para direção Sul (180°), Oeste (270°), Norte (0°), Nordeste (50°) e Leste (90°).

Com objetivo de analisar a atuação das direções de vento sobre as ilhas-barreira foi elaborado um mapa das direções de ventos dominantes em cada segmento das ilhas (Figura 31).

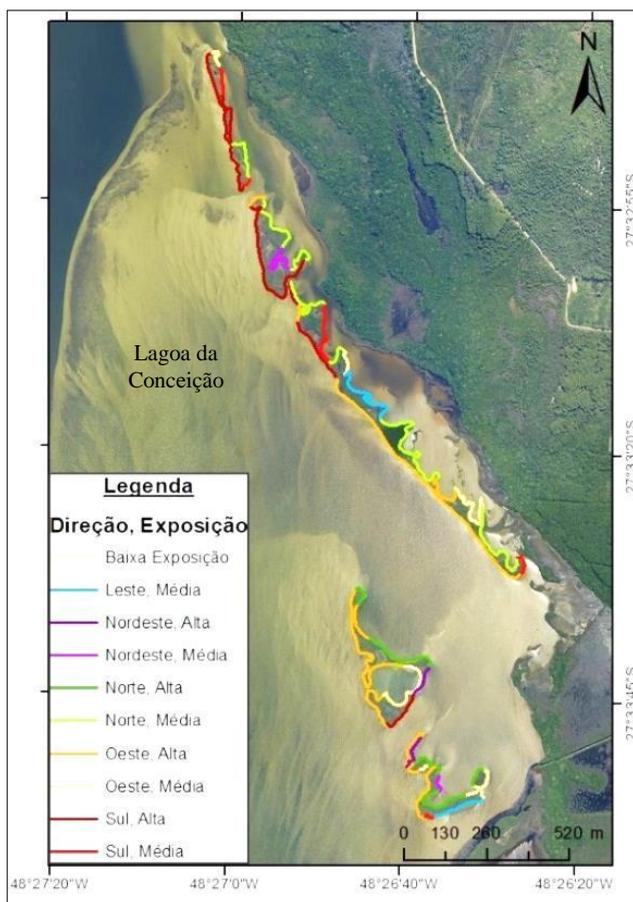


Figura 31: Direções de vento com maiores influências sobre o arquipélago de ilhas-barreira.

Nesta análise fica evidente a forte atuação do vento Sul nas ilhas A e B. A Ilha C se mostra exposta a atuação de ventos direção Oeste e abrigada das atuações de vento dominante (Sul) no seu setor sul. As margens internas das ilhas A, B e C estão submetidas às ações de todas as direções de vento, com predominância da direção Norte.

As margens externas das ilhas D e E sofrem maior influência dos ventos de direção Oeste, enquanto as margens internas são mais influenciadas pelo vento Norte.

Para avaliação das forças hidrodinâmicas, o cenário Leste não foi considerado devido ao baixo alcance de sua pista de vento na área de estudo em conjunto com sua baixa intensidade.

5.3.2 Parâmetros Físicos de Onda

Os dados a seguir derivam dos resultados obtidos da análise das forças eólicas. Os setores expostos às pistas de vento mais extensas geram ondas com maior interferência no retrabalhamento das ilhas-barreira. Dessa forma, apresentam os maiores valores para cada parâmetro de onda modelado.

Devido à alta intensidade da direção de vento sul, os maiores valores de todos os parâmetros modelados, dentre as quatro direções avaliadas, encontram-se neste cenário. Nele foram encontrados: altura variando de 0,07 a 1,38 metros, comprimento de onda de 0,32 a 16,99 metros e período de pico de 0,45 a 3,29 segundos (Figura 32).

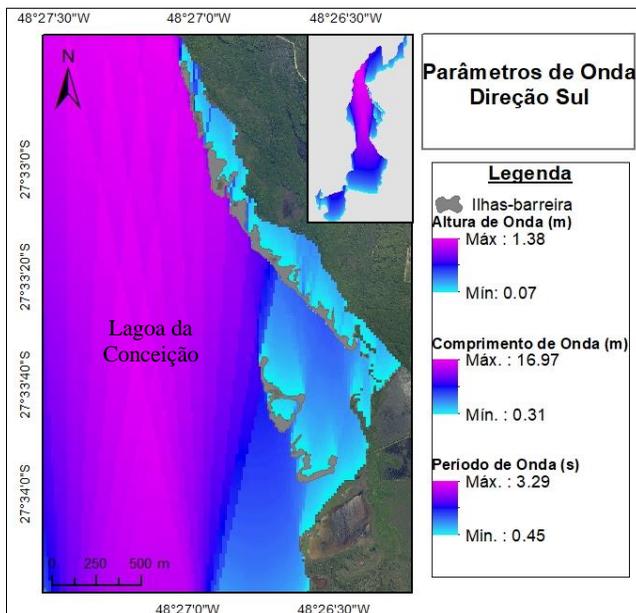


Figura 32: Parâmetros físicos de ondas (altura, comprimento e período) geradas por ventos de direção Sul (180°).

Para a orientação Oeste, os parâmetros oscilaram de 0,04 a 0,51 metros referentes à altura, 0,22 a 6,47 metros ao comprimento e 0,37 a 2,03 segundos ao período de pico (Figura 33). Neste cenário, a função das feições arenosas como barreira é evidenciada, pois no trecho de águas confinadas se observa queda considerável dos valores dos parâmetros.

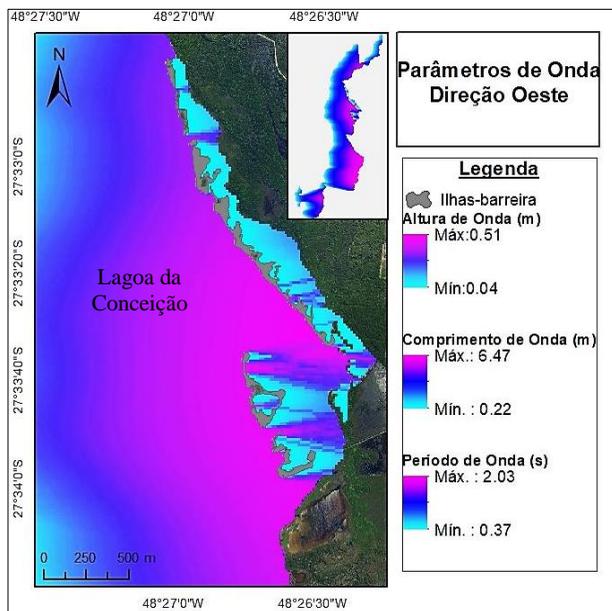


Figura 33: Parâmetros físicos de ondas (altura, comprimento e período) geradas por ventos de direção Oeste (270°).

As ondas geradas pelos ventos de sentido Norte estão submetidas a variações de altura de 0,048 a 0,93 metros, de comprimento 0,25 a 12,04 metros e de períodos de pico de 0,4 a 2,85 segundos (Figura 34). Neste cenário não há distinção aparente entre as ilhas e os valores das variáveis analisadas, sendo estes menores que em outros pontos da Lagoa da Conceição.

Na análise de ventos Nordeste, as características físicas de ondas variam entre 0,03 a 0,47 metros para a altura; 0,19 a 6,89 metros para o comprimento e 0,35 a 2,07 para o período de pico (Figura 35). Assim como no cenário 3, o cenário Nordeste não apresenta grandes interferências na área de estudo.

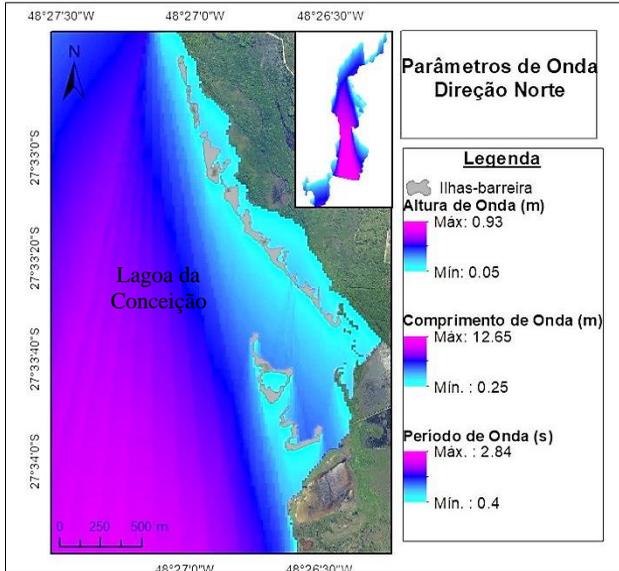


Figura 34: Parâmetros físicos de ondas (altura, comprimento e período) geradas por ventos de direção Norte (0°).

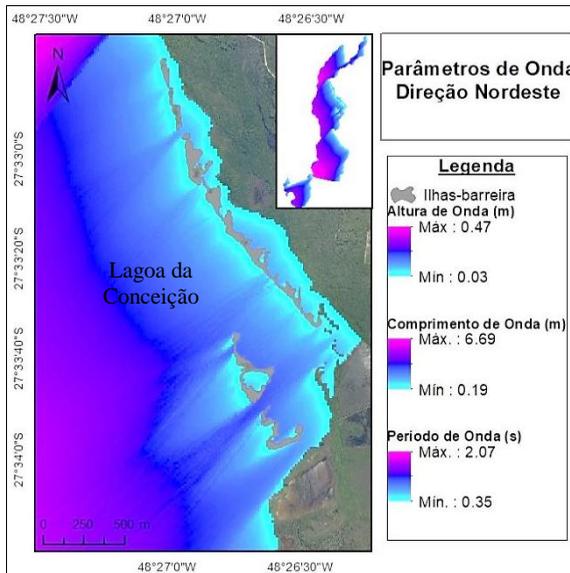


Figura 35: Parâmetros físicos de ondas (altura, comprimento e período) geradas por ventos de direção Nordeste (50°).

Mediante análise dos parâmetros de vento e onda, pode-se observar que a atuação das forçantes é semelhante quando comparada à localização de seus picos, como a alta exposição das ilhas A e B aos maiores valores dos três parâmetros para as direções Sul e Oeste. O setor sul da ilha C se encontra abrigado para todas as direções de vento, com exceção de direção Oeste; por outro lado, o setor norte da ilha D apresenta elevada exposição a todas elas. Os padrões de exposição da parte sul da Ilha D e de toda a Ilha E alternam entre abrigadas e expostas, dependendo do cenário analisado.

A direção de vento dominante no sistema é a Sul, que exibe expressiva ação sobre as ilhas A e B, dessa forma estão mais sujeitas ao retrabalhamento morfológico causado pelas ondas dessa direção. A Ilha C apesar de submetida à ação direta dos ventos Oeste não apresenta intenso retrabalhamento pelas ondas dessa direção, pois a frequência deste sentido de vento é menor que as demais analisadas.

5.3.3 Parâmetros Sedimentológicos

5.3.3.1 Batimetria

Os parâmetros de vento e onda têm seu desempenho condicionado pela batimetria do sistema sobre o qual atuam.

Por meio da Figura 36 pode-se observar que ao longo da Lagoa da Conceição o maior valor de profundidade é de aproximadamente 8 metros em sua margem Oeste, enquanto nas proximidades às ilhas-barreira avaliadas é inferior a 3 metros. Ao longo de toda a Lagoa da Conceição, na sua faixa central, há uma repentina variação na batimetria nas áreas de profundidade entre 3 e 4 metros.

Os setores de elevada profundidade apresentam maior circulação hidrodinâmica, promovendo renovação das águas e eventual transporte sedimentar. O extenso setor apresentando baixa profundidade, no qual estão localizadas as ilhas-barreira, por outro lado oferece condições favoráveis para a ressuspensão de sedimentos.

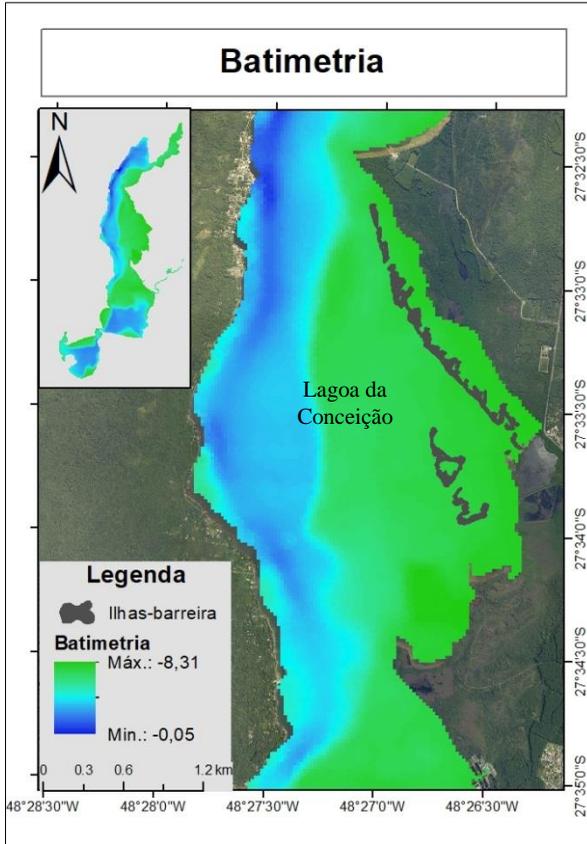


Figura 36: Batimetria da área de estudo.

5.3.3.2 Diagrama ETA

A fim de relacionar a extensão da pista de vento com a profundidade no entorno das ilhas-barreira foi elaborado um Diagrama ETA. Foram selecionados 19 pontos de controle, dos quais foram consideradas as informações batimétricas e de extensão pista de vento (Figura 37). O diagrama está exposto na Figura 38.

De acordo com o diagrama é possível observar que o processo de erosão é influenciado pelos ventos de direção Sul e Oeste, respectivamente o dominante e o que atinge diretamente a margem externa das ilhas-barreira. Devido a maior extensão de pista de vento, o vento Sul condiciona processos erosivos mais intensos que o de Oeste.

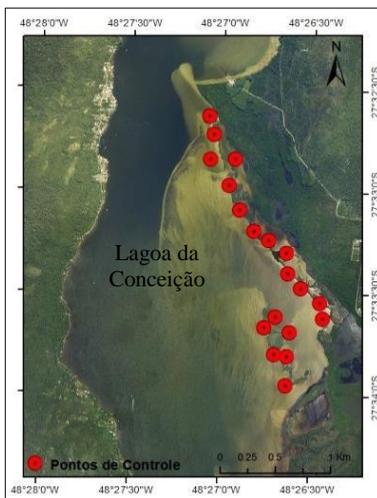


Figura 37: Localização dos pontos de controle.

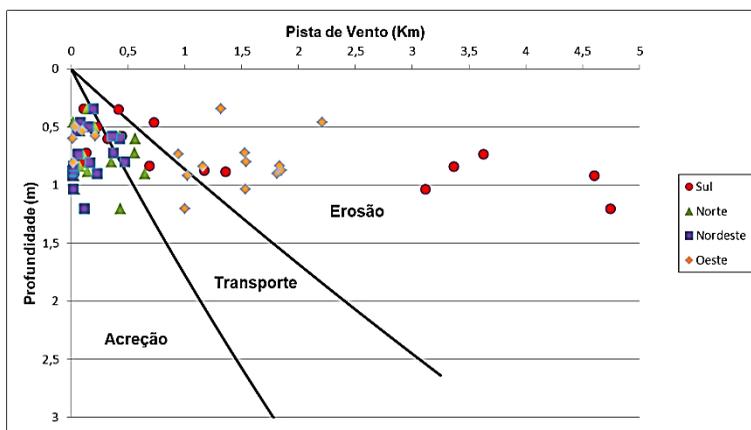


Figura 38- Diagrama ETA (Erosão, Transporte e Acreção) para pontos de controle.

Com relação ao processo de transporte, todas as direções analisadas contribuem em frequência semelhante para a realocação de sedimentos.

O processo de acreção é o único no qual se observa a atuação dos ventos de direção Nordeste e Norte de maneira dominante. Por sua vez,

os ventos Sul e Oeste, apesar de influenciarem no processo, tem sua relevância reduzida.

Devido à baixa profundidade e gradiente batimétrico, os processos ocorrem em pequeno intervalo de profundidade (de 0 a aproximadamente 1,2 m), concentrando sua variação na extensão da pista de vento.

5.3.3.3 Máxima Velocidade Orbital

A avaliação integrada da batimetria com parâmetros de vento e ondas permitiu a definição da velocidade orbital, que consistiu na discriminação de setores da Lagoa da Conceição quanto a sua capacidade de remobilização de sedimentos e, conseqüentemente, ressuspensão dos mesmos.

Foram gerados mapas correspondentes à máxima velocidade orbital para as quatro direções de vento e ondas modeladas anteriormente (Figura 39). A máxima velocidade orbital que mais atua nas feições arenosas é encontrada no cenário 1, quando o vento atuante é o Sul. Nesse cenário, a maior velocidade orbital pode chegar a 4,08 m/s. A área de alcance das maiores velocidades desta direção são as ilhas-barreira localizadas a norte do arquipélago, nas ilhas A e B.

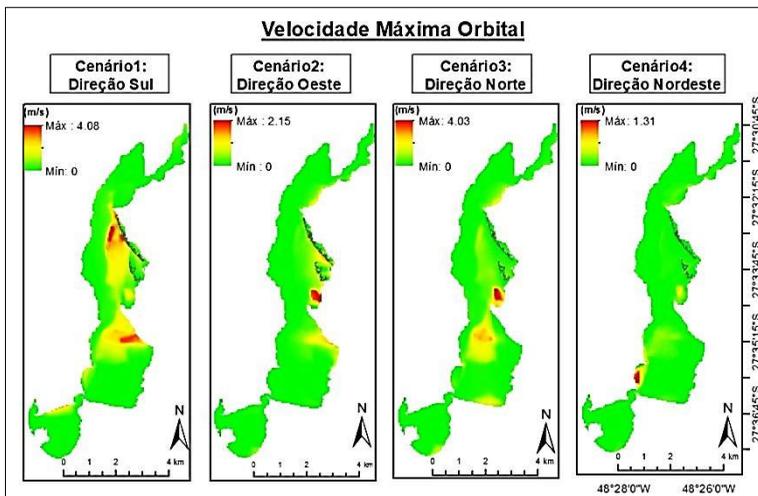


Figura 39: Velocidades máximas orbitais para os cenários de regime de vento analisados.

O cenário de vento Oeste atua diretamente nas feições, porém em menor intensidade que o Sul. Seu pico chega a 2,05 m/s, não alcançando

este valor ao chegar nos objetos de estudo. Este cenário atua principalmente na porção sul da Ilha C e nas ilhas D e E.

5.3.3.4 Probabilidade de Sedimento em Suspensão

Por meio dos produtos da máxima velocidade orbital foi possível discriminar as áreas da Lagoa da Conceição com maior probabilidade de gerar sedimento em suspensão.

