

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

VARIABILIDADE DA LINHA DE COSTA NA FOZ DO CANAL SÃO GONÇALO E ADJACÊNCIAS
DA LAGOA DOS PATOS

por

Emanuele Ambrosi

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica

Rio Grande, Julho, 2018

VARIABILIDADE DA LINHA DE COSTA NA FOZ DO CANAL SÃO GONÇALO E ADJACÊNCIAS
DA LAGOA DOS PATOS

por

Emanuele Ambrosi
Eng. Geóloga

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Área de concentração: Engenharia Costeira

Orientador: Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Aprovada por:

Prof. Dr. Paulo Roberto de Freitas Teixeira (FURG)

PPGEO/FURG

Prof. Dr. José Antônio Scotti Fontoura (FURG)

Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque (IFRS)

Profa. Dra. Natália Lemke (FURG)

Prof. Dr. Liércio André Isoldi
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

Rio Grande, 26, Julho, 2018

Assinaturas

Orientador: Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Prof. Dr. Paulo Roberto de Freitas Teixeira

Prof. Dr. José Antônio Scotti Fontoura

Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque

Profa. Dra. Natália Lemke

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande, a todos os professores, técnicos do curso de Engenharia Oceânica, especialmente aos funcionários dos laboratórios do LOG e do LEC.

Desejo agradecer especialmente ao meu orientador Dr. Lauro Júlio Calliari pelo constante apoio e por suas aulas, por meio delas eu tive a certeza, de que é nas proximidades do mar que eu devo trabalhar.

Sou grata aos membros avaliadores, que aceitaram compor minha banca de qualificação e de defesa, contribuindo muito para o progresso desta dissertação.

Agradecimento aos professores da UFPel pelo aprendizado adquirido durante a graduação, pois proporcionaram-me a base para o desenvolvimento deste mestrado. Grata ao prof. Dr. Alexandre Bruch pelo empréstimo de equipamento. Agradeço de maneira especial à bibliotecária da UFPel Maria Inez, por todo o suporte na busca dos materiais.

À equipe da Agência da Lagoa Mirim, pelos dados de níveis d'água do canal SG e da Lagoa Mirim, assim como dados de precipitação e de ventos. Os mais sinceros agradecimentos ao Paulo e ao estagiário Ricardo, pelo auxílio na obtenção das fotografias aéreas.

Ao Porto de Pelotas, especialmente ao Marquinhos e ao Carlos, por possibilitar o acesso ao acervo e pelo fornecimento da Planta da Barra do Canal Gonçalo.

Meus agradecimentos ao laboratório de Agrometeorologia, Embrapa, UFPel, INMET, pelas informações referentes aos dados de ventos e de precipitações.

Grata a Agência Nacional de Águas (ANA), por disponibilizar os dados de níveis d'água da laguna.

Aos meus colegas, especialmente a Miriam e a Talita pelos momentos de descontração. Gratidão a todos os meus familiares, principalmente aos meus pais que mesmo estando longe sempre mentalizaram energias positivas. Grata à Sidmara e família, por todo o apoio e carinho. Gostaria de agradecer especialmente à tia Marisa pelas valiosas dicas e às minhas madrinhas pela força e o constante incentivo.

E finalmente, sou eternamente grata ao meu amor, meu farol, sempre iluminando o trajeto a ser navegado.

RESUMO

O presente trabalho visa a caracterização morfológica decadal do canal São Gonçalo e de suas adjacências, principalmente após a construção da barragem eclusa no canal no ano de 1977, implementada para impedir a entrada de sal na Lagoa Mirim. Esta pesquisa foi baseada em fotografias aéreas dos anos de 1953, 1964, 1974 e de imagens de satélite Landsat disponíveis desde o ano de 1973 a 2017. Um detalhamento foi elaborado por meio das imagens do Google Earth Pro, nos anos de 2011 a 2017. Não foram registradas modificações significativas ao longo do canal nas imagens Landsat, porém na sua embocadura nas proximidades da Lagoa dos Patos, na zona à jusante da obra, observaram-se variações. Nas áreas adjacentes ao canal SG, especificamente na região do Pontal da Barra, na praia do Laranjal, estimou-se áreas de recuo da linha de costa de até 1,4 metros por ano. Por outro lado, foram registradas no Balneário Santo Antônio áreas de acreção, na parte central da praia, estimada em 0,7 metros por ano e na porção sul da embocadura, do outro lado do canal SG, observou-se acumulação de sedimentos de 0,4 metros por ano. Além disso, constataram-se o desenvolvimento de dois esporões arenosos nas proximidades da embocadura do canal, um na porção norte, no Pontal da Barra e outro na porção sul, localizado em Rio Grande. O elevado aporte sedimentar registrado na região do Pontal da Barra possivelmente foi resultado de agentes naturais, principalmente pela atuação dos ventos provenientes de NE que geram as ondas oblíquas. Estes sedimentos são transportados pela deriva litorânea com direção predominante para sul. Os sedimentos acumularam-se nesta região do Pontal da Barra e permanecem acumulando-se para o interior da embocadura do canal São Gonçalo. O pontal atualmente possui cerca de 133 metros e continua desenvolvendo-se para dentro do canal. Identificou-se na região do Pontal da Barra uma alta mobilização de sedimentos, registrando uma flecha litorânea, provavelmente provenientes de áreas de erosão adjacentes, por fim depositando-se no pontal arenoso. Sugere-se que, com a diminuição do nível de água do canal, o pontal arenoso apresenta uma maior possibilidade de crescimento para sudoeste, porém, quando seu nível se eleva, o pontal arenoso exibe um desenvolvimento para sudeste. No outro lado do canal SG, o esporão na Ponta do Silveira no ano de 1974 apresentava variadas direções de crescimento, a partir de 1980 passou a desenvolver-se para uma única direção (sudoeste). Porém, no ano de 2014 rompeu-se, criando assim uma estrutura nova na laguna.