O cenário para regime de vento Sul foi novamente o mais representativo na área de estudo, seguido pelos cenários Oeste, Norte e Nordeste. No cenário Sul os sedimentos em suspensão abrangem toda extensão das ilhas-barreira, incluindo as partes internas. O regime de ventos Norte atua em uma maior área que o Oeste, porém durante o cenário de vento Oeste a probabilidade de sedimentos em suspensão está localizada mais próxima às feições analisadas (Figura 40).

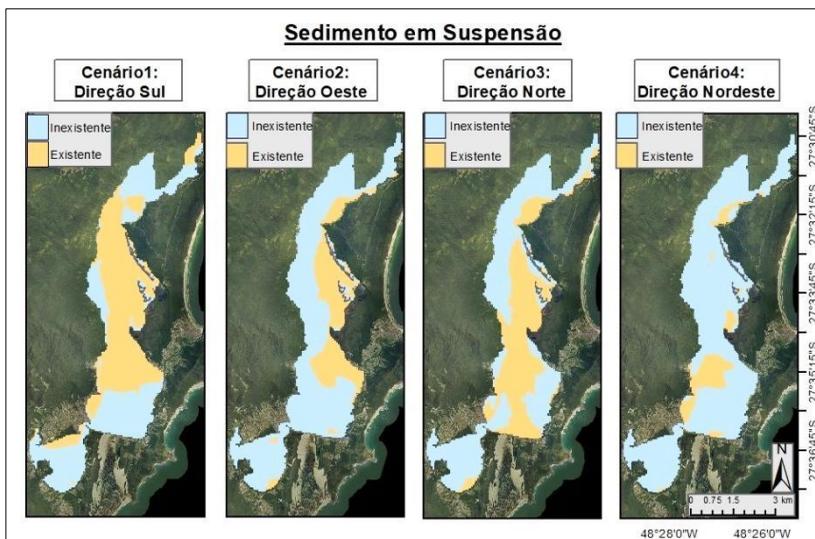


Figura 40: Áreas com probabilidade de resuspensão de sedimento para os cenários de regime de vento analisados.

Para obtenção da probabilidade de sedimento em suspensão na área de estudo foi realizada uma média ponderada com os quatro cenários anteriores. Os pesos foram atribuídos considerando a predominância das direções de vento, sua intensidade e alcance na área de estudo, sendo Sul peso 3, Norte e Nordeste 2,5 e Oeste 2 (Figura 41).

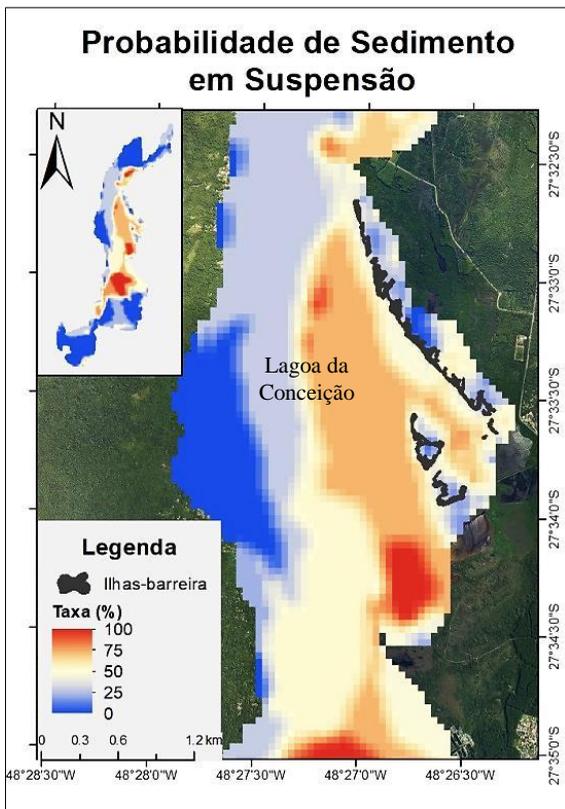


Figura 41: Área de maior probabilidade de ocorrência de sedimentos em suspensão, calculada pelo programa *Wave Model*.

Nos padrões de exposição a ventos e ondas exibidos pela área de estudo, as direções Oeste e Sul são determinantes para que haja sedimento em suspensão.

Na área adjacente à margem externa do arquipélago de ilhas-barreira observa-se uma probabilidade de sedimento em suspensão de 50 % (coloração amarelada) a 75% (coloração avermelhada). Na margem interna sedimentos em suspensão ocorrem na probabilidade de 50%, porém apenas no setor sul da Ilha C.

É notável a diferença da quantidade de sedimento em suspensão das margens externa e interna das ilhas-barreira. A externa possui elevada probabilidade de sedimento suspenso, enquanto na interna essa atividade ocorre em maior probabilidade apenas na porção sul da ilha C, que se mostrou a área mais abrigada à ação de ventos e ondas.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O arquipélago de ilhas-barreira localiza-se sobre o setor Norte da Lagoa da Conceição, margem Leste, cuja morfologia de fundo apresenta batimetria baixa e pouco variável. Neste local, ainda, é possível observar elevada probabilidade de ocorrência de sedimentos em suspensão. Estes aspectos estão de acordo com os fatores dominantes que favorecem o desenvolvimento de ilhas-barreiras de sistemas abrigados propostos por Pilkey *et al.* (2009).

O quarto aspecto determinante proposto pelos autores (*op. cit.*) é o clima de tempestade moderado a forte. O regime de chuvas observado na área de estudo, conforme dados do INEMET citados anteriormente, validam este requisito.

O regime de maré não se mostrou uma característica relevante para o retrabalhamento das feições analisadas. Conforme exposto por Cooper *et al.* (2007a), as direções de vento e suas ondas geradas localmente constituem a variável dinâmica dominante.

Em sistemas abrigados, a formação de ilhas-barreira ocorre em condições onde a pista de vento disponível é inferior a 25 km (COOPER *et al.*, 2007a). Constata-se esse comportamento na área, onde a maior de pista de vento corresponde ao cenário Sul, com pouco mais de 6 km.

As ilhas A e B estão submetidas à ação direta dos ventos Sul e Oeste e indireta do vento Norte, que apresentam altos valores de pista de vento. Dessa forma, constituem os segmentos que sofrem maior retrabalhamento, como visualizado pela caracterização e análise temporal do Capítulo 1.

A Ilha C apresenta-se predominantemente abrigada dos ventos, principalmente sua porção Sul. A exceção corresponde à sua exposição ao vento Oeste, porém a ação é amenizada devido à proteção oferecida pelas ilhas D e E. Ao contrário do observado nos outros segmentos, na margem interna da Ilha C há o acúmulo de sedimento em suspensão.

As ilhas D e E apresentam margens externas bem expostas a todas as direções de vento avaliadas, enquanto suas margens internas estão sempre protegidas. Tal comportamento, também observado nos outros segmentos, indica maior desenvolvimento das margens internas do arquipélago de ilhas-barreira.

Cooper (2013) propõe que as ilhas-barreira que estão expostas à direção dominante do vento e das ondas recuam através de translação, sem que haja perda do volume do arquipélago de ilhas. Na Lagoa da Conceição a direção dominante de vento é Sul. Esse vento e suas ondas consequentes agem diretamente sobre as ilhas-barreira e, apesar de

haver processos de segmentação, não há perda de material. Logo, este comportamento está igualmente de acordo com o descrito anteriormente pelo autor, classificando o processo migratório identificado no capítulo anterior como uma translação.

A ação de retrabalhamento exercida pelas ondas está diretamente relacionada ao comportamento dos ventos, por se tratar de um atributo derivado destes. Dessa forma, os regimes de vento mais intensos ou que atingem diretamente as ilhas-barreira geram ondas com maior potencial de retrabalhamento das feições.

Por serem geradas localmente, a poucas centenas de metros das ilhas-barreira, as ondas são curtas, portanto refratam menos que as oceânicas. Logo, conforme proposto por Finlayson & Shipman (2003), a menor refração das ondas próximo às margens das feições analisadas resulta em maior transporte de sedimentos em suspensão quando comparadas às feições de sistemas expostos.

Para a formação de ilhas-barreira em sistemas abrigados, Cooper *et al.* (2007a) propõem que a altura das ondas fora do período de tempestade deva apresentar, em geral, menos de 1m. Tal característica é observada na área de estudo, onde apenas as ondas Sul apresentam, e como pico, 1,38 m.

O vento Sul, dominante no sistema, é o principal responsável pelo processo de erosão. Os ventos Norte e Nordeste atuam de forma efetiva na acreção sedimentar das ilhas-barreira. O vento Oeste age nas diversas etapas de balanço sedimentar, sendo a principal a erosão. As quatro direções de vento trabalham conjuntamente no processo de transporte sedimentar. A ação eficaz das principais direções de vento atuantes no sistema sobre todas as etapas do balanço sedimentar propicia o retrabalhamento do arquipélago de ilhas-barreira, promovendo sua alteração morfológica.

As ilhas A e B encontram-se sob forte exposição ao vento dominante (Sul), estando sujeitas a frequentes processos de erosão e, conseqüentemente, alteração de sua morfologia. As margens externas das ilhas C, D e E sofrem influência do vento Oeste, menos frequente e que atua de forma equilibrada entre os diversos processos do balanço sedimentar. As margens internas do arquipélago de ilhas-barreira estão sob os efeitos do vento Norte, o maior agente da deposição sedimentar, promovendo o desenvolvimento dessas áreas. Especificamente no setor sul da margem interna da Ilha C, observa-se uma oferta de sedimento em suspensão, o que facilita a deposição sedimentar promovida pelo vento Norte, caracterizando maior transformação.

Os parâmetros descritos neste capítulo corroboram mais um requisito proposto por Oertel (1985) para a classificação das feições como ilhas-barreira: o fornecimento de proteção à costa do continente, que no local corresponde à margem leste da Lagoa da Conceição.

O arquipélago de ilhas-barreira encontra-se apenas neste setor da Lagoa da Conceição devido à combinação específica de atributos hidrodinâmicos e morfológicos. Apresenta batimetria baixa, águas rasas, pouca variação do fundo e assimetria entre as margens, ocasionando a elevada disponibilidade de sedimento em suspensão. O vento predominante do sistema (Sul) incide diretamente sobre a área, facilitando processos de transporte sedimentar e retrabalhamento por ondas.

A fixação de sedimentos, necessária para o desenvolvimento das ilhas-barreira e amortecimento da erosão, é condicionada pela estrutura vegetativa. O Capítulo 3, a seguir, discorrerá sobre o comportamento da cobertura vegetal sobre o arquipélago de ilhas-barreira e seu papel no estabelecimento da configuração atual das mesmas.

CAPÍTULO 3

Controle Vegetativo

6 Controle Vegetativo

6.1 INTRODUÇÃO

A abundância e a evolução das ilhas-barreira variam muito dependendo dos controles locais, como topografia e batimetria, clima de tempestade, controle vegetativo e suprimento de sedimentos (PILKEY *et al.*, 2009).

O controle vegetativo é uma das principais diferenças entre as ilhas-barreira de sistemas abrigados e as de sistemas expostos. A vegetação exerce importante controle na morfologia de ilhas abrigadas, fazendo com que estas exibam variabilidade de formas mais ampla do que as ilhas que ocorrem em ambientes de oceano aberto (PILKEY *et al.*, 2009).

A presença de vegetação pode influir de diversas maneiras na deposição da areia transportada pelo vento, podendo formar feições distintas (CARTER, 1988). Essa variação pode ser devida à dispersão inicial e/ou regeneração da vegetação, ou pode estar relacionada preferivelmente com os diferentes hábitos de crescimento das plantas envolvidas (CARTER, 1988; HESP, 2000). De acordo com Arens (1996), os padrões de sedimentação estão intimamente relacionados com fluxo de ar e densidade da vegetação. As obstruções presentes no deslocamento do vento perturbam o fluxo, criando locais que favorecem deposição dos sedimentos ou que áreas de turbulência (CARTER, 1988).

Frequentemente, o forte controle vegetativo sobre as ilhas-barreira abrigadas pode ser localmente mais importante do que a direção do vento dominante. Por exemplo, marismas, gramíneas marinhas e manguezais podem crescer nas margens internas e externas de ilhas-barreira de sistemas abrigados ativas, agindo para estabilizá-las, limitando o impacto das ondas de tempestades e favorecendo o acúmulo de sedimentos (Figura 42). Esse controle biológico raramente é visto em ilhas-barreira expostas, pois a energia das ondas impede o estabelecimento de marismas e mangues na margem marítima dessas ilhas (COOPER, 2007a).

A baixa energia de ondas presente em sistemas abrigados favorece igualmente o acúmulo de detritos - incluindo lixo humano, algas marinhas e outros materiais orgânicos - que abrigam sedimentos subjacentes, impedindo a ressuspensão eólica e, em graus variados, reduzem a erosão da praia (JACKSON *et al.*, 2002).

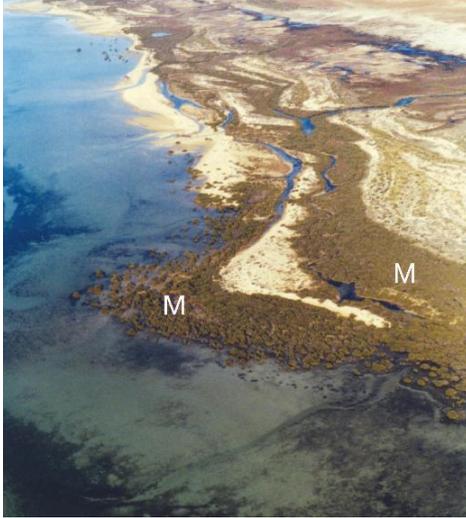


Figura 42: Plataformas densas de mangue (M) desenvolvidos nas margens interna e externa das ilhas-barreira, no alto Golfo de Spencer, sul da Austrália
Fonte: Pilkey *et al.* (2009).

Os marismas, mangues e pradarias marinhas apresentam efeitos diretos no transporte de sedimentos em ambientes abrigados (WARD *et al.*, 1984; FONSECA, 1996; FURUKAWA *et al.*, 1997; CHRISTIANSEN *et al.*, 2000), enquanto que a lama e a turfa associadas à vegetação dos pântanos salgados constituem frequentemente a plataforma de barreira. Quando as ilhas ficam cercadas por vastas extensões de marismas ou manguezais, elas podem se tornar inativas, não sendo mais afetadas por ondas e correntes (PILKEY *et al.*, 2009).

O tamanho reduzido das ilhas-barreira de sistemas abrigados, quando comparadas às de sistemas expostos, é atribuída a vários fatores, como baixa disponibilidade de sedimentos, profundidades rasas de penetração de ondas na superfície da costa, pouca frequência da atividade sedimentar e espaço de acomodação limitado. Esses fatores se combinam para produzir acumulações de areias finas e lineares em um ambiente de baixa energia (COOPER *et al.*, 2007a).

As comunidades vegetais da Lagoa da Conceição estão divididas entre espécies típicas de áreas de terras altas, precisamente submontana (30 a 400 m de altitude), abrangendo 46% da área da bacia hidrográfica da Lagoa, e de terras baixas (menores que 30 m de altitude), como formações herbáceas de campo (19%). Secundariamente, pode-se observar as classes: Formações Arbóreas - Terras Baixas (6,5%),

Formações Arbóreas – Reflorestamento (4,5%), Formações Herbáceas - Vegetação de Dunas (1%) e Depósitos Arenosos – Dunas e solo exposto (2%). Devido ao clima subtropical, houve condições propícias para desenvolvimento de estratos arbóreos densos, com alturas variadas (RADAMBRASIL/IBGE, 2004; OLIVEIRA, 2016).

Por ser uma região que possui topos e vertentes, a maior classe de uso está relacionada às áreas de florestas naturais, representados por estratos típicos de Mata Atlântica. Ao mesmo tempo, é a classe que sofre maior perda territorial, acentuadas no setor sudoeste e centro-nordeste (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

As características das comunidades incorporadas nessas classes vegetais estão compiladas no Quadro 3.

Quadro 3: Classes vegetais e características da Lagoa da Conceição

Cobertura Vegetal	Descrição
Formações Arbóreas – Florestas Naturais (submontana)	Estratos arbóreos típicos de Mata Atlântica, localizados em topos e vertentes de morros (ombrófila densa submontana).
Formações Arbóreas – Florestas Naturais (terras baixas)	Composta por floresta ombrófila densa e formações pioneiras de influência marinha (mata de restinga).
Formações Arbóreas – reflorestamento	Corresponde ao Parque Estadual do Rio Vermelho, criado pelo Decreto nº 308 de 24 de maio de 2007, com plantio de espécies exóticas (<i>Pinus sp.</i> e <i>Eucalyptus</i>).
Formações Herbáceas – Campos	Correspondem principalmente à vegetação secundária em estágios sucessionais de capoeirinha e pioneiro e pastagens.
Formações Herbáceas – vegetação das dunas móveis e semi-fixas	Identificada onde há depósitos arenosos com cobertura rarefeita. A espécie dominante é a <i>Spartina ciliata</i> .
Depósitos Arenosos	Ocorre nos setores nordeste e sul da Lagoa da Conceição, desde a Praia da Joaquina até a Avenida das Rendeiras.

Fonte: Oliveira, 2016.

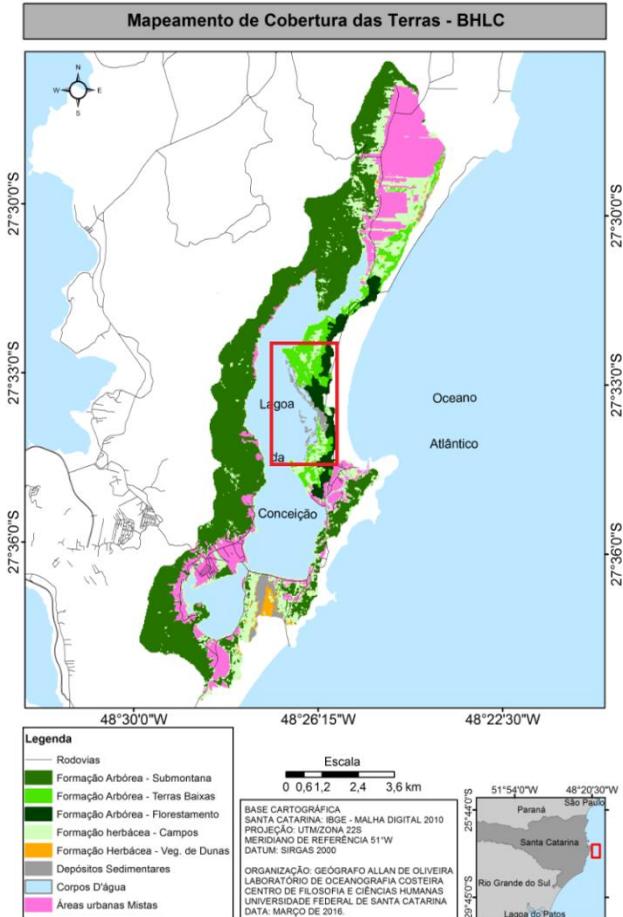


Figura 43: Mapa de cobertura e uso do solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição. Em vermelho, setor de ocorrência das ilhas-barreira analisadas.
Fonte: Oliveira, 2016.

O autor (*op. cit.*) realizou uma caracterização da cobertura e uso do solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição discriminando, além das classes vegetais, as classes “Perímetros Urbanos” (21%) e “Corpos d’água”. O primeiro corresponde aos bairros São João do Rio Vermelho, Barra da Lagoa, Joaquina, Lagoa, Canto da Lagoa e Costa da Lagoa. O segundo, à Lagoa da Conceição, cujas margens apresentam as Formações Arbóreas - submontana, terras baixas, Formações Herbáceas do tipo campos e de dunas móveis e semifixas, Depósitos Arenosos e

Perímetros Urbanos. A cobertura vegetal das ilhas-barreira não foi distinguida, estando classificadas como Depósitos Arenosos. Porém, as mesmas estão limitadas com a Formação Arbórea – submontana e Formação Arbórea – terras baixas (Figura 43).

A salinidade é um importante parâmetro para o desenvolvimento da vegetação na área estudada e sua compreensão é essencial para avaliar o estabelecimento da cobertura vegetal sobre as ilhas-barreira.

Os teores de salinidade da Lagoa da Conceição oscilam em função do ciclo de maré, devido à ligação da mesma com o mar pelo Canal da Barra, e do aporte de água doce (foz de rios e precipitação) (BARBOSA, 2003). No corpo lagunar e seu canal, a salinidade média é em torno de 30,04%, com máxima de 36% e mínima de 23,4% (SOUZA-SIERRA *et al.*, 1987).

Segundo Soriano-Sierra (1999), a partir da abertura permanente do Canal da Barra em 1982, as características morfológicas da Lagoa passaram a se alterar drasticamente. O ambiente que anteriormente era predominantemente doce passou a mostrar aumento gradativo da salinidade e alteração das comunidades bióticas. A água salgada, devido a sua densidade maior que a doce, passou a se depositar em áreas mais profundas, causando morte de organismos bentônicos e até anoxia dessas regiões.

6.2 METODOLOGIA

No dia 01 de fevereiro de 2018 foram realizadas verificações em campo na área de estudo, a fim de avaliar a influência do controle vegetativo sobre a morfologia das ilhas-barreira. Para tanto, foram caracterizadas as espécies e o grau de desenvolvimento das comunidades vegetais em cada uma das feições.

A avaliação do controle vegetativo baseou-se na caracterização qualitativa do grau de desenvolvimento e diversidade de espécies da cobertura vegetal sobre as feições arenosas. Essa caracterização baseou-se na análise *in situ* do perímetro de todas as feições arenosas, considerando as variações na altura, diâmetro e densidade das espécies vegetais encontradas.

Nesse sentido, foram identificados padrões de complexidade estrutural da vegetação e suas relações com os níveis de estabilização das ilhas-barreira, o que condiciona a variabilidade do formato e determina a maturidade das feições arenosas.

A complexidade estrutural vegetativa foi classificada em alta, média e baixa, onde setores com alta complexidade possuem maior densidade de vegetação, espécies vegetais mais desenvolvidas, com maiores diâmetro na altura do peito (DAP), altura e diversidade da vegetação. Setores de baixa complexidade apresentam comunidades com menor desenvolvimento e diversidade das espécies vegetais, além de menor densidade de cobertura.

O arquipélago de ilhas-barreira foi setorizado por classes de complexidade e os polígonos vetorizados das ilhas foram limitados por linhas para setorização. Foi adicionada ao polígono a presença de sistemas de vegetação aquática típica de bordas nas margens das ilhas para identificação de terrenos de menor estabilidade.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Complexidade Vegetal

Ao longo das ilhas-barreira foram identificadas comunidades vegetais em estratos herbáceos, arbustivos e arbóreos, formados por espécies aquáticas macrófitas emergentes (emersas), tipicamente enraizadas no sedimento e com folhas que crescem para fora da água. As macrófitas lenhosas englobaram, em geral, as espécies: *Myrsine parvifolia*, que dominou em densidade as áreas emersas de basicamente todas as ilhas-barreira, *Hibiscus* sp., *Annona palustres* e *Schinus terebinthifolius*, além de *Pinus* sp. e palmeiras *Syagrus romanzoffianum*, todos de porte arbustivo e arbóreo. Também foram identificadas macrófitas emergentes de menor porte ou herbáceo, como *Scirpus* sp., *Juncus* sp., gramíneas de banhado (ex.: *Paspalum vaginatum*), e espécies submersas como *Halodule wrightii* e *Ruppia maritima* (Figura 44).



Figura 44: Exemplos de vegetação observadas: à direita, *Juncus* sp. e *Scirpus* sp.; à esquerda, *Myrsine parvifolia*.

Na ilha A não foi encontrada grande diversidade, com uma cobertura bimodal onde metade é composta por gramíneas, localizadas principalmente nas margens das lagoas internas, e por espécies arbustivas de porte variado (a samambaia *Acrostichum* sp., e as espécies lenhosas *Schinus terebinthifolius* e *Hibiscus* sp.) (Figura 45). Disperso em sua área foram observados seis setores de *Myrsine parvifolia*. Na margem interna foram encontrados pequenos agregados de *Scirpus* sp., além de *Ruppia maritima*, formando pradarias submersas.



Figura 45: Vegetação composta de macrófitas aquáticas emergentes enraizadas de porte herbáceo e arbustivo (Ilha A).

Por toda extensão a Ilha B é dominada por gramíneas, agregados de *Juncus* sp. e espécies lenhosas arbustivas (Figura 46). No esporão do setor norte são encontradas formações do tipo “marisma” compostas predominantemente por *Scirpus* sp., adjacentes a bordas mais altas colonizadas por *Myrsine parviflora* (ou “capororoca”), de até 1 metro de altura. O centro da ilha apresenta árvores de grande porte arbóreo como *Pinus* sp., com diâmetro na altura do peito (DAP) de até 20 cm. A margem interna também é composta por marismas de *Scirpus* sp. associadas a franjas de juvenis de *Myrsine parviflora*.



Figura 46: Exemplos de vegetação da Ilha B. À direita, macrófitas lenhosas enraizadas de porte médio arbustivo e *Pinus* sp. de grande porte; à esquerda, vegetação lenhosa de maior porte ou arbórea se sobressaindo à arbustiva.

O cordão arenoso no extremo norte da Ilha C, parte mais proximal à Ilha B, apresentou *Myrsine parviflora* junto a formações de *Scirpus* sp. com gramíneas e agregados esparsos de *Juncus* sp., formando uma cobertura vegetal mais estreita e restrita. O norte da Ilha C dispõe da maior diversidade de espécies do arquipélago de ilhas-

barreira, com cerca de onze espécies lenhosas de porte arbustivo a arbóreo, com DAP de até 25 cm em média, incluindo indivíduos da palmeira *Syagrus romanzoffianum*. Nos demais setores, espécies arbustivas alternam-se com pinheiros, e macrófitas aquáticas de menor porte como *Juncus* sp. e gramíneas, sendo que as duas últimas localizam-se mais próximas às margens (Figura 47). No sul da Ilha C há o desenvolvimento de banhado com cobertura vegetal de gramíneas (principalmente *Paspalum vaginatum*), abrangendo uma área que vai da margem interna da ilha até a margem leste da Lagoa da Conceição. No interior deste banhado formam-se “ilhotas” de pequenas dimensões cobertas por pinheiros, espécies arbustivas, gramíneas, *Scirpus* sp. e *Juncus* sp. (Figura 48).



Figura 47: Visão geral da Ilha C vista a partir da Ilha D.



Figura 48: À direita, pequena ilha presente nas águas confinadas; à esquerda, banhado presente no setor sul da Ilha C.

A comunidade vegetal da Ilha D é composta por seis diferentes espécies lenhosas de porte menor ou arbustivas que chegam a atingir aproximadamente 2 metros de altura. Margeando as lagoas internas, foram encontradas franjas de *Myrsine parviflora* com porte arbustivo associada a gramíneas e pequenas marismas de *Scirpus* sp. (Figura 49).



Figura 49: À direita, lagoa interna margeada por franja de *Myrsine parviflora* e marisma de *Scirpus* sp. na extremidade; à esquerda, margem interna Ilha D.

No bolsão interno entre as ilhas D e E foram identificadas pradarias submersas de *Ruppia maritima*. A Ilha E é coberta por três espécies lenhosas arbustivas e juvenis de *Myrsine parviflora* margeando a ilha (Figura 50 e Figura 51). A parte mais desenvolvida está orientada para leste.



Figura 50: Visão geral da Ilha E.



Figura 51: À direita, pradarias de *Ruppia maritima*; à esquerda, margem norte da Ilha E.

A complexidade estrutural vegetativa foi considerada fator determinante da maturidade do arquipélago de ilhas-barreira, incorporando parâmetros como diversidade da comunidade, densidade,

DAP e altura ou porte de cada estrato da vegetação. O controle vegetativo foi determinado com base na presença ou não de um sistema de vegetação de borda formado tipicamente por uma associação entre marismas (com predomínio de *Scirpus* sp.) e franjas de “capororoca” (*M. parviflora*) de porte arbustivo, presentes nas margens do arquipélago de ilhas-barreira. O nível de complexidade combinado ao controle vegetativo de borda representa, assim, o desenvolvimento ou maturidade das ilhas (Figura 52:).

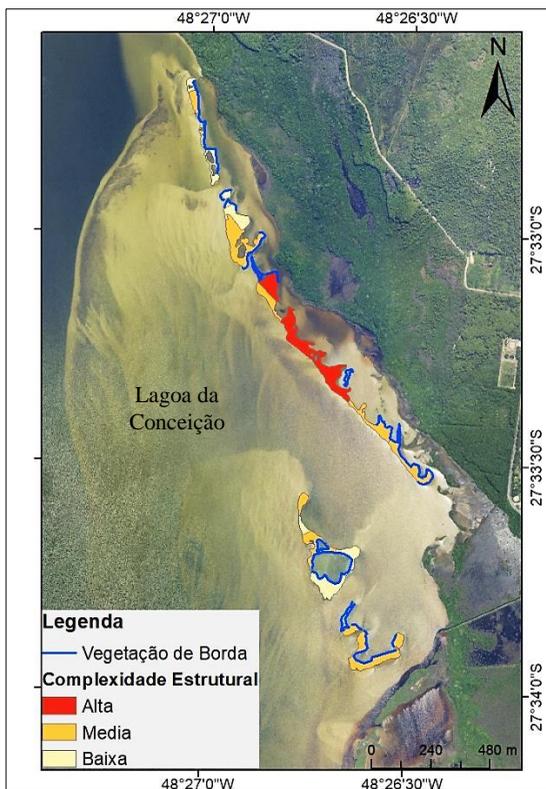


Figura 52: Mapa de Complexidade Estrutural Vegetativa baseado na presença de sistema de vegetação de borda e nível de complexidade estrutural de cada ilha-barreira.

A presença de diferentes espécies de porte maior ou arbóreas indica maior grau de maturidade, porém a presença de sistema de vegetação de bordas (franjas de “capororoca” associada a marismas) nas margens propicia maior estabilidade às ilhas.

A alta complexidade estrutural, observada no setor central do arquipélago de ilhas-barreira, indica que esta região é mais madura que as demais, pois as espécies arbóreas de maior porte presentes no setor levaram mais tempo para se desenvolver. Isto se traduz no formato menos recortado das margens internas, uma vez que as espécies vegetais mais antigas ali presentes não têm elevada capacidade de aprisionar sedimento.

Os setores de baixa e média complexidade vegetal são menos maduros, ainda em desenvolvimento. Dessa forma, a vegetação de menor porte que se desenvolve nessas áreas, gramíneas e arbustivas, facilita o acúmulo de sedimentos, formando esporões sem padrão de distribuição.

A partir do momento que o arquipélago de ilhas-barreira se desenvolveu e o terreno foi se estabilizando, as espécies lenhosas de maior porte encontraram suporte para seu desenvolvimento em detrimento do sistema de vegetação de borda (associação entre “capororoca” e marismas) presente nas margens.

Aptas a colonizar pelas margens e em terrenos mais instáveis pela presença de sistema radicular superficial e relativa tolerância à salinidade, o sistema de menor porte formado pela “capororoca” associada às marismas sucumbe perante o avanço e estabilização das espécies de maior porte de terrenos mais altos, pois estas se enraízam e ocupam grande área da superfície. Como as espécies de borda estão em estágio juvenil ou são herbáceas, com raízes mais superficiais e de menor área de cobertura, elas acabam em desvantagem competitiva pelo espaço, o que por sua vez inviabiliza a colonização das partes interiores mais elevadas.

A partir disso, justifica-se a ausência do sistema de vegetação de borda no setor norte da Ilha C, por ser uma região de alta complexidade com desenvolvimento de espécies arbóreas ou de grande porte.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cooper *et al.* (2007a) expõe que o controle vegetativo pode ser localmente mais importante que o regime de vento dominante. Na área analisada isso não ocorre, pois o controle vegetativo sobre o arquipélago de ilhas-barreira desempenha função de estabilidade de terreno (por ser a vegetação predominantemente emersa), porém o vento dominante (Sul) apresenta maior importância no desenvolvimento morfológico.

A importância da atuação do regime de vento Sul fica evidenciada pelo desenvolvimento ou não de vegetação de borda (associação entre “capororoca” e marismas) nas margens das ilhas-barreira. Observa-se que nas margens externa, onde o vento Sul alcança maior pista de vento não se desenvolve vegetação de borda, contrapondo as margens interna onde, mais protegidas da ação deste vento, há a fixação dessas espécies. Desta forma, a atuação do vento dominante controla o desenvolvimento de espécies da zona submersa que agem no aprisionamento sedimentar e estabilização do terreno. O vento controla a morfologia das margens externas, tornando-as mais arredondadas, enquanto a vegetação de borda promove recorte das margens internas.

A capacidade de controle vegetativo sobre as ilhas-barreira fica mais evidenciada pela Ilha C. O setor norte dessa Ilha, mais influenciado pelos ventos de direção Sul e Oeste apresenta o desenvolvimento de espécies arbóreas de grande porte, indicando maior altimetria e estabilidade do terreno. O setor sul, mais protegido, possibilita a fixação de vegetação típica de borda, indicando terrenos menos estáveis (FEAGIN *et al.*, 2010). Este setor é o que menos apresentou mudanças morfológicas ao longo dos 78 anos avaliados, evidenciando que o vento dominante é o principal agente de transformação.

Corroborando o exposto por Lewis *et al.* (2005), o controle vegetativo é importante para a configuração de margens irregulares devido à presença de espécies típicas de vegetação de borda, como as observadas na área de estudo, marismas e as franjas de “capororoca”. Por todo o arquipélago de ilhas-barreira observa-se maior recorte nas margens internas do que na externas.

CAPÍTULO 4

Comportamento Sedimentar

7 Comportamento Sedimentar

7.1 INTRODUÇÃO

De acordo com Caruso Jr. (1987), a gênese da Lagoa da Conceição ocorreu em quatro estágios. O primeiro teve início no Pleistoceno, há aproximadamente 120.000 anos, a partir de um máximo transgressivo, com a sedimentação de uma barreira que hoje é denominada de cordão interno, este cordão teria se formado no Holoceno, a aproximadamente 5.100 anos, por evento transgressivo **(Erro! Fonte de referência não encontrada.A)**.

A fase transgressiva teria ocasionado o secamento da laguna e posteriormente, com a transgressão marinha holocênica, que atingiu seu auge a 5.500 anos, a laguna teria voltado a existir. A exposição de depósitos da turfa na praia de Moçambique permite inferir a migração dessa praia em direção ao continente, soterrando parte da laguna pré-existente entre a mesma e um cordão litorâneo mais interiorizado, mais alto, responsável pela formação do corpo lagunar com nível do mar mais alto, possivelmente a cerca de 5.000 anos (MUEHE & CARUSO JR., 1989).

No segundo estágio, após a fase transgressiva, estabeleceu-se uma fase regressiva ocasionando a formação de terraços marinhos na porção leste da Lagoa, ligada às ilhas graníticas. O material sedimentar sofreu remobilização eólica, determinando a formação de dunas. A partir desta fase se caracteriza a formação do sistema lagunar, decorrente do isolamento de um corpo d'água com a drenagem tomando um sentido leste, evidenciado por paleocanais **(Erro! Fonte de referência não encontrada.B)** (CARUSO JR., 1987).

O estágio seguinte instituiu uma fase transgressiva holocênica, a aproximadamente 3.600 anos, que remobilizou os antigos cordões e formou uma série de pequenas ilhas-barreira, adjacentes à antiga linha de costa, e que viriam a formar uma nova praia. A formação desta praia ocasionou o estabelecimento de outra pequena laguna em sua retaguarda. Assim a margem leste da laguna da Conceição era formada por dois cordões litorâneos, um de idade pleistocênica e outro de idade holocênica separados por um corpo aquoso de pequena proporção. Ocorreu, então, aumento no isolamento do corpo d'água, formando áreas alongadas entre as ilhas-barreira e o cordão interno (CARUSO JR. & FRASSON, 2000) **(Erro! Fonte de referência não encontrada.C)**.

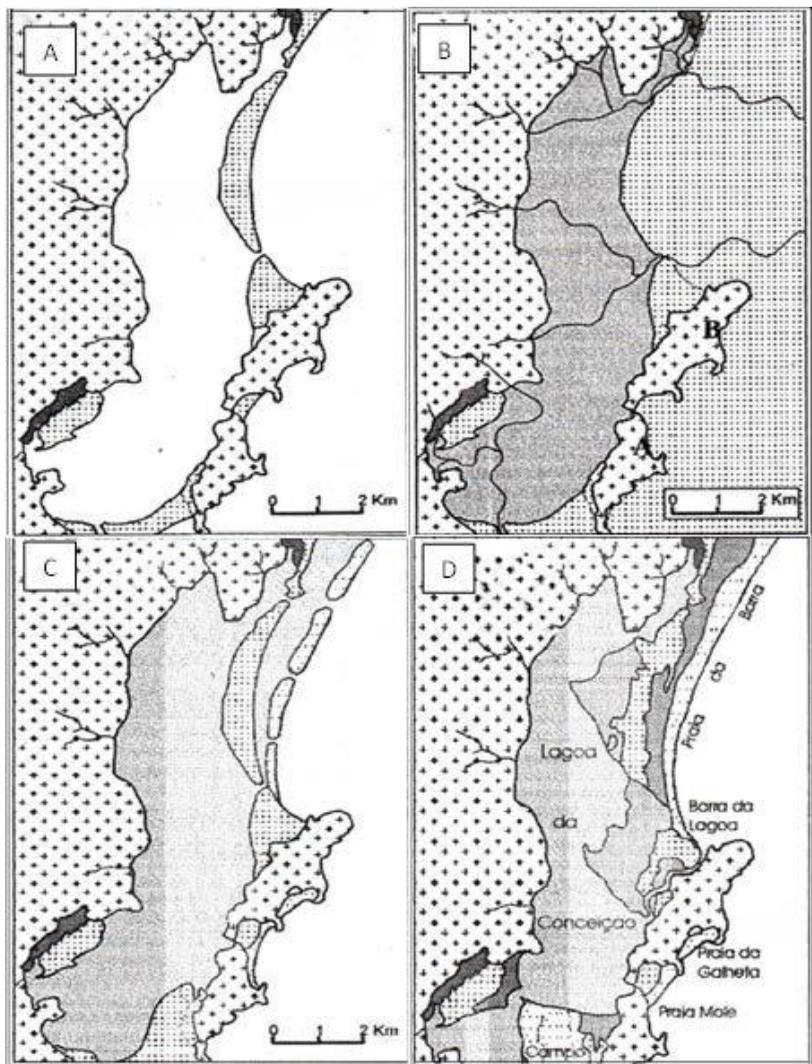


Figura 53: Origem e evolução do sistema lagunar Lagoa da Conceição. A: Primeiro estágio. B: segundo estágio. C: terceiro estágio. D: quarto estágio.
 Fonte: Caruso Jr. & Frasson (2000).