Palavras-chaves: Fotos aéreas, imagens de satélite, Canal São Gonçalo, pontal arenoso.

ABSTRACT

This paper seeks to characterize the decennial variations in the morphology of the São Gonçalo channel and its adjacencies, especially after the construction of a dam in the channel in 1977, design to prevent the entry of salt water into the Mirim Lake. This research was based in aerial images of the years of 1953, 1964, and 1974 and Landsat satellite images from 1973 to 2017. A more detailed observation was made with images from Google Earth Pro, in the years of 2011 to 2017. Significant changes were not perceived along the channel, however at its mouth, near Patos Lagoon, downstream of the dam, changes were observed. In areas adjacent to the channel's mouth, specifically at the Pontal da Barra in the Praia do Laranjal, an area with shoreline retreat of 1.4 meters per year was estimated. Conversely, areas of accretion were identified at Balneário Santo Antônio, with an estimated rate of 0.7 meters per year in the middle of the beach, and to south of the channel's mouth, on the opposite side of the São Gonçalo channel, an accretion rate of 0.4 meters per year was observed. In addition, the development of two sandspits near the channel's mouth were noticed, one in the north, at Pontal da Barra, and another in the south, located in Rio Grande. The high sedimentary intake observed in a region of the Pontal da Barra is likely the result of natural processes, mainly the effect of wind from the NE which generate waves at an oblique angle. These sediments are transported by longshore drift mainly directed to the south. The sediments were deposited forming a bar in this region of the Pontal da Barra and are still accumulating in the São Gonçalo channel's mouth. The bar feature has grown 133 meters towards the channel and keeps growing. It was noticed in the Pontal da Barra, a high remobilization of sandbanks, observing a migrating sandbank, probably related to the erosion areas in the adjacencies, that end up deposited in the bar feature. It is suggested that, with the decrease of the water levels, the sandbar presents a more likely to grow to the southwest, however, when the levels rise, the sandbar exhibit a development to the southeast. In the other side of the São Gonçalo channel, in the year of 1974 the spit at the Ponta do Silveira presented several directions of growth, by 1980 it started to develop only in one direction (southwest). However, it was segmented in the year of 2014, generating, therefore, a new feature in the lagoon.

Keywords: aerial photographs, satellite images, São Gonçalo channel, sand spit.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.2 MOTIVAÇÃO.....	18
1.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS.....	18
1.3.1 LAGOA DOS PATOS	19
1.3.2 LAGOA MIRIM.....	20
1.3.3 CANAL SÃO GONÇALO.....	20
1.4 FATORES AMBIENTAIS	25
1.5. OBJETIVO GERAL	27
1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
1.5.2 JUSTIFICATIVA	27
1.6 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
1.7 GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL	28
1.8 REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
2 METODOLOGIA.....	31
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E VISITAS EM BIBLIOTECAS/ACERVOS.....	31
2.2 FOTOGRAFIAS AÉREAS	32
2.2.1 IMAGENS DE SATÉLITES.....	33
2.2.2 PROCESSAMENTO	33
2.3 AVALIAÇÃO DOS AGENTES DINÂMICOS	35
2.3.1 NÍVEIS D'ÁGUA	35
2.3.2 VENTOS	36
2.3.3 PRECIPITAÇÃO.....	36

2.3.4 LA NIÑA E EL NIÑO	37
3 RESULTADOS	38
3.1 MODIFICAÇÕES NA EMBOCADURA DO CANAL SG, NA MARGEM PERTENCENTE A CIDADE DE PELOTAS.....	45
3.2 MODIFICAÇÕES NA MARGEM DO CANAL SG, PERTENCENTE A CIDADE DE RIO GRANDE	55
3.3 FATORES METEOROLÓGICOS	67
3.3.1 VENTOS.....	67
3.3.2 PRECIPITAÇÃO.....	69
3.3.3 NÍVEIS DAS ÁGUAS.....	71
3.3.3.1 NÍVEIS DAS ÁGUAS DO CANAL SÃO GONÇALO	71
3.3.3.1.1 NÍVEIS D'ÁGUA À MONTANTE DA BARRAGEM ECLUSA X PRECIPITAÇÃO	72
3.3.3.2 NÍVEIS MÉDIOS DE ÁGUA DA LAGOA DOS PATOS.....	73
3.3.3.3 NÍVEIS DE ÁGUA DA LAGOA MIRIM	74
4 DISCUSSÃO.....	75
4.1 EMBOCADURA DO CANAL SG E PROXIMIDADES.....	75
4.2 BANCO ARENOSO NA MARGEM PERTENCENTE A CIDADE DE RIO GRANDE	81
4.3 ESPORÃO ARENOSO NA PONTA DO SILVEIRA	83
5 CONCLUSÃO.....	86
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	88
7 REFERÊNCIAS	89
APÊNDICES.....	96
ANEXO	126