Para o quarto estágio, estudos realizados na Lagoa da Conceição confirmaram a existência de dois cordões litorâneos ao longo da praia do Moçambique, sendo o interior mais alto. A datação das turfas coletadas no cordão externo, mais baixo, apresentaram idade de 2.660

+/- 170 anos, sugerindo que a caminhada do cordão externo em direção ao interno deu-se por volta de 2.500 anos. Foram movimentos do nível do mar em pequena escala, denotando a configuração da atual planície costeira adjacente à laguna, conhecida popularmente como Lagoa da Conceição (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**D) (CARUSO JR., 1987; MUEHE & CARUSO JR., 1989).

Atualmente, a cobertura sedimentar da Lagoa da Conceição é controlada pela batimetria, atuação de agentes hidrodinâmicos (marés, correntes lagunares e, subordinadamente, ondas) e pela ação dos ventos dominantes (GRÉ & HORN FILHO, 1992).

Quanto à distribuição dos sedimentos de fundo, a Lagoa da Conceição exibe dois padrões clássicos conhecidos de sedimentação lagunar. Apresenta predominância de sedimentos arenosos nas porções marginais e siltosas nas partes centrais e profundas, ocorrendo entre estes as fácies transicionais areno-siltosa e silto-arenosa, que ocupam as profundidades intermediárias. Na margem Oeste da Lagoa situam-se as fácies arenosas, provenientes das encostas do Complexo Cristalino e apresentando imaturidade textural e mineralógica. Na margem Leste encontram-se areias provenientes da barreira arenosa, que se apresentam maduras, sendo provavelmente retrabalhadas da plataforma continental adjacente (MUEHE & CARUSO JR. 1989).

De acordo Gré & Horn Filho (1999), os valores de assimetria são variados. A assimetria negativa é encontrada em setores de alta energia, como observado próximo ao Canal da Barra, sujeitos a atuação de correntes lagunares e de maré. A assimetria positiva, por sua vez, é encontrada nos subambientes de energia mais baixa, como no setor onde está localizado o arquipélago de ilhas-barreira, identificando área de deposição.

7.2 METODOLOGIA

No dia 01 de fevereiro de 2018 foram coletadas amostras de sedimentos para análise composicional e dos parâmetros físicos do substrato com objetivo de classificar os sedimentos do arquipélago de ilhas-barreira quanto aos seus parâmetros granulométricos foi realizada a análise sedimentar, dividida em etapas de campo, laboratório e análise estatística.

7.2.1.1 Coleta de Sedimentos

Foram coletadas 34 amostras ao longo do arquipélago de ilhas-barreira em diversos pontos de deposição, no interior das ilhas, em margens internas e externas e setores submersos (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Durante a coleta, as amostras foram etiquetadas e armazenadas em sacos plásticos transparentes para posterior análise granulométrica. Suas coordenadas foram determinadas com a utilização de GPS (*Global Positioning System*) no datum WGS 84 (*World Geodetic System*). Coletadas utilizando o aparelho GPS Garmin, as coordenadas são apresentadas no APÊNDICE 1.

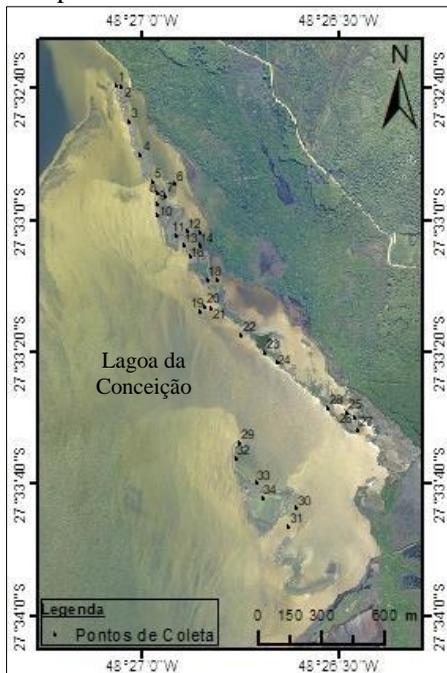


Figura 54: Localização das amostras coletadas.

7.2.1.2 Processos Laboratoriais

Esta etapa do trabalho compreendeu eliminação da matéria orgânica total e do carbonato biodetrítico e posterior análise da granulometria sedimentar.

Seguindo os procedimentos clássicos de sedimentologia descritos por Suguio (1973), inicialmente as amostras foram lavadas para retirada dos sais solúveis e secas em estufa à temperatura de 60°C. Foram então colocadas em béqueres devidamente identificados, nos quais foi adicionado o ácido clorídrico (HCl) com concentração de 10% em temperatura ambiente e com auxílio de um bastão de vidro, misturadas em intervalos regulares até que a amostra cessasse reação à adição de HCl. Em seguida, a amostra foi lavada, secada em estufa e resfriada no dessecador. Posteriormente, foi adicionado à amostra o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), com concentração 15%. As amostras reagiram por 24 horas e em seguida foram levadas à chapa quente com temperatura de 100°C, até a cessar a reação à adição de H₂O₂, que pode ter sua concentração elevada até 30%. Na etapa seguinte, as amostras passaram pelos mesmos procedimentos realizados na etapa anterior, lavar e secar.

Posteriormente, frações de aproximadamente 5g do material livre de matéria orgânica e carbonato biodetrítico foram processadas no analisador de distribuição de tamanho de partícula por difração de luz LA-950 - HORIBA, presente no Laboratório de Oceanografia Costeira – LOC/UFSC, para determinação das frequências granulométricas (em microns e *phi*) presentes em cada amostra.

O HORIBA LA-950 relaciona o tamanho da partícula com o ângulo e intensidade da dispersão da luz. A relação entre o tamanho da partícula e o ângulo é inversamente proporcional, e o padrão de dispersão de luz definido pela intensidade e pelo ângulo de um grupo de partículas é convertido na distribuição do tamanho (HORIBA, 2012).

A análise do HORIBA LA-950 é realizada através da difração de duas fontes de luz com diferentes comprimentos de onda para aumentar o limite inferior de detecção da técnica, sendo elas o laser vermelho de 650 nm e o LED azul de 405 nm. A dispersão da luz é convertida para o tamanho da partícula utilizando a Teoria de Mie, que considera que o ângulo de difração é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. Ela é utilizada no analisador por ser a teoria de dispersão que melhor analisa amostras de diâmetros menores que 50 nm que possuem distribuição subestimada. O instrumento é controlado através do *software* do equipamento, onde ocorre também a conversão da dispersão de luz para tamanho da partícula (HORIBA, 2012).

O HORIBA LA-950 possui uma amplitude de medição de 0,01 a 3000 μm e 84 intervalos de classificação e utiliza o sistema úmido para manipulação da amostra e controle da interação das partículas. Dessa forma, pode-se utilizar a amostra seca ou molhada, desde que a alíquota, de aproximadamente 5g necessária para realizar a análise esteja homogeneizada (HORIBA, 2012).

7.2.1.3 Análise Estatística

Os resultados da análise são fornecidos em razão das classes granulométricas em micron e estes foram processados na extensão GRADSTAT (“*Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer*”, versão 8), que é um complemento para o *software Excel*. Por meio do método logarítmico de Folk & Ward (1957) são obtidos e classificados em *phi* os valores da média, desvio padrão, assimetria e curtose. Histogramas com a curva de frequência e frequência cumulativa foram confeccionados no *software Excel 2010* para visualização das similaridades e disparidades entre as amostras.

A fim de avaliar a similaridade com outras amostras coletadas na área de estudo, correspondentes às dunas do Santinho e Moçambique, bancos da Lagoa da Conceição e do canal da Barra, foram utilizadas amostras do banco de dados do LOC previamente analisadas quanto à sua composição granulométrica. As amostras de dunas foram coletadas em setembro de 2016 por Pinto (2015) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). As amostras do Canal da Barra e do banco de areia da Lagoa da Conceição foram coletadas na disciplina GCN 7003 - Sedimentologia sob supervisão da professora Carla Bonetti, em setembro de 2016 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Os dados relativos a essas amostras do banco de dados do LOC estão apresentados no APÊNDICE 2.

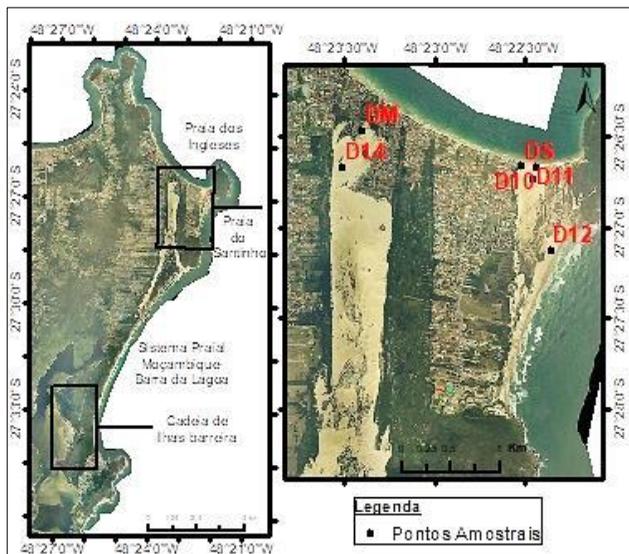


Figura 55: Localização das amostras sedimentares cedidas por Pinto (2015)

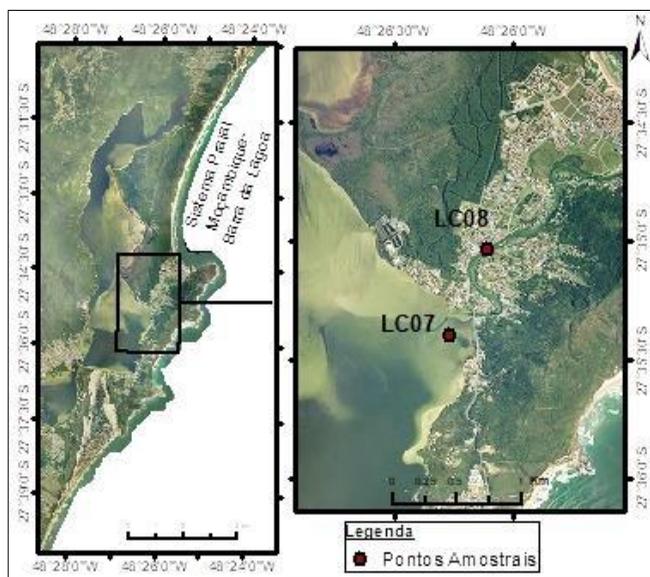


Figura 56: Localização das amostras coletadas pela Disciplina de Sedimentologia.

Segundo Rudorff *et al.* (2005), por meio da análise de agrupamento dos descritores morfo-sedimentológicos, a setorização da Lagoa da Conceição pode ser eficientemente obtida a partir de um número restrito de amostras com apoio qualitativo de dados complementares.

Para agrupar os sedimentos por grau de similaridade, com o intuito de identificar amostras com granulometrias semelhantes, foi aplicada a técnica de Escalonamento Multidimensional (MDS) utilizando o *software Statistica*.

A análise multivariada explora simultaneamente as relações entre as diversas variáveis em cada objeto de estudo. Avalia o comportamento das mesmas no universo amostral através de mensurações múltiplas procurando melhor entendimento na relação entre as variáveis ao longo de diversos casos analisados. Ao apresentar os resultados reduz a dimensão das variáveis, permitindo o reconhecimento da importância relativa entre as mesmas ao longo do conjunto amostral (GROENEN & VAN DE VELDEN, 2016).

O escalonamento multidimensional busca reduzir o espaço dimensional das relações entre os indivíduos. Assim, as similaridades que após análise de agrupamento foram representadas por uma matriz de distância Euclidiana, podem ser representadas em uma ou duas dimensões (GROENEN & VAN DE VELDEN, 2016).

Para a realização do MDS as amostras foram consideradas os ‘casos’ e as classes granulométricas as ‘variáveis’ a serem avaliadas. A matriz de relações foi reduzida para uma dimensão, e as amostras separadas em dois grupos diferentes de acordo com a Dimensão resultante do MDS. Posteriormente, as amostras coletadas nas ilhas-barreira foram espacializadas no *software ArcGis* para relacionar a deposição destas e também a relação com sedimentos coletados nas dunas e outros pontos da Lagoa da Conceição.

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise granulométrica das amostras coletadas resultou em frequências que variaram no intervalo 0 à 5,25 ϕ (ϕ) (APÊNDICE 3). A classe textural predominante entre as amostras foi a Areia, sendo 100% areia em 26 amostras e as 8 amostras restantes obtiveram teores de lama de no máximo 0,8%. Na classe textural areia foram encontradas todas suas subclasses, sendo Areia Fina predominante em 25 amostras e as restantes predominando Areia Média (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

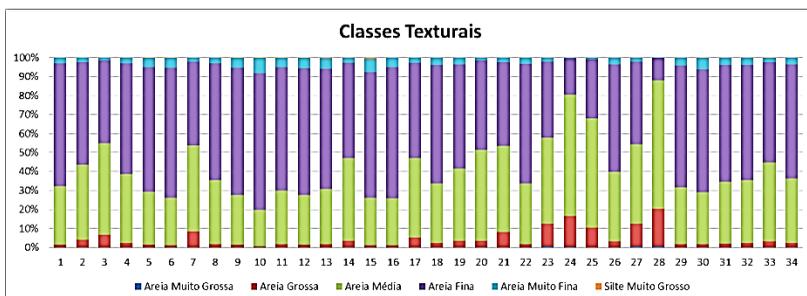


Figura 57: Distribuição das classes texturais nas amostras.

As estatísticas obtidas das amostras apresentaram características similares entre as amostras e pouca variação quanto à granulometria, selecionamento, assimetria e curtose como pode ser analisado na Tabela 4.

As amostras tem caráter unimodal e possuem médias granulométricas variando de 1,4 ϕ (areia média) à 2,4 ϕ (areia fina), sendo que apenas nove amostras encontram-se no intervalo de areia média. Quanto ao grau de selecionamento, as amostras apresentaram caráter bem selecionado (13 amostras) e moderadamente bem selecionado (21 amostras) variando de 0,46 à 0,68 ϕ . Sete amostras foram classificadas com assimetria negativa e a maioria como simétrica, variando de -0,18 à -0,02 ϕ . Das 34 amostras coletadas apenas duas são classificadas como Leptocúrtica e a maioria como Mesocúrtica.

Quadro 4: Parâmetros de Estatísticos das amostras analisadas.

Amostra	Média ¹		Grau Selecionamento ²		Assimetria ³		Kurtose ⁴	
1	2,18	AF	0,46	BS	-0,07	S	1,11	L
2	2,04	AF	0,52	MBS	-0,13	AN	1,09	M
3	1,89	AM	0,56	MBS	-0,11	AN	1,03	M
4	2,11	AF	0,50	MBS	-0,08	S	1,07	M
5	2,24	AF	0,48	BS	-0,08	S	1,07	M
6	2,27	AF	0,48	BS	-0,09	S	1,09	M
7	1,90	AM	0,60	MBS	-0,13	AN	1,03	M
8	2,14	AF	0,48	BS	-0,08	S	1,08	M
9	2,26	AF	0,49	BS	-0,09	S	1,08	M
10	2,39	AF	0,48	BS	-0,08	S	1,08	M
11	2,23	AF	0,50	BS	-0,10	S	1,06	M
12	2,26	AF	0,49	BS	-0,09	S	1,08	M
13	2,23	AF	0,52	MBS	-0,08	S	1,10	M
14	2,01	AF	0,52	MBS	-0,07	S	1,05	M
15	2,29	AF	0,51	MBS	-0,05	S	1,14	L
16	2,27	AF	0,47	BS	-0,10	S	1,08	M
17	2,00	AF	0,56	MBS	-0,11	AN	1,04	M
18	2,18	AF	0,51	MBS	-0,10	S	1,09	M
19	2,08	AF	0,54	MBS	-0,09	S	1,07	M
20	1,97	AM	0,48	BS	-0,07	S	1,06	M
21	1,90	AM	0,61	MBS	-0,11	AN	1,00	M
22	2,17	AF	0,48	BS	-0,08	S	1,09	M
23	1,81	AM	0,66	MBS	-0,16	AN	0,99	M
24	1,54	AM	0,55	MBS	-0,02	S	1,01	M
25	1,72	AM	0,57	MBS	-0,07	S	1,01	M
26	2,10	AF	0,53	MBS	-0,09	S	1,10	M
27	1,85	AM	0,68	MBS	-0,18	AN	0,98	M
28	1,41	AM	0,52	MBS	-0,03	S	1,05	M
29	2,20	AF	0,49	BS	-0,09	S	1,07	M
30	2,25	AF	0,52	MBS	-0,09	S	1,09	M
31	2,17	AF	0,50	MBS	-0,08	S	1,08	M
32	2,15	AF	0,51	MBS	-0,09	S	1,09	M
33	2,03	AF	0,49	BS	-0,09	S	1,11	M
34	2,14	AF	0,51	MBS	-0,09	S	1,08	M

1Média (ϕ) e granulometria em base à média = AF (Areia Fina); AM (Areia Média); ²Classificação de selecionamento pelo desvio padrão (ϕ) = BS (bem selecionado), MBS (moderadamente bem selecionado), ³Assimetria e classificação pela assimetria = S (simétrica), AN (assimetria negativa), ⁴Classificação pela curtose = M (mesocúrtica), L (leptocúrtica).

O grupo textural dominante é areia, sendo o sedimento inconsolidado. O alto grau de seleção associado à dominância das areias finas simétricas sugerem que as feições estão (ou estiveram) sob constante retrabalhamento em um sistema de baixa energia. Estas características denotam a importância das ondas geradas pelo vento nesse sistema atuando como agentes de remodelamento do sedimento. Outra possibilidade é que tais sedimentos tenham sido retrabalhados por agentes eólicos em um momento em que o nível lagunar se encontrava abaixo do atual.

Por meio do escalonamento multidimensional em modo Q, as amostras sedimentares coletadas no arquipélago de ilhas-barreira e as amostras do banco de dados foram separadas em dois grupos utilizando a primeira dimensão encontrada pelo MDS. Por meio da análise dos histogramas das amostras (APÊNDICE 5), foi possível notar que a variabilidade das amostras está ligada a concentração de areia média e fina, quanto maior a quantidade de areia grossa maior sua distancia do restante das amostras (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

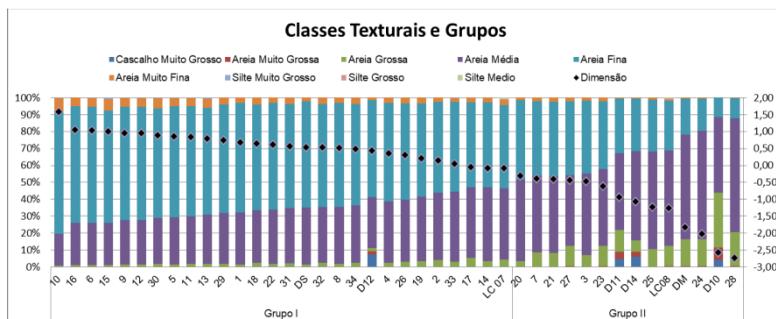


Figura 58: Valores da primeira dimensão encontrados com o MDS associado às classes texturais das amostras de sedimento.

O MDS se mostrou eficaz em auxiliar a separação dos grupos de amostras sedimentares por similaridade. O Grupo I representa amostras com granulometria mais fina, abrangendo a maioria dos sedimentos coletados nas ilhas-barreira, duas amostras de dunas mais próximas da praia do Santinho, além da amostra coletada no banco de areia localizado no fim do Canal da Barra. O Grupo II representa amostras com fração mais grossa, possui apenas nove amostras coletadas ao longo do arquipélago de ilhas-barreira, amostras de dunas mais afastadas da praia do Santinho (dunas do Moçambique), e a amostra coletada no Canal da Barra.

Os grupos de amostras coletadas no arquipélago de ilhas-barreira foram espacializados para contextualização quanto à sua associação com dinâmica local (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

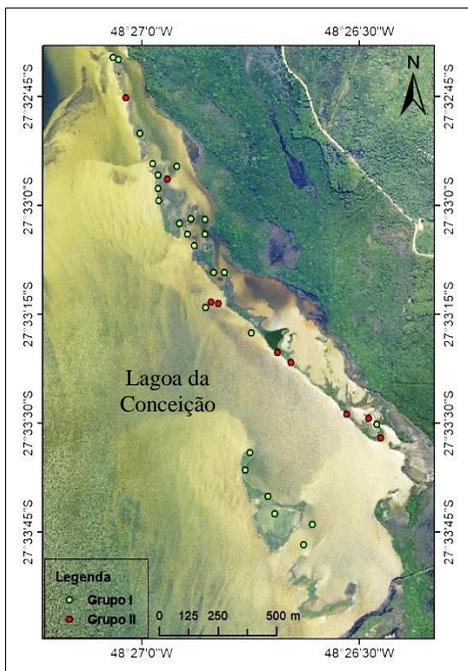


Figura 59: Grupos de amostras sedimentares.

Os dois grupos possuem características similares quanto à frequência granulométrica e o que os diferencia é a presença de sedimento mais grosso no Grupo II. Espacialmente, as amostras contempladas por este grupo se localizam em pontos mais abrigados da energia de ondas, tornando-as protegidas do retrabalhamento das ondas dominantes.

O Grupo II se individualizou pelo aporte esporádico de grãos maiores, provenientes de fontes adjacentes (cordões arenosos pleistocênicos) durante picos de maior energia de correntes de vento ou de ondas (D11 e D10, LC08, D14, DM e amostras do arquipélago de ilha-barreira) o que pode significar uma herança geológica. Por outro lado, o Grupo I apresenta amostras em locais de energia suficiente para seu retrabalhamento, mas não suficiente para o transporte de sedimentos mais grossos.

7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo Pilkey *et al.* (2009), a razão entre sedimentos finos e médios (prontamente mobilizados) para areia grossa em relação à profundidade e energia das ondas dominantes determina a existência e abundância de ilhas-barreira. A composição granulométrica das ilhas-barreira da Lagoa da Conceição é predominantemente areias finas e médias, com baixo teor de areia grossa, sendo que as feições se desenvolvem sobre baixa profundidade e são influenciadas pelo vento dominante, conseqüentemente pelas ondas por ele geradas. Dessa forma, a adequação às condições propostas pelo autor justifica a existência de um arquipélago extenso de ilhas-barreira, e não uma ocorrência isolada e/ou de dimensões restritas.

As características topográficas existentes frequentemente fornecem o suprimento de areia e a base inicial para as ilhas se formarem (COOPER *et al.*, 2007a). A gênese da área sobre a qual estão localizadas as ilhas-barreira encontra-se intimamente associada à alternância de processos de regressão e transgressão marinhos que originaram os dois cordões litorâneos de idades distintas propostos por Muehe & Caruso Jr. (1989). Pode-se supor que sedimentos marinhos, retrabalhados eolicamente, estabeleceram a plataforma barreira sobre a qual se acomodou o arquipélago de ilhas-barreira que ocorre na laguna. As características sedimentares das feições analisadas assemelham-se com aquelas presentes nos sedimentos referentes ao campo de dunas do Santinho/Ingleses, que se desenvolveram em condição semelhante à da planície do Rio Vermelho e Praia de Moçambique. Sugere-se, desta forma, que a base para o desenvolvimento do arquipélago não seja composta por sedimentos de origem lagunar, mas depositados em condição subaérea e posteriormente retrabalhados pelos processos hidrodinâmicos que ocorrem na laguna.

As características topográficas da área de estudo, responsáveis pela formação das ilhas e suprimento sedimentar são, portanto concordantes com mais um dos critérios propostos por Oertel (1985), a acomodação sobre uma plataforma barreira.

8 INTEGRAÇÃO DE RESULTADOS

Os parâmetros físicos e biológicos analisados ao longo dos três capítulos anteriores foram integrados para representação gráfica do processo evolutivo do arquipélago de ilhas-barreira da Lagoa da Conceição (Figura 60).

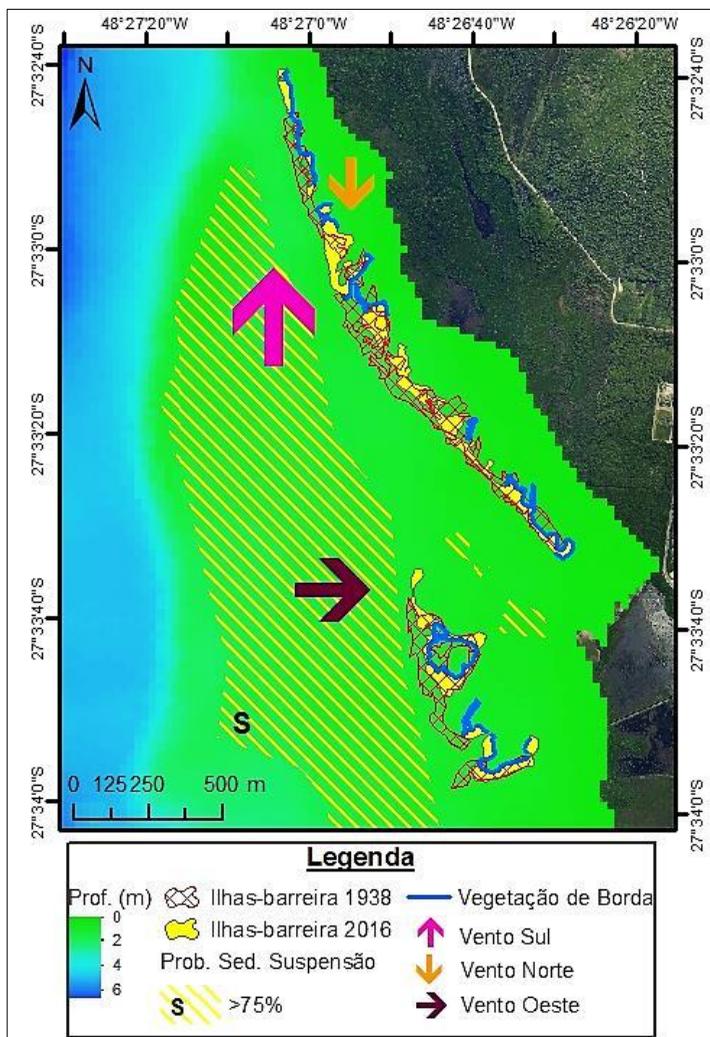


Figura 60: Mapa representativo da evolução do arquipélago de ilhas-barreira sob atuação dos parâmetros físicos e biológicos.

Na área onde está localizado o arquipélago de ilhas-barreira encontram-se as condições ambientais ideais para o desenvolvimento desta feição. Apresenta batimetria rasa de baixo gradiente, dominância da ação de ventos e ondas geradas por estes, alta disponibilidade sedimentar e presença de formações vegetais aquáticas típicas de borda. Essas características corroboram o exposto por Cooper *et al.* (2007a), Cooper *et al.* (2007b), Pilkey *et al.* (2009) e Cooper (2013).

As ilhas-barreira apresentaram importantes variações morfológicas ao longo dos 78 anos analisados. Mostra deslocamento em direção à margem leste da Lagoa da Conceição e o norte do arquipélago (ilhas A e B) migra nesta direção.

A principal forçante de alterações morfológicas é o vento e as ondas por ele geradas. No entorno das ilhas-barreira, na área de águas expostas, encontra-se grande oferta sedimentar. Desta forma, o vento atua modelando as feições, agindo de forma equilibrada entre os três processos do balanço sedimentar. O vento Sul, dominante no sistema, é o principal agente erosivo, atuando ainda no transporte dos sedimentos em suspensão para áreas confinadas. O vento Norte atua como depositador, sendo responsável por transportar nas águas confinadas o sedimento trazido pelo vento Sul. As feições estão expostas à incidência direta do vento Oeste, porém devido à sua baixa frequência no sistema, tem atuação limitada, agindo principalmente no transporte.

A presença de sistema de vegetação típica de borda em setores da margem interna denota a deposição de sedimentos preferencialmente nessas áreas e auxiliam o aprisionamento sedimentar. Sua fixação, por ocorrer em terrenos ainda instáveis, indica que essas áreas são menos maduras e mais sujeitas a futuras mudanças morfológicas.

As características sedimentares mostram que as ilhas-barreira ocorrem em setores de baixa hidrodinâmica, com predomínio de sedimentos da classe areia fina, simétricos e bem selecionados. Sua similaridade demonstra que há retrabalhamento dos grãos mesmo em um setor de baixa hidrodinâmica ou que estes são reflexo de sua origem geológica.

A Ilha C não apresentou movimento de migração, a análise de evolução temporal mostrou que suas mudanças morfológicas correspondem principalmente a processos de fragmentação. Inicialmente, a Ilha C constituía um grande aglomerado sedimentar que, após processos de fragmentação, alguns blocos sedimentares a norte passaram a compor parte da Ilha B, por ser um setor sob maior influência da ação do vento Sul. O setor norte da Ilha C, por apresentar maior disponibilidade sedimentar e maior complexidade vegetal, com o

desenvolvimento de espécies arbóreas de grande porte que precisam de maior altimetria, indica maior maturidade. Dessa forma, a estabilidade apresentada pelo terreno inviabilizou o desenvolvimento do sistema de vegetação de borda. Já o setor sul sofreu mudanças morfológicas mais amenas, pois não se observa grande atuação dos regimes de vento. Está protegido da ação do vento Oeste pela Ilha D e o vento Norte, principal responsável pela deposição nas águas confinadas, tem atividade limitada, possibilitando o desenvolvimento de um banhado colonizado por macrófitas submersas enraizadas e gramíneas resistentes à inundação.

A Ilha B, composta por blocos sedimentares provenientes da Ilha C, apresenta migração para leste e norte. Constitui o segmento que sofreu as maiores mudanças morfológicas por estar sujeita aos efeitos erosivos do vento Sul e de deposição do vento Norte. Pode ser compreendida como uma faixa de transição, pois a complexidade vegetal do seu setor norte se assemelha a apresentada pela Ilha A e de seu setor sul à Ilha C. A atuação direta do vento Norte sob suas margens internas impossibilita o desenvolvimento de espécies de vegetação de borda (como *Scirpus* sp. e gramíneas) devido à elevada carga sedimentar que impede a fixação de indivíduos recém-germinados dessas espécies.

Por estar submetida efetivamente à atuação do vento Sul, a Ilha A apresentou forte movimento migratório em sentido norte. Esse processo foi estagnado devido ao aumento do gradiente batimétrico. A ação continuada do vento Sul passou a formar o esporão arredondado no extremo norte, cujo pontão curva-se em direção à margem leste da Lagoa da Conceição. Comprova-se, pela baixa complexidade vegetal, que a estabilização do terreno é um processo ainda em desenvolvimento, devido à presença do sistema de vegetação de borda.

As ilhas D e E apresentam um processo evolutivo associado, pois a Ilha E, nos 78 anos avaliados, formou-se a partir da agregação de um segmento fragmentado do sul da Ilha D. Assim como apresentado pela Ilha A, o extremo norte da Ilha D apresenta esporão arenoso de formato arredondado, devido à ação do vento Sul. Os regimes de vento nessas ilhas atuam de forma equilibrada. O vento Sul, apesar de frequente, apresenta pista de vento menor; o vento Oeste, apesar de menor frequência, incide diretamente sobre as feições; e o vento Norte, por sua vez, apresenta maior pista de vento das feições. Dessa forma, não está sujeita a grandes transformações morfológicas. A presença de espécies de vegetação de borda na margem interna da Ilha E mostra que este segmento está menos estável que a Ilha D.

As condições hidrodinâmicas do setor norte da Lagoa da Conceição são ideais para o desenvolvimento de ilhas-barreira de sistemas abrigados clássicas construtivas e ativas. Diferentes condições podem levar à formação de outros tipos de ilhas-barreira de sistemas abrigados ou de estruturas arenosas que não podem ser classificadas como tal. Essas diferenças serão abordadas no capítulo a seguir.

9 COMPARAÇÕES

Para contextualizar os resultados obtidos na pesquisa desenvolvida comparativamente a partir de bibliografias já existentes, foram realizadas duas análises. Na primeira, disserta-se sobre as semelhanças e diferenças entre as características das ilhas-barreira de sistemas abrigados da Lagoa da Conceição e da Baía de Chesapeake, EUA. Na segunda, as ilhas-barreira da Lagoa da Conceição foram comparadas aos esporões arenosos da Lagoa dos Patos/RS, focando nas características hidrodinâmicas dos ambientes e o motivo de se tratarem de feições arenosas diferentes. Apesar das diferenças de dimensão entre a Lagoa da Conceição e os sistemas utilizados como exemplo comparativo, assume-se que os processos gerais de formação e manutenção de ilhas-barreira de sistemas abrigados mantenham-se, haja vista que tais feições ocorrem e possuem funcionalidade semelhante ao longo de diferentes escalas espaciais.

9.1 COMPARAÇÃO ENTRE ILHAS-BARREIRA ABRIGADAS DE DIFERENTES ÁREAS

Cooper (2013), em seu trabalho, analisou as mudanças morfológicas em escala decadal (mesoescala) de ilhas-barreira de sistemas abrigados na Baía de Chesapeake, EUA (Figura 61).

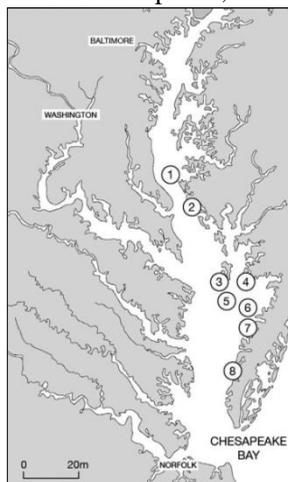


Figura 61: Baía de Chesapeake, EUA. Numerados, os locais estudados pelo autor: (1) James Island, (2) Tar Bay, (3) Shanks Island, (4) Drum Bay, (5) Tangier Island, (6) Watts Island, (7) Poplar Cove e (8). Craddock Neck. Fonte: Cooper, 2013.

Em sua análise, o autor relaciona geneticamente ilhas-barreira de sistemas abrigados do tipo franja de pântanos salgados e ilhas-barreira de sistemas expostos em vários estágios evolutivos. Na área explorada pelo autor, a erosão de pontais cria influxos de sedimentos periódicos que fazem com que esporões se desenvolvam em reentrâncias no mar nas ilhas-barreira expostas que existem como extensões das ilhas de franja de pântano salgado. Os esporões tornam-se sedentos de sedimentos e começam a desenvolver uma série de células alinhadas que são esticadas até que brechas se formem nas ilhas-barreira, criando *inlets* com deltas de maré. A continuação do retrabalhamento leva ao alargamento dos *inlets* com consequente perda de constrição do fluxo de maré. Os deltas de maré não são mais mantidos e, finalmente, o sistema de ilhas-barreira se desintegra e é transformado em bancos de areia submersos.

A maior diferença encontrada entre as ilhas-barreira de Chesapeake Bay e da Lagoa da Conceição é a atuação do regime de maré como agente transformador.

Nas ilhas-barreira de Chesapeake Bay, a sua permanência depende da atuação do regime de maré. Quando a areia é depositada acima do alcance normal das marés e ondas as ilhas são mantidas. Quando o pântano salgado é erodido, o sedimento da ilha-barreira é disperso em bancos de areia submersos. No arquipélago de ilhas-barreira da Lagoa da Conceição, o Canal da Barra atua como mitigador do efeito das marés, não apresentando estas o efeito destrutivo observado em Chesapeake Bay. Os processos de erosão e deposição são diretamente dependentes da ação dos ventos.

Nas ilhas-barreira analisadas por Cooper (2013), a persistência das mesmas também é diretamente influenciada pela presença de pântanos salgados como agente estabilizador. O autor sugere que com o aumento local do nível do mar, como parece estar acontecendo, a completa desintegração das ilhas-barreira é altamente provável. Nas feições analisadas na presente dissertação, observa-se que as espécies de vegetação de bordas agem como estabilizador de terreno, porém a permanência das ilhas-barreira não depende exclusivamente da fixação dessas espécies em suas margens. Apesar de estarem submetidas à ação principalmente erosiva do vento dominante (Sul), a alta disponibilidade sedimentar associada à baixa batimetria e frequente ação de ventos depositores faz com que essas ilhas-barreira não sejam extremamente dependentes do desenvolvimento de sistemas de vegetação de borda.

A rápida desintegração da maioria dos esporões formados nas reentrâncias do mar em Chesapeake Bay, devido à ação das marés

combinado com baixo aporte sedimentar, permite que as marés adentrem o sistema abrigado e transportem os sedimentos que formam as ilhas-barreira para as regiões expostas. Com o baixo aporte sedimentar e atuação de agentes de deposição nos pântanos salgados, as ilhas-barreira abrigadas tendem a se desintegrar. Na Lagoa da Conceição, observa-se elevado aporte sedimentar, o qual não é afetado pelo regime de marés e tendem a permanecer no sistema.