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Mapa do canal São Gonçalo e da localização da barragem eclusa. 23
- Figura 1.2 - Imagem da barragem eclusa, localizada no canal São Gonçalo. Na porção esquerda está situada a eclusa. Na parte central, localizam-se as 18 comportas basculantes, enquanto que na porção direita, encontra-se o dique (Fonte: Modificado de Google Earth). 24
- Figura 1.3 - Mapa do estado do Rio Grande do Sul – Brasil, destaca-se em vermelho a localização do Canal São Gonçalo e suas adjacências (Modificado de IBGE, 2017). 28
- Figura 2.1 - Planta da Barra do Canal São Gonçalo do ano de 1886, escala 1:5.000 (Fonte: Acervo do Porto de Pelotas). 32
- Figura 3.1 - Localização das variações geomorfológicas significativas analisadas na embocadura do canal São Gonçalo, nas proximidades da Lagoa dos Patos. Ilustra-se em vermelho os locais onde ocorreram alterações geomorfológicas significativas. A letra A) observa-se o desenvolvimento de um pontal arenoso na região do Pontal na praia do Laranjal, B) acreção/erosão de margens e registro de um banco arenoso na margem sul do canal, e C) monitoramento do esporão arenoso na Ponta do Silveira em Rio Grande. 38
- Figura 3.2 - Fotografia aérea do ano de 1964 do canal São Gonçalo, nas proximidades da Lagoa dos Patos, apresentando a ausência do pontal arenoso (Fonte: Acervo da Agência da Lagoa Mirim). ... 39
- Figura 3.3 - Imagem de satélite do Landsat 5, imageada no ano de 1990 (Fonte: Modificado de INPE). É possível observar a deposição de sedimentos na localidade do Pontal da Barra, ilustrado com a letra A. Além disso, visualiza-se na porção de Rio Grande, um banco arenoso na foz do canal representado pela letra B. Na região da Ponta do Silveira, ao sul da embocadura, localiza-se o esporão arenoso, destacado com a letra C. 40
- Figura 3.4 - Imagem de satélite Landsat 7 adquirida no ano de 2003 (Fonte: Modificado de INPE). Registra-se o contínuo crescimento do pontal arenoso ilustrado com a letra A. No entanto, a letra B marca uma diminuição da área do banco arenoso. Por outro lado, na Ponta do Silveira, observa-se o crescimento do esporão arenoso principalmente para a direção SW, ilustrado pela letra C. 41
- Figura 3.5 - Imagem de satélite Landsat 5 coletada no ano de 2010 (Fonte: Modificado de INPE). Ocorre o contínuo desenvolvimento do pontal arenoso representado pela letra A. Entretanto, observa-se a redução do banco arenoso (ilustrado pela letra B). Por outro lado, é visível o crescimento acelerado do esporão arenoso situado na Ponta do Silveira para a direção SW, retratado pela letra C. 42
- Figura 3.6 - Via de acesso ao pontal arenoso, Av. Dr. Antônio Augusto de Assunção, fotografia obtida no ano início do ano de 2018 (Fonte: Acervo da autora). 43
- Figura 3.7 - Imagem de satélite Landsat 8, adquirida no período de 2017 (Fonte: Modificado de INPE). Na região da letra A foi observado o constante aumento do pontal arenoso principalmente para o interior do canal São Gonçalo. Registrou-se novamente a ausência do banco arenoso (letra B), além disso, neste local também é possível observar a ocorrência de transporte de sedimentos para a direção

da laguna. Enquanto, na região do esporão arenoso, na Ponta do Silveira, foi registrada uma alteração da sua geometria ilustrado pela letra C.	44
Figura 3.8 - Desenho ilustrativo da variabilidade da linha de costa ocorrida na foz do canal São Gonçalo, nas proximidades da laguna, ao longo de 64 anos.	45
Figura 3.1.1 - Imagens históricas adquiridas entre os anos de 2011 a 2017, a) 2011, b) 2012, c) 2013, d) 2014, e) 2015, f) 2016 e g) 2017, mostrando a variação ocorrida na região do Pontal da Barra, localizado na praia do Laranjal. Escala:100 metros. (Fonte: Modificado de Google Earth, DigitalGlobe).	46
Figura 3.1.2 - Foto da denominada ‘Ponta SW’: Aporte de sedimentos avançando para o interior do canal São Gonçalo. Fotografia adquirida no mês de junho do ano de 2018 no pontal arenoso localizado no Pontal da Barra, Laranjal (Fonte: Acervo da autora).	48
Figura 3.1.3 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica ocorrida no Pontal da Barra, na praia do Laranjal, registrados entre os anos de 2011 a 2017. A flecha vermelha representa a direção preferencial de transporte de sedimentos (SW)	49
Figura 3.1.4 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do pontal arenoso registrado na região do Pontal da Barra, na praia do Laranjal. Informações referentes aos anos de 2011 a 2017. É possível observar o avanço do pontal arenoso para dentro do canal SG.	50
Figura 3.1.5 - Gráfico dos valores de erosão da linha de costa ocorridos no Pontal da Barra, entre os anos de 2011 até 2017.	51
Figura 3.1.6 - Contínuo processo erosivo na estrada de acesso ao pontal arenoso, Av. Dr. Antônio Augusto de Assunção. Fotografia referente ao início do mês de agosto do ano de 2018 (Fonte: Acervo da autora).	51
Figura 3.1.7 - Gráfico dos valores das áreas estimadas do pontal arenoso localizado no Pontal da Barra, registrados entre os anos de 2011 a 2017.	52
Figura 3.1.8 - Gráfico dos valores estimados da progradação do pontal arenoso do Pontal da Barra, acumulando sedimentos para dentro do canal SG, observados entre os anos de 2011 a 2017.	53
Figura 3.1.9 - Desenho ilustrativo da embocadura do canal São Gonçalo. No ano de 1953 observa-se a ausência do pontal arenoso, registrado nos anos atuais.	54
Figura 3.1.10 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica ocorrida no Saco do Laranjal, registrados entre os anos de 1964 a 2017.	55
Figura 3.2.1 - Desenho ilustrativo do banco arenoso localizado na margem do canal SG pertencente a cidade de RG.	56
Figura 3.2.2 - Áreas estimadas do banco arenoso localizado na margem do canal SG, pertencente a cidade de Rio Grande. Áreas do banco arenoso registradas nos anos de 1984 até 2017.	57
Figura 3.2.3 - Fotografia aérea de 1974 da região da Ponta do Silveira, em Rio Grande, apresentando os esporões arenosos com variadas direções de desenvolvimento (Fonte: Acervo da Agência da Lagoa Mirim).	57

Figura 3.2.4 - Mapa temático mostrando o crescimento do esporão arenoso localizado na Ponta do Silveira, registrados entre os anos 1974 a 2013. No ano de 1974, observa-se uma geometria recurvada, posteriormente passa a desenvolver-se com uma geometria retilínea, com direção preferencial para sudoeste.....	58
Figura 3.2.5 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do esporão arenoso na Ponta do Silveira, observadas nos anos de 2010 (A) e em 2017 (B).....	59
Figura 3.2.6 - Imagens de satélite dos anos de 2011 a 2017, - Imagens de satélite dos anos de 2011 a 2017, a) 2011, b) 2012, c) 2013, d) 2014, e) 2015, f) 2016 e g) 2017, mostrando o desenvolvimento do esporão arenoso, seu afinamento e posteriormente a sua ruptura. Escala: 1km. (Fonte: Google Earth, DigitalGlobe).....	60
Figura 3.2.7 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do esporão arenoso na Ponta do Silveira, registrada entre os anos 2011 a 2012.	61
Figura 3.2.8 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do esporão arenoso referente aos anos 2012 a 2013.....	62
Figura 3.2.9 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do esporão arenoso entre os anos de 2013 e 2014, mostrando a afinação na parte central da feição arenosa e conseqüentemente causando a ruptura do esporão arenoso.....	63
Figura 3.2.10 - Desenho ilustrativo do esporão arenoso entre os anos 2014 a 2015.	64
Figura 3.2.11 - Desenho ilustrativo apresentando o processo erosivo do esporão registrado principalmente na estrutura esquerda do esporão, processo ocorrido nos anos 2015 e 2016.	65
Figura 3.2.12 - Desenho ilustrativo do esporão arenoso registrados entre os anos de 2016 a 2017..	66
Figura 3.2.13 - Gráfico da área do esporão arenoso na Ponta do Silveira, antes do rompimento da sua estrutura (analisada nos anos de 2011 até 2013). A ruptura do esporão ocorreu em 2014, passando a apresentar duas feições (lagamar) representadas pelas porções superior e inferior (registradas nos anos de 2014, 2015 e 2017; em 2016 ocorre a formação de uma terceira feição devido ao processo erosivo).	67
Figura 3.3.1 - Série histórica de ventos predominantes, ocorridos entre os anos de 1971 a 2017.....	68
Figura 3.3.2 - Desenho ilustrativo representando a ocorrência de deriva litorânea, com transporte de sedimentos preferencialmente para a direção sudoeste. Desenho elaborado com base na imagem de satélite adquirida no ano de 2010.....	69
Figura 3.3.3 - Série histórica de precipitação obtida na estação de Capão do Leão, registrados nos anos de 1971 a 2017.....	70
Figura 3.3.4 - Dados históricos de precipitação coletados na estação de Santa Vitória do Palmar, registrados nos anos de 1978 a 2013.....	70
Figura 3.3.5 - Dados históricos de níveis de água do canal São Gonçalo, obtidos entre os anos de 1979 a 2017.....	71