Cooper (2013) identificou que na maioria dos casos, os esporões das ilhas-barreira de sistemas expostos passam por fases de geração, desenvolvimento celular, ruptura e desintegração. Nos esporões formados no arquipélago de ilhas-barreira da Lagoa da Conceição, ao longo dos 78 anos avaliados, essas fases também foram observadas, principalmente a desintegração de esporões no setor sul da Ilha C. A diferença é que os esporões de Chesapeake Bay se perdem devido à ação erosiva das marés e os da Lagoa da Conceição tornam-se pequenas ilhas ou passam a compor outros segmentos, como aconteceu com o esporão do setor sul da Ilha D, que passou a compor a Ilha E.

Em Chesapeake Bay, as ilhas-barreira de franja de pântano iniciaram seu processo evolutivo como do tipo clássicas, porém consistiu de uma fase transitória e efêmera. Na Lagoa da Conceição, essa transformação pode ser observada no setor sul da Ilha C. No início dos 78 anos analisados, este setor apresentava mais características do tipo clássica. Atualmente, a morfologia de sua margem interna é acentuadamente recordada e há o desenvolvimento de banhado, indicando inatividade.

A análise comparativa entre a evolução das ilhas-barreira de Chesapeake Bay e Lagoa da Conceição mostra que a maré é um importante agente transformador. No primeiro caso, a maré atua intensamente como um agente destrutivo, sendo responsável pela retirada de sedimentos do sistema abrigado, resultado em fragmentação e completa destruição das feições. No segundo caso, devido à insípida atuação das marés como agente de retrabalhamento, não foi observada destruição das feições durante os 78 anos analisados, sendo os ventos os principais agentes de transformação.

9.2 COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DE ÁREAS ABRIGADAS

Existem diversos estudos sobre estruturas arenosas presentes em sistemas abrigados, sendo as mais comuns os esporões. Toldo Jr. (1991) realizou uma análise da morfodinâmica da Lagoa dos Patos/RS por meio de caracterização morfológica e sedimentológica, no qual distinguiu a presença de 13 esporões arenosos (Figura 62). A Lagoa dos Patos apresenta semelhanças morfológicas à Lagoa da Conceição, pois se desenvolve de forma paralela à linha de costa, e encontra-se abrigada da intensa atividade das águas do Oceano Atlântico por um sistema de barreiras arenosas (TOLDO JR., 1991). Será discutido neste tópico o porquê dessas feições arenosas, apesar de se encontrarem em sistemas abrigados e apresentarem semelhanças morfológicas às ilhas-barreira de sistemas abrigados, não podem ser classificadas como tal.

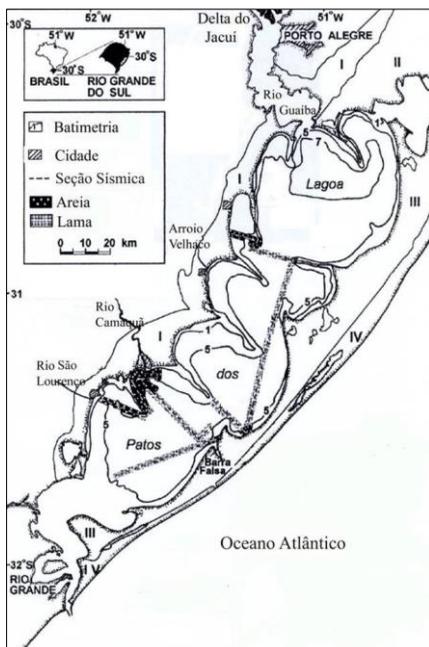


Figura 62: Localização da Lagoa dos Patos/RS. Modificado de Toldo Jr. *et al.* (2007).

Segundo Pilkey *et al.* (2009), o desenvolvimento de ilhas-barreira em sistemas abrigados é independente da descarga de sedimentos fluviais, exceto nos casos de desenvolvimento dessas feições em

conjunto com deltas de rios. A hidrodinâmica da Lagoa dos Patos é altamente influenciada pela descarga fluvial, com uma vazão de 5.100 m³/s. Essa descarga eleva a hidrodinâmica nesse sistema, impedindo a estabilização de sedimentos e dessa forma impossibilita a formação de ilhas-barreira. A expressividade desta contribuição hídrica pode ser avaliada através da ausência de qualquer registro no passado e no presente, do crescimento de barras arenosas marinhas (DILLENBURG & TOLDO JR., 1990).

Os esporões apresentam diferentes orientações de crescimento. Essa característica não corrobora com os critérios de formação de ilhas-barreira em dois pontos. O primeiro, ilhas-barreira crescem paralelamente à linha de costa. O segundo, suas diferentes orientações indicam que as feições não estão submetidas à direção de vento dominante.

Dessa forma, por estarem submetidos a uma condição hidrodinâmica não favorável que se sobrepõe à atuação dos ventos e possuírem orientações distintas não paralelas à linha de costa, os esporões arenosos da Lagoa dos Patos não podem ser classificados como ilhas-barreira.

10 CONCLUSÕES

A metodologia aplicada na presente dissertação foi desenvolvida em concordância com a caracterização de ilhas-barreira de sistemas abrigados apresentada nos trabalhos de Cooper *et al.* (2007a), Cooper *et al.* (2007b), Cooper (2013) e Pilkey *et al.* (2009). Foram utilizadas técnicas de análise espacial para avaliação da evolução temporal de ilhas-barreira e discriminação de sua tipologia.

Apesar da carência de uma metodologia sistemática e consagrada para a identificação e classificação dessas feições, os processos desenvolvidos no trabalho foram satisfatórios.

A baixa resolução das imagens utilizadas, sobretudo as aerofotos mais antigas, limitou a avaliação de alguns aspectos das ilhas-barreira locais, restringindo a pesquisa a um caráter qualitativo.

A evolução temporal, analisada ao longo de 78 anos, mostrou todavia que o arquipélago de ilhas-barreira apresentou mudanças morfológicas importantes. Houve processos de fragmentação do aglutinado sedimentar que modificou o formato do arquipélago, foi identificado um processo de migração em direção norte e à margem leste da Lagoa da Conceição e observou-se que as margens internas tornaram-se mais recortadas. Dessa forma, as ilhas-barreira foram classificadas como ativas construtivas e clássicas, de acordo com as tipologias propostas por Cooper *et al.* (2007a) e Pilkey *et al.* (2009).

Os parâmetros hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição criam condições favoráveis para o desenvolvimento de ilhas-barreira de sistemas abrigados. As feições estão submetidas à atuação direta do vento dominante no sistema (Sul) e suas ondas geradas. Esta direção é a principal responsável pelo processo de erosão e arredondamento da margem externa das ilhas-barreira. A direção Norte atua predominantemente no processo de deposição, sendo o principal responsável pelo remodelamento das margens internas das feições. A direção Oeste age de forma mais efetiva no transporte. As três direções combinadas atuam no sentido de promover um certo equilíbrio no balanço sedimentar local. O arquipélago de ilhas-barreira está localizado no setor nordeste da Lagoa da Conceição, que apresenta batimetria rasa, baixo gradiente e alta disponibilidade sedimentar.

A complexidade vegetal divide o arquipélago de ilhas-barreira em setores de alta, média e baixa maturidade. O setor de alta complexidade (norte da Ilha C) apresenta altimetria mais elevada, desenvolvimento de espécies arbóreas de grande porte e ausência de sistema de vegetação de borda. Isso indica estabilização do terreno. Os setores de baixa

complexidade, por sua vez, apresentam baixa altimetria, desenvolvimento de espécies arbustivas e fixação de espécies de vegetação de bordas nas margens internas, indicando terrenos em processos de estabilização.

O arquipélago de ilhas-barreira é composto predominantemente por sedimentos da classe areia fina, bem selecionados e apresentando assimetria simétrica. Essas características são semelhantes às observadas pelas dunas presentes no sistema Ingleses/Santinho, indicando uma possível origem eólica para os sedimentos que compõem as feições.

A avaliação do arquipélago de ilhas-barreira verificou que essas feições adequam-se a cinco dos seis critérios discriminatórios propostos por Oertel (1985). Constitui um corpo alongado e de sedimento não consolidado, as ilhas-barreira apresentam formato adelgado e são compostas por areia. Há a presença de laguna à retaguarda, que corresponde às “águas confinadas” entre a margem interna das ilhas e a margem leste da Lagoa da Conceição. O corpo de água defronte equivale ao corpo d’água “exposto” da Lagoa, em contato com as margens externas das ilhas. Conforme elucidado pela gênese da Lagoa da Conceição, a mesma foi formada após processos de transgressão e regressão marinhos, formando uma plataforma sobre a qual as ilhas-barreira se estabeleceram. O último critério verificado corresponde ao fornecimento de proteção à costa do continente, evidenciado pela mitigação dos efeitos dos regimes de vento sobre a margem nordeste da Lagoa da Conceição.

O critério em que não foi observada correspondência consiste na delimitação por enseadas com deltas de maré. Por se tratar de um ambiente abrigado, onde a única ligação com o oceano aberto é feita através do Canal da Barra, raso e sinuoso, a Lagoa da Conceição tem os efeitos de variação de maré mitigados.

A comparação das ilhas-barreira da Lagoa da Conceição com as existentes em Chesapeake Bay mostram que a maré é um importante agente de retrabalhamento, de caráter destrutivo. A baixa atuação das marés sobre as feições analisadas neste trabalho impede a destruição das mesmas. Por sua vez, a analogia feita com os esporões arenosos da Lagoa dos Patos evidencia que a vazão fluvial impede a formação de ilhas-barreira naquele local. Em ambos os casos, a perda de sedimentos e a forma de atuação do vento (dominante ou não no sistema) são determinantes para a geração de ilhas-barreira em sistemas abrigados.

Dessa forma, as feições arenosas intra-lagunares da Lagoa da Conceição foram discriminadas como ilhas-barreira de sistemas abrigados ativas construtivas e clássicas. Estão sob influência do regime

de vento dominante no sistema (Sul), sofrem migração em escala decenal e possuem controle vegetativo auxiliando a estabilidade do terreno.

De modo geral, espera-se que a pesquisa desenvolvida contribua para o preenchimento da lacuna de trabalhos sobre ilhas-barreira de sistemas abrigados no Brasil e que a metodologia possa ser replicada em trabalhos futuros.

11 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. C. **Estudo da Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição-SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.134p.
- ARENS, S.M. Patterns of sand transport and vegetated foredunes. **Geomorphology**, n.17, p. 339-350, 1996.
- BARBOSA, T. C. P. **ECOLAGOA – Um breve documento sobre a ecologia da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Edição do Autor. Florianópolis, Brasil, 2003. 86p.
- CARTER, R.W.G. **Coastal Environments – an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines**. London: Academy Press, 1988. 617p.
- CARUSO JR., F. Inferências Sobre A Migração de Ilhas - Barreira Na Região da Lagoa da Conceição. In: I Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1987, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, RS. 1987. p. 277-296.
- CARUSO, JR., F. (1993) **Mapa Geológico da Ilha de Santa Catariana, escala 1:100 000**. Notas Técnicas. Porto Alegre: CECO-UFRGS, n.6, p.1-28.
- CARUSO, JR, F.; FRASSON, M. H. S. Ecosistema praia da Barra/Lagoa da Conceição (Ilha de Santa Catarina) e os riscos ambientais em função de empreendimentos turísticos. In: I Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas: Morfodinâmica, Ecologia, Usos, Riscos e Gestão, 2000, Itajaí. **Anais...Itajaí: UNIVALI**, 2000. p.410-412.
- CHRISTIANSEN, T.; WIBERG, P.L.; MILLIGAN, T.G. Flow and sediment transport on a tidal salt marsh surface. **Estuarine, Coastal, and Shelf Science**, n. 50, p. 315–331, 2000.
- COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER – CERC (1984) **Shore Protection Manual**. Vol. I, CERC Dept. of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington. 337p.

COOPER, J. A. G. Mesoscale geomorphic change on low energy barrier islands in Chesapeake Bay, U.S.A. **Geomorphology**, v. 199, p. 82–94, 2013.

COOPER, J. A. G.; LEWIS, D. A.; PILKEY, O. H. Fetch-limited barrier islands: Overlooked coastal landforms. **GSA Today**, v. 17, n. 3, p. 4–9, 2007a.

COOPER, J. A. G.; PILKEY, O. H.; LEWIS, D. A. Islands behind Islands: An Unappreciated Coastal Landform Category. **Journal of Coastal Research**, v. 2007, n. 50, p. 907–911, 2007b.

CROMWELL, J.E. (1973). Barrier coast distribution: a world-wide survey. In: SCHWARTZ, M.L. (org.) **Barrier Islands**. Benchmark Papers in Geology, vol. 9. Dowden Hutchinson Ross, Stroudsburg, Pennsylvania: pp. 407–408.

DAVIS, A.D., JR. **Depositional Systems**. Second ed. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, 1992. 604p.

DAVIS, R.A. **Geology of Holocene Barrier Island Systems**. New York: Springer-Verlag, 1994. 464p.

DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (2009). Coastal Barriers – An Introduction. In DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (org.) **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Berlin, Springer Berlin Heidelberg: p. 1–15, Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-44771-9_1>. Acesso em: 25/8/2016.

DILLENBURG, S.R. & TOLDO JR., E. Efeitos induzidos por ondas na embocadura da Laguna dos Patos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, 1990, Natal, **Anais...** SBG: 1990. p. 690-699.

DOLAN, R. Barrier Dune system along the Outer Banks of North Carolina: a reappraisal. **Science**, v.176, p. 280–288, 1972.

DUTRA, S. **Caracterização Geo-Ambiental da Bacia de Drenagem do Rio João Gualberto, Ilha de Santa Catarina**. Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. 1990. 53p.

FEAGIN, R.A.; SMITH, W.K.; PSUTY, N.P.; YOUNG, D.R.; MARTÍNEZ, M.L.; CARTER, G.A.; LUCAS, K.L.; GIBEAUT, J.C.; GEMMA, J.N.; KOSKE, R.E. Barrier islands: coupling anthropogenic stability with ecological sustainability. **Journal of Coastal Research**, v. 26, n. 6, p. 987-992, 2010.

FINLAYSON, D. (2005) **Puget Sound Fetch**. Seattle, Wash., University of Washington, School of Oceanography. Disponível em: https://www.umesc.usgs.gov/management/dss/wind_fetch_wave_model_s.html.

FINLAYSON, D.; SHIPMAN, H. (2003) Puget Sound drift cells—The importance of waves and wave climate. **Puget Sound Notes**, v. 47, p 1–4.

FISHER, J.; GOODFELLOW, J.A. (1982) Barrier islands. In: SCHWARTZ, M.L. (org.) **The Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments**. Hutchinson Ross Publishing, Stroudsburg, Pennsylvania: p. 124–133.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 3-26, 1957.

FONSECA, M.S. (1996). The role of seagrasses in nearshore sedimentary processes: a review. In: NORDSTROM, K.F.; ROMAN, C.T. (org.), **Estuarine Shores: Evolution, Environments and Human Alterations**. John Wiley and Sons, Sussex, UK, p. 261-286.

FURUKAWA, K.; WOLANSKI, E.; MUELLER, H. Currents and sediment transport in mangrove forests. **Estuarine, Coastal, and Shelf Science**, n. 44, p. 301–310, 1997.

GRÉ, J.C.R. & HORN FILHO, N.O. (1999). Caracterização textural dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. In: SIERRA DE LEDO, B.; SORIANO-SIERRA, E.J. (org.). **O ecossistema da Lagoa da Conceição**. NEMAR/CCB/UFSC. SDM/FEPEMA. Florianópolis, Brasil, p. 25-34.

GROENEN, P.J.F.; VAN DE VELDEN, M. Multidimensional Scaling by Majorization: A Review. **Journal of Statistical Software**, v. 73, n. 8, 2016.

HAKANSON, L. Sjosedimenten i recipientkontrollen-princi processer, praktiska exempel. **Statens nahwirdsverk**, Sc Sweden, SNV PM 1398, pp. 1-242. 1981.

HAKANSON, L.; JANSSON, M. **Principles of lake sedimentology**. Second ed. New Jersey: The Blackburn Press, 1983. 316 p.

HAYES, M.O. (1979). Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: LEATHERMAN, S.P. (org.) **Barrier Islands: From the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico**. Academic Press, New York: p. 1–29.

HAYES, M.O. (1994). The Georgia Bight barrier system. In: DAVIS, R.A., Jr. (org.) **Geology of Holocene Barrier Island Systems**. Springer-Verlag, Berlin: p. 233–304.

HESP, P.A. (2000) **Coastal Sand Dunes; form and function**. CDVN Technical Bulletin No.4, Massey University, New Zeland, 28p.

HORIBA (2012). **A guidebook to particle size analysys**. Irvine: HORIBA Instruments, Inc., Cap. 1, p. 1-32.

HOYT, J.H. Barrier island formation. **GSA Bulletin**, v. 78, p. 1125–1135, 1967.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INEMET (1980). **Normais climatológicas**. Florianópolis, SC. In: IBGE/1981- Anuário estatístico do Brasil, p. 42-43.

JACKSON, N.L., NORDSTROM, K.F., ELIOT, I., MASSELINK, G. Low energy sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. **Geomorphology**, v. 48, p. 147–162, 2002.

KJERFVE, B. (1994) Coastal lagoon processes (Prologue). In KJERFVE, B. (org.). **Coastal lagoon processes**. Elsevier Oceanography Series: p. 1-8.

KRAUS, N. (1991). **Class notes for coastal sediment processes**. Texas A&M University and Waterways Experiment Station Graduate Institute, OCEN 682, June 5 to August 9.

KUPTSOV, V.M.; LISITSYN, A.P. Holocene sedimentation in the Obskaya Guba and on the adjacent shelf. **Oceanology**, v. 43, p. 240–246, 2003.

LEWIS, D.A., COOPER, J.A.G., AND PILKEY, O.H. Fetch limited barrier islands of Chesapeake Bay and Delaware Bay and Delaware Bay USA. **Journal of Southeastern Geology**, v. 44, p. 1–17, 2005.

MUEHE, D. & CARUSO JR., F. Batimetria e algumas considerações sobre a evolução geológica da Laguna da Conceição, Ilha de Santa Catarina. **Geosul**, v. 4, n.7, p. 32-44, 1989.

MUEHE, D. & CARUSO JR. (1999). Batimetria e Algumas Considerações Sobre a Evolução Geológica da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. In: SIERRA DE LEDO, E., SORIANO-SERRA, E. J. (org.). **O Ecossistema da Lagoa da Conceição**, NEMAR/CCB/UFSC. SDM/FEPEMA. Florianópolis, Brasil, p. 15-24.

MUNK, W.H. **Proposed uniform procedures for observing waves and interpreting instrument records**. LaJolla, California: Scripps Institute of Oceanography, Wave Project. 1944. 36p.

NIMER, E. Circulação atmosférica do Brasil. Contribuição ao estudo de Climatologia dinâmica do Brasil. **Geografia**, v. 28, n. 3, p. 232-250, 1966.

NETO, J.A.B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. **Introdução à geologia marinha**. Brasil: Interciência, 2004. 279p.