Figura 3.3.6 - Histórico mensal de níveis da água à montante da barragem eclusa do canal SG, adquiridos desde 1979 até 2017. A escala vertical caracteriza os valores de precipitação em mm, e para o nível d'água a escala é ilustrada em cm.	72
Figura 3.3.7 - Gráficos de correlação da precipitação com os níveis d'água à montante da obra do canal SG, adquiridos desde 1979 até 2017.	73
Figura 3.3.8 - Dados históricos dos níveis médios das águas da Lagoa dos Patos, coletados entre os anos de 1984 até 2017.	74
Figura 3.3.9 - Série histórica dos níveis d'água da Lagoa Mirim, medidos entre os anos de 1978 até 2013.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.0: Registros de teores danosos (valor mínimo de 0,5 gr/l) coletadas no Porto de Pelotas (Fonte: CLM, 1971b2).....	22
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ALM	Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim
ANA	Agência Nacional de Águas
CANAL SG	Canal São Gonçalo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	Land Satellite - Satélite da Superfície Terrestre
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RS	Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
HS	Altura Significativa das Ondas
Tp	Período de Pico das Ondas
Dir	Direção de Pico das Ondas

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Bird (2008), a geometria das lagunas é diretamente resultante da costa pretérita, podendo apresentar diferentes formatos e dimensões. A Lagoa dos Patos é um exemplo de estuário de micromaré, conforme Bird (2008) neste tipo de ambiente, a atuação dos ventos (que induzem a formação de ondas) e das correntes fluviais são os fatores governantes, que influenciam na morfodinâmica destes corpos hídricos.

Segundo Wright e Thom (1977), a morfodinâmica e a dinâmica dos fluídos são os processos que variam a morfologia e estão relacionados com o transporte de sedimentos. De acordo com os autores, alguns elementos morfodinâmicos fundamentais baseiam-se no tipo de sedimento, fatores que afetam a energia incidente, assim como variações morfológicas de maior ou menor magnitude, além do desenvolvimento em diferentes intervalos de tempo.

Em uma praia, a migração de sedimentos é resultante da ação das ondas e de correntes, podendo ocasionar em um elevado transporte de sedimentos ao longo da costa (Komar, 1998). Na zona de surf, as ondas geralmente apresentam um determinado ângulo, em consequência ocorre um deslocamento longitudinal de sedimentos. Se o ângulo é de aproximadamente 45°, registra-se a sua maior velocidade (Yakushova, 1986).

Em consequência da atuação das ondas, as linhas de costas não se encontram em equilíbrio. Normalmente, as modificações podem estar relacionadas aos processos erosionais e deposicionais, com a ocorrência de erosão principalmente nos promontórios e de acumulação de sedimentos em embaiamentos e estuários, o que ocorre naturalmente em busca do equilíbrio ou retificação da linha de costa (Hamblin & Christiansen, 2004). O processo erosivo é mais acentuado nos promontórios, em razão da energia das ondas ser focalizada nestas estruturas em consequência da refração das ondas (Dean & Dalrymple, 2004).

A formação de esporão arenoso é uma característica deste ambiente deposicional. É uma forma de relevo linear, que se desenvolve conforme a direção da deriva litorânea (Trujillo & Thurman, 2011). Em embaiamentos, a formação do esporão é resultado de uma diminuição da energia da onda. Em consequência da perda de energia, a força de transporte de sedimentos é menor (Davis Jr. e FitzGerald, 2004).

Em estuários e baías, os comprimentos dos esporões arenosos podem ser variados, como por exemplo pequenas feições medindo menos de 100 metros, assim como podem

ser registradas estruturas com maiores dimensões, como por exemplo, o esporão arenoso localizado no *Lake Erie* com aproximadamente 40 km, denominado de *Long Point* (Davidson-Arnott, 2010). No RS, destaca-se a restinga de São José do Norte, uma estrutura onde localizam-se as cidades de São José do Norte, Tavares e Mostarda (Cunha, 1997).

O entendimento da morfodinâmica do canal São Gonçalo (SG), além de relevante para a maior compreensão do meio natural, é fundamental visto a sua importância para o desenvolvimento econômico de Pelotas. O corpo hídrico é uma hidrovia que conecta a cidade à diversas localidades e ao mar (Rosa, 1985). Além disso, as águas do canal SG são utilizadas para outras finalidades, como por exemplo para a irrigação.

Segundo o relatório da Comissão da Lagoa Mirim (1971c) nos arredores de Pelotas, por volta do ano de 1904 a plantação de arroz irrigado começou a ser desenvolvida. Da mesma maneira, nas cidades próximas, como Arroio Grande, Jaguarão, Rio Grande (no Taim) e posteriormente, a localidade de Santa Vitória do Palmar.

O canal SG apresenta ligação com a Lagoa dos Patos, sofrendo influências, em consequência de suas características. Segundo Bird (2008) as lagunas podem ser influenciadas pela maré e pelo contato entre as águas provenientes de dois ambientes diferentes, de água salgada e de água doce, ou seja, oriundas do mar e dos rios, respectivamente.