NEUENDORF, K.K.E.; MEHL, J.P., JR.; JACKSON, J.A. **Glossary of Geology**. Fifth ed. Alexandria, Virginia: American Geological Institute, 2005. 779p.

ODEBRECHT, C., CARUSO JR. (1999). Hidrografia e Matéria Particulada em Suspensão na Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. In: SIERRA DE LEDO, B., SORIANO-SERRA,

E. J. (org.) **O Ecossistema da Lagoa da Conceição**, NEMAR/CCB/UFSC, SDMIFEPEMA: pp. 35-61.

OERTEL G.F. The Barrier Island System. **Marine Geology**, v. 63, p. 1–18, 1985.

OLIVEIRA, A.O.; CARAZZAI, D.; BONETTI, J. Alterações de usos e ocupação da terra na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição/Florianópolis através de imagens Landsat TM/5. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu. RS. 2013. p. 7024-7031.

OLIVEIRA, A.O. **Susceptibilidade e vulnerabilidade de sistemas costeiros abrigados à oscilação positiva do nível do mar: estudo de caso Lagoa da Conceição/SC**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. 2016. 199p.

OTVOS, E.G. Discussion of: Pilkey, O.H., Cooper, J.A.G., Lewis, D.A. 2009. Global distribution and Geomorphology of fetch-limited barrier islands. **Journal of Coastal Research** 25 (4), 819–837. **Journal of Coastal Research**, v. 27, p. 399–400, 2010.

PILKEY, O.H. **Celebration of the World's Barrier Islands**. New York: Columbia University Press, 2003. 400p.

PILKEY, O.H.; COOPER, J.A.G.; LEWIS, D.A. Global Distribution and Geomorphology of Fetch-Limited Barrier Islands. **Journal of Coastal Research**, v. 25, n. 4, p. 819–837, 2009.

PINTO, M.W. **Evolução morfodinâmica em escala histórica do campo de dunas do Santinho-Ingleses no norte da Ilha de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade Federal de Santa Catarina. 2015. 169p.

PORTO FILHO, E. **Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. 1993. 373p.

RADAMBRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (2004) **Carta Geomorfológica**. Folha SG.22-Z-D (MIR-524) / Florianópolis.

RIGGS, S.R.; CLEARY, W.J.; SNYDER, S.W. Influence of inherited geologic framework on barrier shoreface morphology and dynamics. **Marine Geology**, v. 126, p. 213–234, 1995.

ROHWEDER, J.; ROGALA, J.T.; JOHNSON, B.; L.; ANDERDON, D.; CLARK, S.; CHAMBERLIN, F.; POTTER, D.; RUNYON, K. (2012). **Application of Wind Fetch and Wave Models for Habitat Rehabilitation and Enhancement of Projects**. Contract report prepared for U.S. Army Corps of Engineers. Upper Mississippi River Restoration – Environmental Management Program, 52p.

RUDORFF, F.M.; BONETTI, J.; PEIXOTO, J.R.V.; DE OLIVEIRA, U.R.; BONETTI, C. Setorização do subsistema sul da Lagoa da Conceição, Santa Catarina. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 49-56, 2005.

SCHWARTZ, M.L. **Barrier Islands**. Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden Hutchinson Ross, 1973. 452p.

SIERRA DE LEDO, B., KLINGEBIEL, A. (1999). Effects Sur la Structure Hydrologique d'un Système Lagunaire, de son Ouverture Permanente Vers la Mer: Exemple de la Lagoa da Conceição (Ilê 68 de Santa Catarina) Brésil". In: SIERRA DE LEDO, B., SORIANO-SERRA, E. J.; (org.) **O Ecossistema da Lagoa da Conceição**. NEMAR/CCB/UFSC. SDM/FEPEMA. Florianópolis, Brasil: p. 385-402.

SORIANO-SIERRA, E. J. Ecossistemas de marismas da Lagoa da Conceição (1999). III. A Produção Primária. In: SIERRA DE LEDO; E. J. SORIANO-SIERRA (org.). **O Ecossistema da Lagoa da Conceição**. NEMAR/CCB/UFSC. SDM/FEPEMA. Florianópolis, Brasil: p. 185-198.

SOUZA-SIERRA, M. M.; SORIANO-SIERRA, E. J.; SALIM, J. R. **Distribución espacial y temporal de los principales nutrientes de la Lagoa da Conceição, SC, Brasil**. In: II Congresso Latinoamericano de

Ciências do Mar (COLACMAR), 2, 1987, Lima. ALIMAR/Univ. Nac. Agraria La Molina, Lima, Peru, 1987. 52p.

STUTZ, M.L., PILKEY, O.H. Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings. **Journal of Coastal Research**, v. 27, n. 2, p. 207–222, 2011.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher, Editora da Universidade de São Paulo, 1973. 317p.

TOLDO JR., E. Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 18, n. 1, p. 58-63, 1991.

TOLDO JR., E.; DILLENBURG, S.; CORRÊA, I.; ALMEIDA, L.; WESCHENFELDER, J.; GRUBER, N. Sedimentação de longo e curto período na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 33, n. 2, p. 79-86, 2007.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE (2002). **Coastal Engineering Manual** (CEM). Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers: Washington, D.C. (6 volumes).

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE (2006). **Environmental Design Handbook: Environmental Management Program**, Upper Mississippi River System.

WARD, L.G.; KEMP, W.M.; BOYNTON, W.R. The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment. **Marine Geology**, n. 59, p. 85–103, 1984.

APÊNDICE 1

Neste apêndice estão indicadas as coordenadas em *Datum* WGS84UTM 22S dos pontos coletados no arquipélago de ilhas-barreira.

Amostra	Longitude	Latitude
1	751.708,57	6.950.681,12
2	751.729,45	6.950.672,46
3	751.753,90	6.950.509,27
4	751.802,14	6.950.356,60
5	751.849,88	6.950.226,68
6	751.940,39	6.950.214,06
7	751.902,00	6.950.158,99
8	751.868,19	6.950.177,51
9	751.866,67	6.950.120,87
10	751.869,18	6.950.068,63
11	751.945,61	6.949.971,00
12	751.989,30	6.949.990,43
13	751.975,78	6.949.926,23
14	752.041,28	6.949.924,22
15	752.041,55	6.949.985,44
16	752.000,15	6.949.877,22
17	752.112,05	6.949.759,63
18	752.071,55	6.949.761,65
19	752.036,34	6.949.612,37
20	752.057,50	6.949.634,86
21	752.084,87	6.949.629,50
22	752.207,01	6.949.500,79
23	752.305,59	6.949.415,62
24	752.353,38	6.949.373,13
25	752.643,69	6.949.129,56
26	752.673,74	6.949.102,64
27	752.687,54	6.949.046,67

28	752.561,89	6.949.150,11
29	752.190,95	6.948.993,84
30	752.420,81	6.948.683,55
31	752.386,30	6.948.600,18
32	752.171,98	6.948.919,82
33	752.256,89	6.948.806,14
34	752.280,94	6.948.733,45

APÊNDICE 2

Coordenadas geográficas (UTM WGS84 22S) e frequências granulométricas (diâmetro médio) das amostras obtidas do banco de dados de sedimentos do Laboratório de Oceanografia Costeira

Amostras	Latitude	Longitude
D10	759566	6961591
D11	759531	6961472
D12	759675	6960744
D14	757794	6961624
DS	759425	6961599
DM	757989	6961999
LC7	752755,85	6945469,57
LC8	753191,51	6946254,77

PHI	Microns	DS	DM	D14	D12	D11	D10	LC07	LC08
-2	4000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,75	3363,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,5	2828,4	0,0	0,0	1,0	1,2	0,8	0,6	0,0	0,0
-1,25	2378,4	0,0	0,0	2,8	3,4	2,2	1,8	0,0	0,0
-1	2000,0	0,0	0,0	2,1	2,5	1,8	1,7	0,0	0,0
-0,75	1681,8	0,0	0,0	1,2	1,2	1,3	1,5	0,0	0,0
-0,5	1414,2	0,0	0,0	0,7	0,6	1,0	1,5	0,0	0,0
-0,25	1189,2	0,0	0,0	0,5	0,2	0,9	1,8	0,0	0,0
0	1000,0	0,0	0,6	0,5	0,0	1,1	2,5	0,0	0,5
0,25	840,9	0,0	1,4	0,7	0,0	1,6	4,2	0,1	1,2
0,5	707,1	0,0	2,4	1,0	0,3	2,3	6,6	0,5	2,0
0,75	594,6	0,3	4,3	1,7	0,6	3,5	9,5	1,2	3,2
1	500,0	1,0	7,7	3,5	1,2	5,3	12,2	2,5	5,6
1,25	420,4	2,2	11,8	6,4	2,3	7,4	12,8	4,7	8,8
1,5	353,6	4,6	15,8	10,6	4,4	9,9	12,1	8,0	12,9
1,75	297,3	9,3	17,9	16,0	8,2	12,7	10,7	12,4	16,7
2	250,0	17,7	16,3	19,6	15,0	15,5	8,8	17,2	18,1

2,25	210,2	24,2	11,7	16,8	21,1	15,3	6,4	18,8	14,9
2,5	176,8	22,2	6,3	9,8	20,7	10,9	3,6	16,1	9,1
2,75	148,7	11,9	2,4	3,6	11,3	4,6	1,3	9,7	3,8
3	125,0	4,4	0,9	1,1	3,9	1,4	0,3	4,4	1,4
3,25	105,1	1,5	0,4	0,3	1,2	0,4	0,0	1,8	0,5
3,5	88,4	0,6	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,7	0,2
3,75	74,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
4	62,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
4,25	52,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,5	44,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,75	37,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,25	26,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
5,5	22,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
5,75	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
6	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
6,25	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
6,5	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
6,75	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
7	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
7,25	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
7,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,75	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8,25	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8,5	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8,75	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,25	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,5	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,75	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

APÊNDICE 3

Este apêndice contém as frequências granulométricas (diâmetro médio) das amostras coletadas na extensão do arquipélago de ilhas barreira.

PHI	Microns	1	2	3	4	5	6	7
0	1000,0	-	-	-	-	-	-	0,06
0,25	840,9	-	0,13	0,23	-	-	-	0,65
0,5	707,1	-	0,58	1,00	0,22	-	-	1,34
0,75	594,6	0,38	1,17	1,88	0,64	0,36	0,31	2,34
1	500,0	1,03	2,26	3,70	1,48	0,99	0,84	4,08
1,25	420,4	2,15	4,05	6,38	3,12	2,06	1,76	6,46
1,5	353,6	4,31	6,90	9,90	5,96	4,06	3,49	9,48
1,75	297,3	8,43	11,29	14,02	10,53	7,74	6,82	12,98
2	250,0	15,87	17,33	17,90	16,78	13,98	12,96	16,38
2,25	210,2	22,76	20,95	18,46	20,84	20,01	19,76	17,31
2,5	176,8	22,93	18,61	14,49	19,71	22,08	23,06	14,64
2,75	148,7	13,62	10,34	7,45	12,30	16,04	17,27	8,52
3	125,0	5,42	4,07	2,91	5,36	7,76	8,38	3,66
3,25	105,1	1,95	1,47	1,09	1,99	3,06	3,30	1,40
3,5	88,4	0,75	0,57	0,44	0,74	1,18	1,28	0,54
3,75	74,3	0,30	0,22	0,16	0,26	0,43	0,48	0,18
4	62,5	0,10	0,07	-	0,09	0,21	0,24	-
4,25	52,6	-	-	-	-	0,05	0,06	-
4,5	44,2	-	-	-	-	-	-	-
4,75	37,2	-	-	-	-	-	-	-
5	31,3	-	-	-	-	-	-	-
5,25	26,3	-	-	-	-	-	-	-
5,5	22,1	-	-	-	-	-	-	-

PHI	Microns	8	9	10	11	12	13	14
0	1000,0	-	-	-	-	-	-	-
0,25	840,9	-	-	-	-	-	-	-
0,5	707,1	-	-	-	-	-	-	0,32
0,75	594,6	0,51	0,36	-	0,43	0,36	0,52	0,95
1	500,0	1,37	0,98	0,65	1,17	0,98	1,36	2,25
1,25	420,4	2,77	2,00	1,35	2,35	2,01	2,55	4,50
1,5	353,6	5,24	3,84	2,61	4,40	3,84	4,59	8,00
1,75	297,3	9,47	7,24	5,08	7,92	7,24	8,04	12,86
2	250,0	16,20	13,24	10,00	13,66	13,21	13,66	18,19
2,25	210,2	21,68	19,48	16,44	19,35	19,39	19,13	19,98
2,5	176,8	21,32	22,29	22,16	21,66	22,15	21,03	16,75
2,75	148,7	12,99	16,84	21,00	16,17	16,85	15,42	9,51
3	125,0	5,38	8,35	12,52	7,96	8,47	7,70	4,08
3,25	105,1	1,96	3,33	5,35	3,11	3,41	3,25	1,60
3,5	88,4	0,74	1,29	1,95	1,17	1,32	1,40	0,66
3,75	74,3	0,28	0,48	0,61	0,42	0,48	0,62	0,27
4	62,5	0,09	0,23	0,25	0,20	0,23	0,36	0,09
4,25	52,6	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,22	-
4,5	44,2	-	-	-	-	-	0,14	-
4,75	37,2	-	-	-	-	-	-	-
5	31,3	-	-	-	-	-	-	-
5,25	26,3	-	-	-	-	-	-	-
5,5	22,1	-	-	-	-	-	-	-

PHI	Microns	15	16	17	18	19	20	21
0	1000,0	-	-	-	-	-	-	0,05
0,25	840,9	-	-	0,16	-	-	-	0,58
0,5	707,1	-	-	0,72	0,21	0,33	0,32	1,19
0,75	594,6	0,34	0,31	1,45	0,63	0,99	0,95	2,23
1	500,0	0,92	0,83	2,84	1,43	2,13	2,19	4,22
1,25	420,4	1,88	1,73	4,97	2,77	4,02	4,51	6,80
1,5	353,6	3,61	3,43	8,05	5,01	6,92	8,42	9,82
1,75	297,3	6,80	6,72	12,14	8,76	11,04	14,34	12,92
2	250,0	12,52	12,88	16,75	14,76	16,19	20,77	15,73
2,25	210,2	18,73	19,79	18,89	20,20	19,39	21,52	16,65
2,5	176,8	21,79	23,26	16,78	21,17	18,29	15,61	14,56
2,75	148,7	16,87	17,54	10,10	14,43	11,79	7,22	8,93
3	125,0	8,83	8,52	4,43	6,65	5,43	2,65	3,99
3,25	105,1	3,86	3,28	1,72	2,56	2,17	0,98	1,54
3,5	88,4	1,73	1,20	0,67	0,97	0,87	0,40	0,60
3,75	74,3	0,80	0,40	0,25	0,34	0,34	0,14	0,19
4	62,5	0,48	0,13	0,08	0,11	0,11	-	-
4,25	52,6	0,31	-	-	-	-	-	-
4,5	44,2	0,21	-	-	-	-	-	-
4,75	37,2	0,16	-	-	-	-	-	-
5	31,3	0,14	-	-	-	-	-	-
5,25	26,3	0,03	-	-	-	-	-	-
5,5	22,1	-	-	-	-	-	-	-

PHI	Microns	22	23	24	25	26	27	28
0	1000,0	-	0,48	0,42	0,07	-	0,51	0,56
0,25	840,9	-	1,11	0,99	0,77	-	1,19	1,31
0,5	707,1	-	2,06	2,13	1,51	0,31	2,16	2,72
0,75	594,6	0,45	3,37	4,32	2,79	0,93	3,40	5,35
1	500,0	1,21	5,39	8,58	5,44	1,91	5,21	10,45
1,25	420,4	2,50	7,60	13,34	9,06	3,57	7,12	16,07
1,5	353,6	4,84	9,98	17,15	13,32	6,26	9,16	19,99
1,75	297,3	8,99	12,51	18,14	17,01	10,44	11,40	18,89
2	250,0	15,71	15,19	15,36	18,05	16,26	14,13	12,69
2,25	210,2	21,52	16,01	10,48	15,15	20,18	15,84	6,95
2,5	176,8	21,93	13,44	5,63	9,76	19,16	14,58	3,18
2,75	148,7	13,89	7,63	2,25	4,37	12,06	9,08	1,19
3	125,0	5,81	3,21	0,84	1,66	5,43	3,96	0,45
3,25	105,1	2,06	1,24	0,33	0,65	2,15	1,50	0,19
3,5	88,4	0,75	0,50	0,05	0,29	0,88	0,58	0,03
3,75	74,3	0,27	0,21	-	0,11	0,35	0,19	-
4	62,5	0,09	0,07	-	-	0,12	-	-
4,25	52,6	-	-	-	-	-	-	-
4,5	44,2	-	-	-	-	-	-	-
4,75	37,2	-	-	-	-	-	-	-
5	31,3	-	-	-	-	-	-	-
5,25	26,3	-	-	-	-	-	-	-
5,5	22,1	-	-	-	-	-	-	-

PHI	Microns	29	30	31	32	33	34
0	1000,0	-	-	-	-	-	-
0,25	840,9	-	-	-	-	-	-
0,5	707,1	-	-	-	0,23	0,30	0,23
0,75	594,6	0,46	0,49	0,53	0,67	0,89	0,67
1	500,0	1,25	1,29	1,40	1,52	1,87	1,53
1,25	420,4	2,48	2,41	2,76	2,92	3,68	2,99
1,5	353,6	4,65	4,30	5,15	5,32	6,83	5,51
1,75	297,3	8,41	7,56	9,25	9,34	12,01	9,67
2	250,0	14,49	13,01	15,59	15,53	19,04	15,75
2,25	210,2	20,15	18,57	20,65	20,53	22,13	20,39
2,5	176,8	21,71	21,10	20,76	20,60	18,05	20,29
2,75	148,7	15,27	16,40	13,73	13,48	9,19	13,31
3	125,0	7,07	8,61	6,31	6,12	3,55	6,04
3,25	105,1	2,66	3,66	2,47	2,38	1,35	2,32
3,5	88,4	0,97	1,51	0,96	0,92	0,59	0,89
3,75	74,3	0,33	0,60	0,35	0,34	0,29	0,33
4	62,5	0,10	0,31	0,11	0,11	0,19	0,11
4,25	52,6	-	0,17	-	-	0,05	-
4,5	44,2	-	0,02	-	-	-	-
4,75	37,2	-	-	-	-	-	-
5	31,3	-	-	-	-	-	-
5,25	26,3	-	-	-	-	-	-
5,5	22,1	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE 4

Tabela com valores da primeira dimensão obtidos pelo escalonamento multidimensional (MDS).