Um exemplo de intrusão de água salgada no canal SG ocorreu no verão de 1946, na porção sul do canal a concentração de cloreto de sódio medida foi de 29.000 ppm. Neste ano, a água salgada alcançou as proximidades do porto localizado em Santa Vitória, onde foi observada 1.190 ppm de cloreto de sódio (CLM, 1970a). Na década de 70, visto que a entrada de água salgada prejudicava as plantações de arroz, foi proposta uma obra de controle para evitar a entrada de água salgada na Lagoa Mirim (CLM, 1970b).

Apesar de ter importante papel no desenvolvimento econômico, as intervenções antrópicas, como a construção de uma barragem/eclusa, na região de Pelotas, podem alterar os processos naturais, como a erosão e a sedimentação, principalmente na desembocadura do canal. Segundo Komar (1998) avaliações em diferentes escalas de tempo podem fornecer informações a respeito de variações de feições geomorfológicas; como, por exemplo, o desenvolvimento de esporões arenosos em um curto intervalo de tempo. A utilização de fotografias aéreas pode ser empregada no monitoramento em um intervalo de curto prazo, enquanto em pesquisas de longo prazo, deve-se buscar materiais como mapas antigos, assim como registros anotados.

Neste trabalho foi analisado o desenvolvimento do pontal arenoso na região do Pontal da Barra, na praia do Laranjal em Pelotas. Assim como, o crescimento do esporão arenoso localizado na Ponta do Silveira, em Rio Grande. A partir do exposto, o presente trabalho visa caracterizar a variabilidade decadal da linha de costa na foz do canal São Gonçalo e adjacências da Lagoa dos Patos, com uso de fotografias aéreas e imagens de satélites. A observação de variações nas estruturas dispostas nesta região, possibilita maior compreensão dos processos sedimentares em vigor.

1.2 MOTIVAÇÃO

A longo prazo, infere-se que o nível de água no mar experimenta elevação, ocasionada por mudanças climáticas globais, que tem resultado em uma elevação do nível do mar, impactando primordialmente as áreas adjacentes, mas de compreensão incerta devido à falta de observações ao longo do tempo (Rodríguez et al. 2017). Conseqüentemente, sobe o nível da água da Lagoa dos Patos e assim mudanças de níveis de água podem ter ocorrido também no canal São Gonçalo. Estas variações, juntamente com outros agentes dinâmicos, somados a interferência antrópica no corpo hídrico, podem ter resultado em modificações da hidrodinâmica e morfologia costeira. Uma pesquisa detalhada de fatores ambientais ao longo do tempo, associados a observação da variação temporal da linha de costa com a utilização de geotecnologias, tornam-se fundamentais para o entendimento da morfodinâmica local.

1.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

De acordo com o relatório elaborado pela comissão da Lagoa Mirim (CLM, 1970a), o canal São Gonçalo exibe um regime de escoamento complexo, em função de apresentar conexão entre dois corpos hídricos, representados pela Lagoa dos Patos e pela Lagoa Mirim. Assim, a razão pelo qual o corpo hídrico é denominado de canal é devido à frequente alteração do sentido de sua corrente (CLM, 1970a).

1.3.1 LAGOA DOS PATOS

A Lagoa dos Patos é classificada como uma laguna estrangulada (Kjerfve, 1994). Compreende uma área de aproximadamente 10.360 km² (Vieira e Rangel, 1984). Apresenta uma descarga média de 2400 m³/s (Vaz et al. 2006). A porção sul da Lagoa dos Patos é um estuário. De acordo com o Relatório da CLM (1971a), a incursão da água salgada na laguna já foi registrada a aproximadamente 200 km ao norte da barra de Rio Grande, chegando nas proximidades de Tapes.

De acordo com Delaney (1962) a laguna está separada em três porções, são elas: Inferior (abrangendo as barras: de Rio Grande e da Feitoria), Média (entre a barra da Feitoria até Itapoã) e a parte Superior (dividida em duas: Lagoa do Casamento e de Itapoã – Guaíba). O presente trabalho investiga áreas que são correspondentes a porção Inferior.

No RS, conforme Villwock e Tomazelli (2007) geralmente o desenvolvimento das praias são direcionadas ortogonalmente a orientação predominante dos ventos NE. Segundo os mesmos autores os ventos formam as ondas, que afetam diretamente a margem da laguna.

Características das ondas foram estudadas por Lemke (2015). Conforme a autora, foram obtidas as características das ondas como altura significativa (Hs), período e direção de pico (Tp e Dir) por meio de ondógrafo fundeado na lagoa, a aproximadamente 14 km da costa de São Lourenço do Sul. Na pesquisa, foram registrados, respectivamente, valores médios de 0,51 m, 3,2 s e 119° ao longo do verão. Enquanto que no outono, os valores médios obtidos foram de 0,36 m, 2,7 s e 137°.