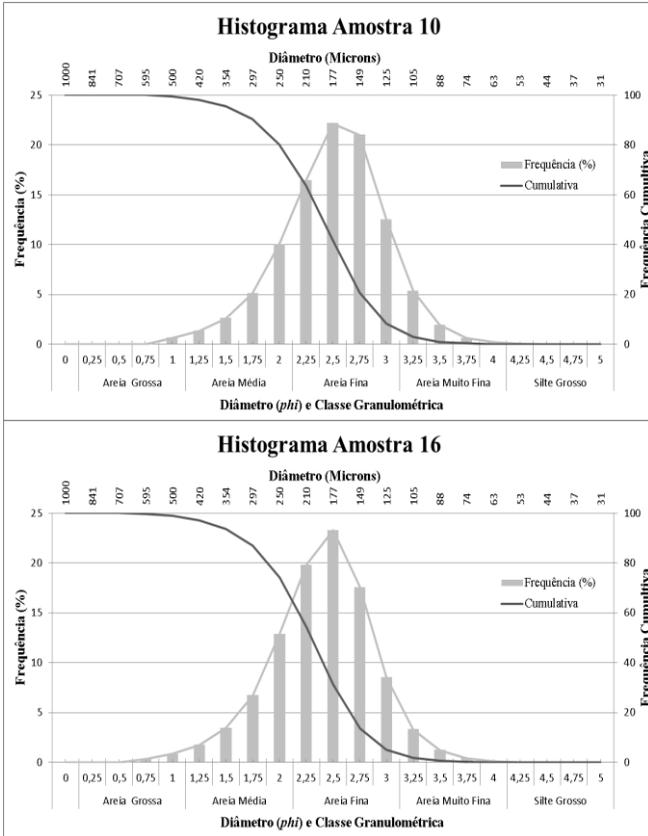
Amostras	DIM. 1
DS	0,52983
DM	-1,83055
LC 07	-0,09297
LC08	-1,27000
D14	-1,06799
D12	0,43157
D11	-0,94574
D10	-2,58623
1	0,66853
2	0,13322
3	-0,48103
4	0,34112
5	0,85162
6	1,02144
7	-0,40044
8	0,50462
9	0,95390
10	1,57400
11	0,84051
12	0,95103
13	0,77791
14	-0,08018
15	1,00379
16	1,04775
17	-0,06059
18	0,63626
19	0,20868
20	-0,31218

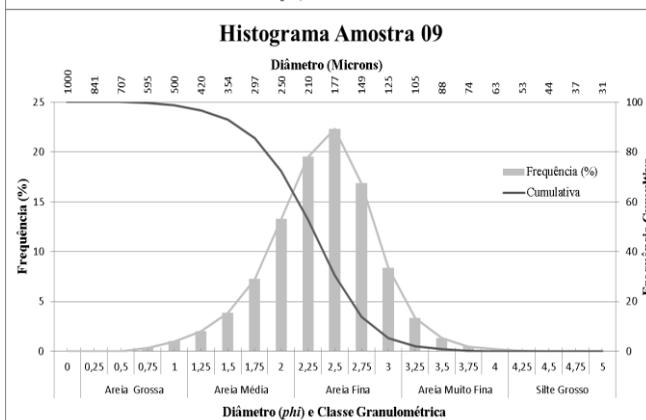
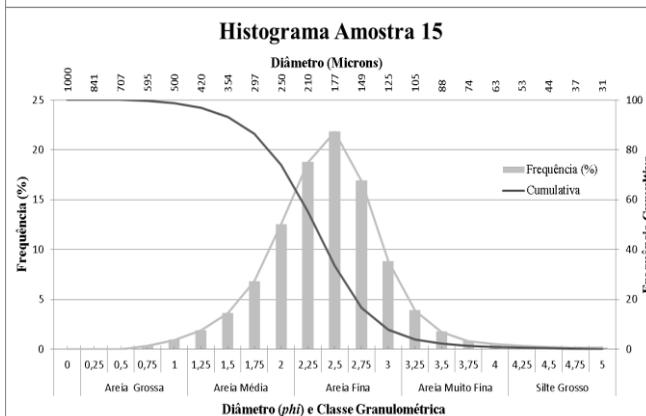
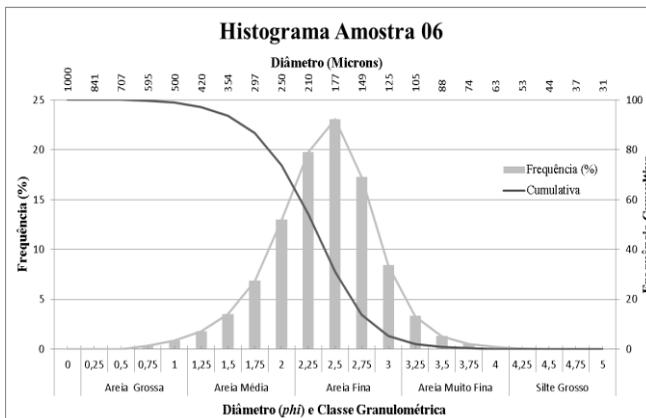
21	-0,41294
22	0,61480
23	-0,62095
24	-2,03456
25	-1,23397
26	0,30307
27	-0,44462
28	-2,74656
29	0,73358
30	0,88644
31	0,56352
32	0,51978
33	0,04132
34	0,48320

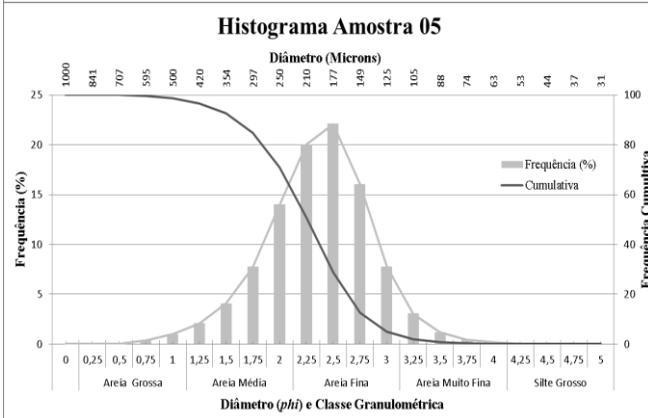
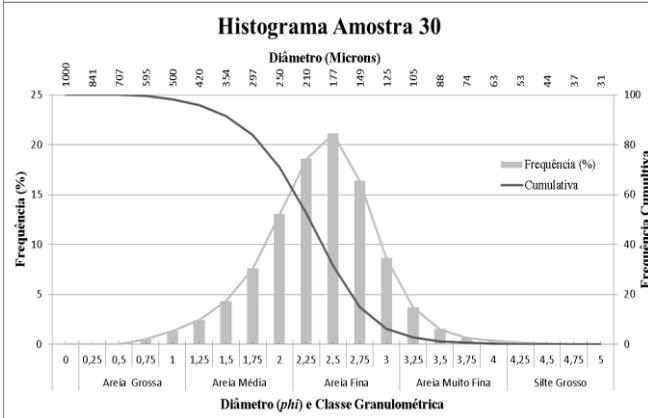
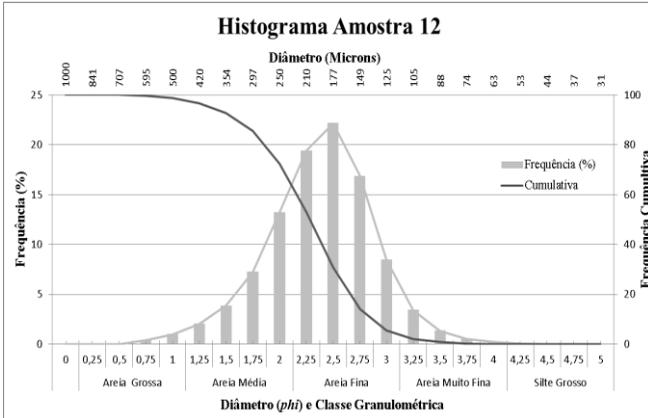
APÊNDICE 5

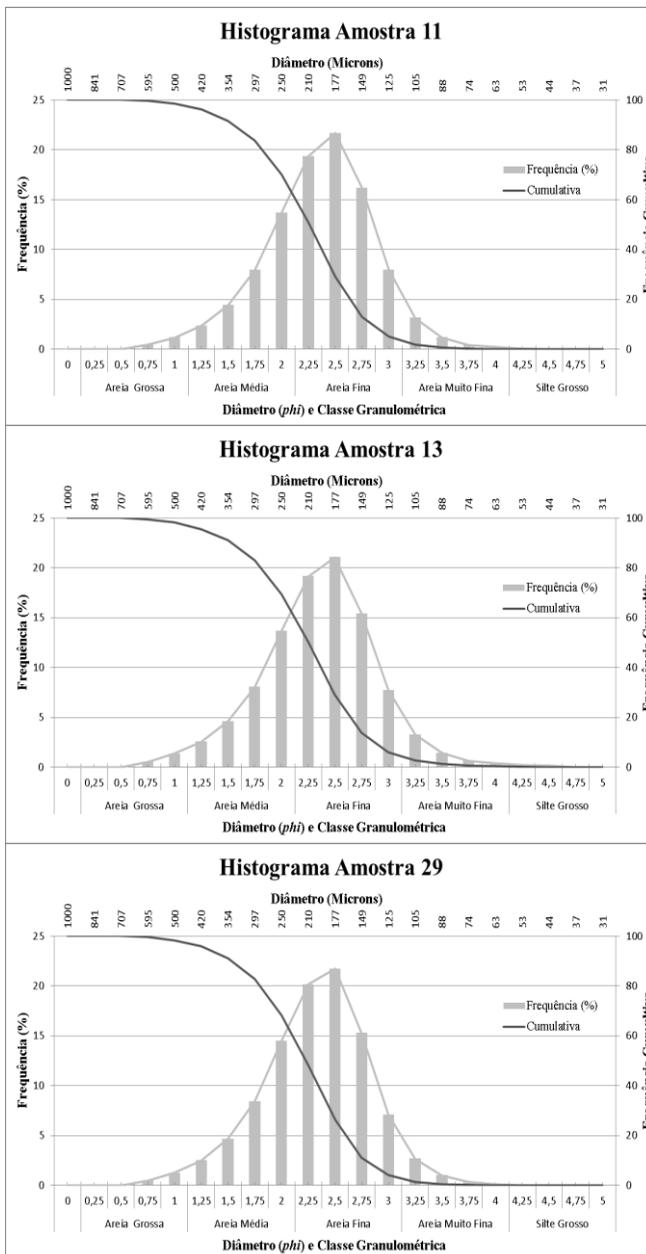
Histogramas das 34 amostras coletadas para esta dissertação separadas por ordem decrescente de DIM (dimensão) e por grupo.

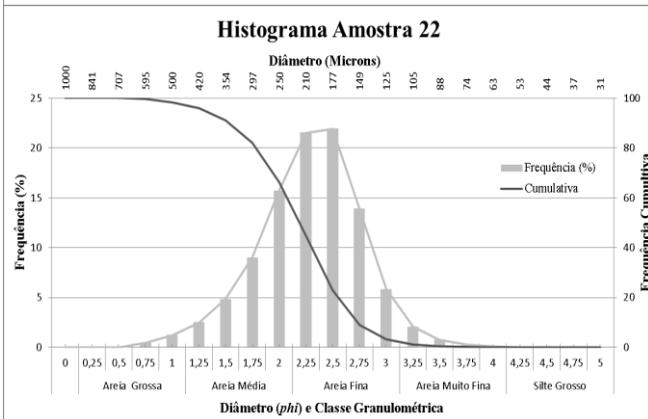
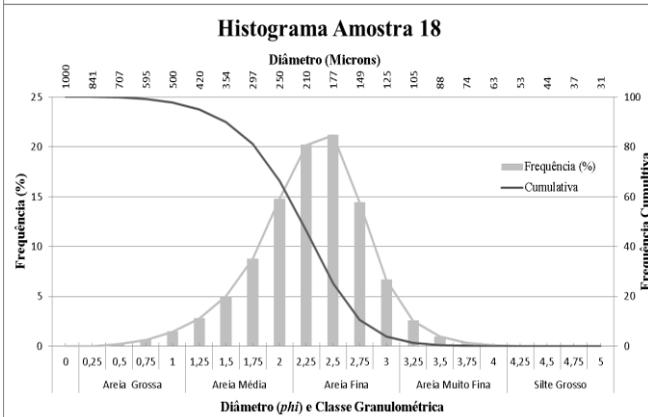
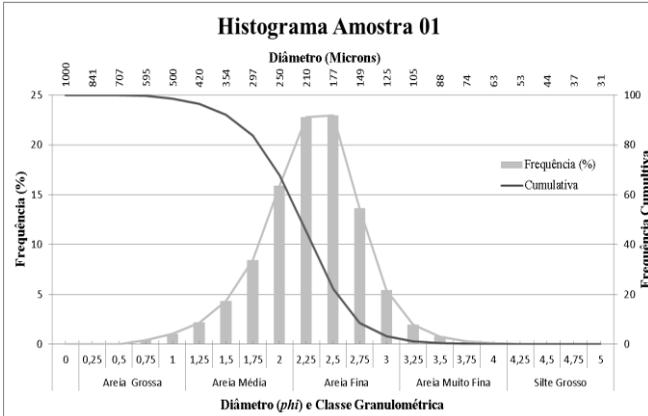
Histogramas – Grupo I

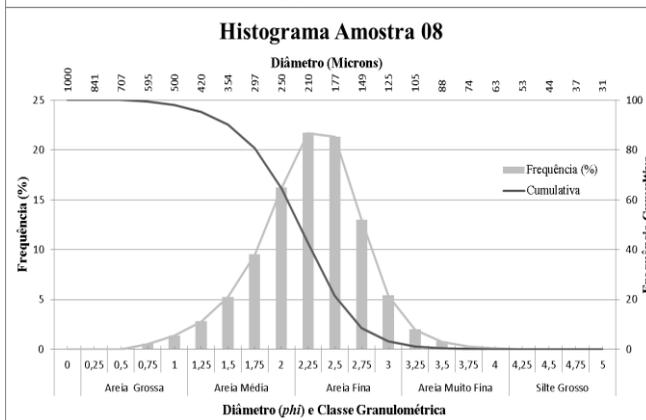
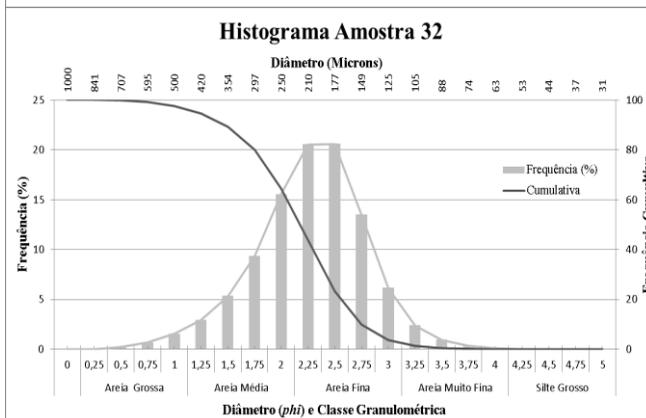
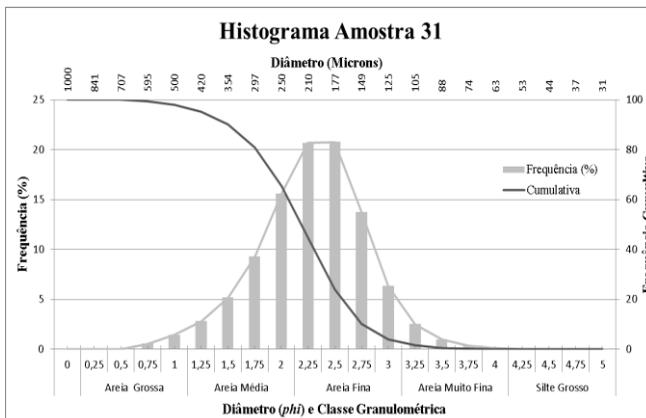


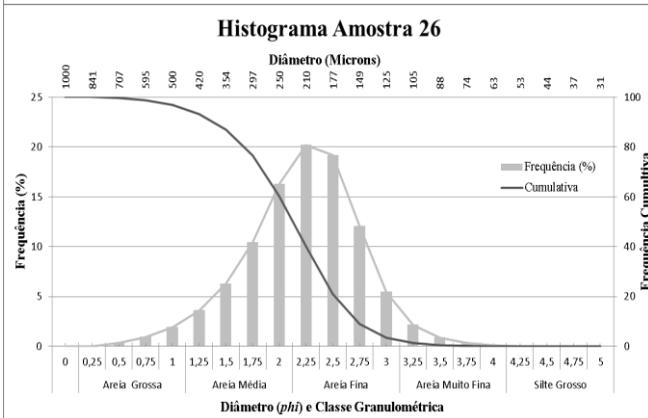
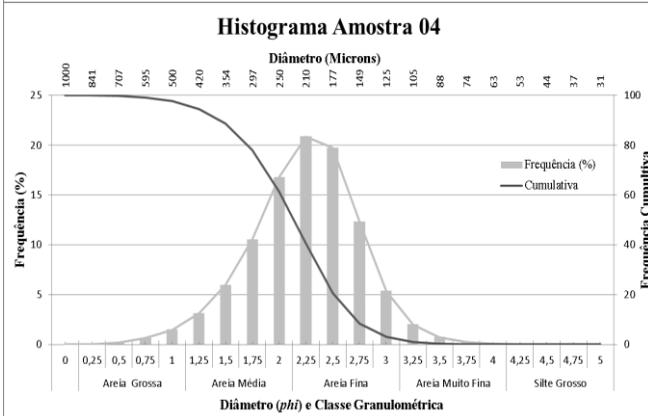
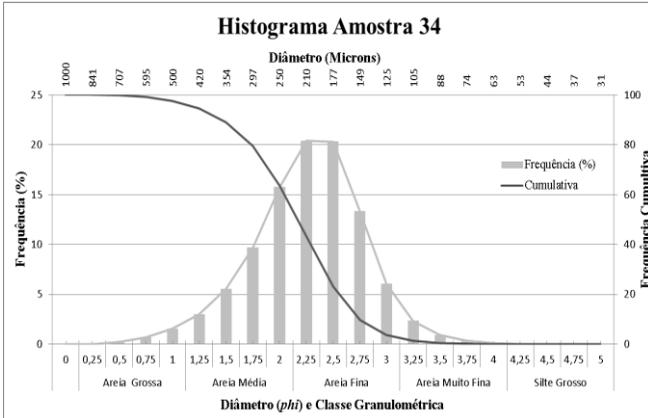


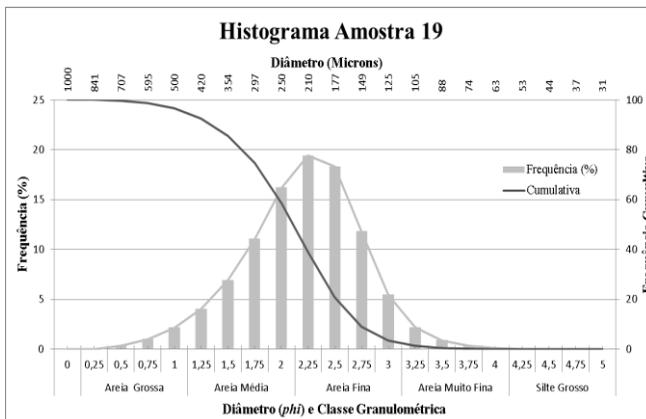












Histogramas – Grupo II