Toldo (1991) cita a relevância geológica dos esporões arenosos na Lagoa dos Patos. Segundo o autor, estão localizados na porção oeste os seguintes esporões: Pontal Dona Maria, Pontal do Vitoriano, Pontal Quilombo e o Pontal da Feitoria. Enquanto que na porção norte, ocorrem os pontais: Pontal das Desertas e o Pontal do Abreu. Já na parte leste, registram-se os pontais: Pontal do Anastácio, Pontal São Simão, Pontal Cristovão Pereira, Pontal Bojurú e Pontal dos Lençóis. Segundo Villwock e Tomazelli (2007) a Lagoa dos Patos, em virtude do desenvolvimento de amplos esporões arenosos apresenta-se em uma fase de segmentação.

1.3.2 LAGOA MIRIM

De acordo com ALM (2017) a área da bacia hidrográfica da lagoa compreende cerca de 62.250 km², onde 47% da bacia localiza-se na porção brasileira e 53% na parte uruguaia. A Lagoa Mirim apresenta uma área de aprox. 3.749 km², com 185 km de comprimento e possui uma largura média de 20 km. A Lagoa Mirim por meio do canal São Gonçalo, apresenta conexão com a Lagoa dos Patos.

Na Lagoa Mirim, segundo o relatório da CLM (1971d), os ventos favorecem as mudanças de níveis d'água, em consequência de o corpo hídrico encontrar-se diretamente sob a atuação destes agentes. Estes fatores atuam com intensidade devido às características da lagoa, em função da sua geometria, bem como pela ausência de relevo nas suas imediações e pela sua localização (nas adjacências do mar).

Conforme o relatório da CLM (1970a) em épocas de estiagens prolongadas, ocorre a alteração do sentido da corrente do canal São Gonçalo. A variação ocorre em consequência do nível d'água da Lagoa Mirim apresentar valores menores, somada a ação dos ventos. Estes fatores favorecem a mudança do sentido do escoamento, com fluxo da Lagoa dos Patos em direção à Lagoa Mirim.

A intensidade e a continuidade dos ventos, juntamente com o valor de nível d'água, proporcionavam a entrada de água salgada na lagoa de três em três anos (aproximadamente) segundo o relatório da CLM (1970a). Foi documentada a entrada de água salgada nas proximidades do porto de Santa Vitória no verão do ano de 1946. Da mesma maneira, a Lagoa Mirim encontrava-se com teores consideráveis de sal, onde foram registrados teores elevados em quase dois terços das águas da lagoa (CLM, 1970a).

1.3.3 CANAL SÃO GONÇALO

O canal São Gonçalo possui 76 quilômetros de comprimento, com largura aproximada de 240 metros, apresenta cerca de 6 metros de profundidade, entretanto na Ilha Pequena (na parte sul do canal), registrou-se 23 metros de profundidade (Vieira, 1982). A descarga média do corpo hídrico é de 700 m³/s, com velocidade de fluxo de aproximadamente 0,6 m/s. Em época de estiagem acentuada, a descarga do canal diminui, podendo apresentar descarga nula. Porém em períodos de inundações, registrou-se a descarga máxima de aproximadamente 3000 m³/s (CLM, 1970a).

Ainda no ano de 1838, na planta do “Rio São Gonçalo”, o Segundo Tenente da Armada Pedro Garcia da Cunha havia chamado a atenção da ocorrência de alterações das águas em diferentes estações do ano. Onde no inverno ocorria a presença de água doce, entretanto no verão, a água era intensamente salgada (CLM, 1971a).

As plantações de arroz eram prejudicadas em consequência de alta possibilidade de entrada de água salgada no canal SG, especificamente nos meses de janeiro, fevereiro e março (CLM, 1970a).

De acordo com CLM (1971a), nos anos de 1942 a 1948 foram registradas águas salgadas nas lagoas, bem como no ano de 1946 a água salgada atingiu o Rio Piratini. No ano de 1965, os ventos acentuados provenientes de nordeste, possivelmente foram os principais contribuidores para a intrusão de água salgada, que resultou em 72 horas, no rápido avanço por todo o canal SG. A Tabela 1.0 apresenta os anos em que foram registrados teores danosos (com o valor mínimo considerado de 0,5 gr/l), coletados no Porto de Pelotas (CLM, 1971b).

Tabela 1.0: Registros de teores danosos (valor mínimo de 0,5 gr/l) coletados no Porto de Pelotas. Fonte: Relatório da CLM (1971b).

Anos	Meses	Nº de ocorrências (Dias)
1949	Fevereiro - Julho	91
1951	Janeiro - Agosto	51
1952	Janeiro - Maio	63
1955	Janeiro - Maio	81
1956	Janeiro - Setembro	98
1958	Abril	12
	Maio	21
	Junho	9
1960	Maio	2
1961	Março	4
	Abril	15
	Maio	31
	Junho	22
	Julho	2
1962	Abril	6
	Maio	25
	Junho	4
1964	Dezembro	3
1965	Fevereiro	26
	Março	24
1968	Abril	11
	Maio	16
	Junho	8
	Julho	7
	Agosto	6
	Setembro	9
	Outubro	6
	Novembro	1

Uma barragem eclusa foi construída no canal São Gonçalo, implantada no ano de 1977 (Rosa, 1985). A Figura 1.1 apresenta a localização da obra controle no canal SG.

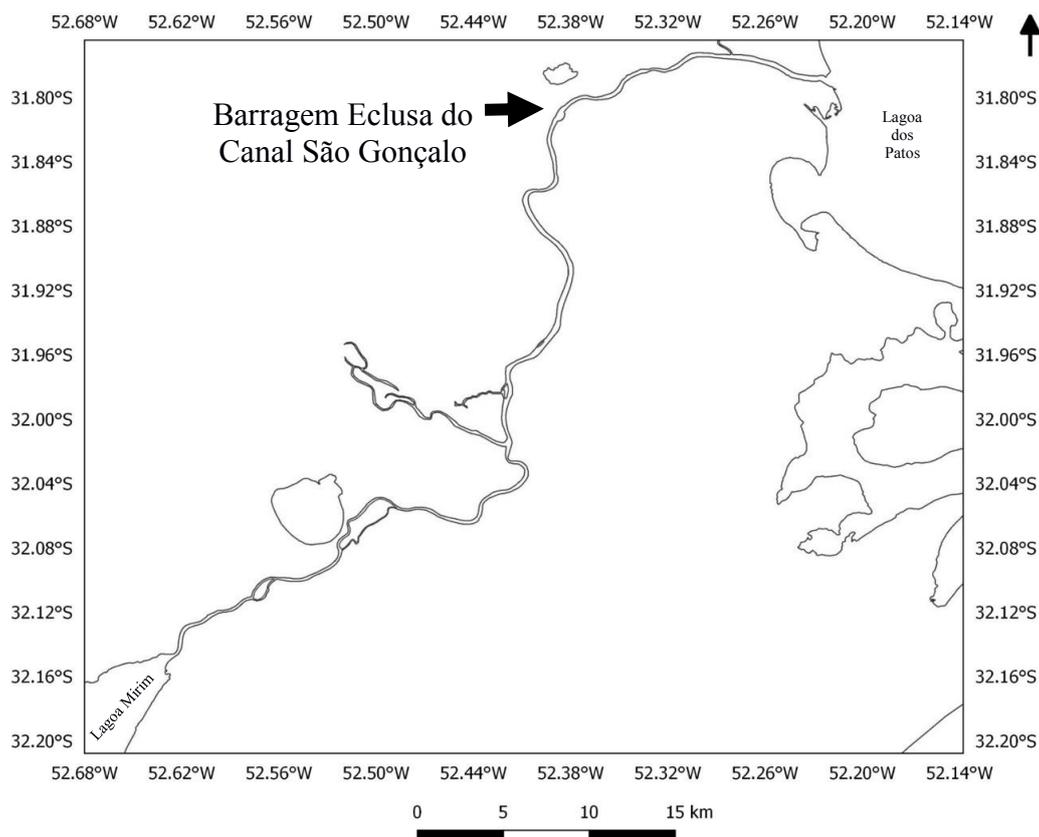


Figura 1.1 - Mapa do canal São Gonçalo e da localização da barragem eclusa. O canal SG liga a Lagoa dos Patos com a Lagoa Mirim.

De acordo com Fleming (1970), um dos objetivos da construção da obra no canal foi impedir a entrada de água salgada, pois a intrusão de água salgada prejudicava as plantações de arroz (principalmente em épocas quando os níveis de água apresentam baixos valores). Dentre as finalidades para a construção da barragem eclusa, esta permitir a ocorrência de um nível de água maior na Lagoa Mirim, com o objetivo de armazenar a água e contribuir para a irrigação através de bombeamento. Além disso, a construção da barragem eclusa viabilizaria a navegabilidade (Fleming, 1970).

Segundo Rosa (1985) a obra é composta por uma estrutura de concreto armado de 245 metros, com profundidade de 12 metros (Fig. 1.2). A eclusa localiza-se na porção esquerda (com dimensões de 17 metros por 120 metros). Posicionam-se 18 comportas basculantes na parte central da obra (compreendendo 217 metros), normalmente encontram-se abertas. As comportas são fechadas somente quando os níveis d'água apresentam-se baixos, ou seja, em épocas de estiagens registradas geralmente no verão.

Encontra-se um dique (de 180 metros) na porção direita, com o objetivo de guiar volumes de água excedentes (Rosa, 1985).



Figura 1.2 - Imagem da barragem eclusa, localizada no canal São Gonçalo. Na porção esquerda está situada a eclusa. Na parte central, localizam-se as 18 comportas basculantes, enquanto que na porção direita, encontra-se o dique (Fonte: Modificado de Google Earth, DigitalGlobe).

Geralmente, as comportas mantêm-se mergulhadas junto ao fundo do canal. Porém, as comportas são levantadas por meio de motores possantes se ocorrer o indício de intrusão de água salgada, impossibilitando o avanço de água salgada no canal, assim como o ingresso na Lagoa Mirim (Rosa, 1985).

Conforme o relatório da CLM (1970a) os ventos podem ser os principais influenciadores do sentido da corrente do canal SG, principalmente quando o nível d'água da Lagoa Mirim apresenta a subida crítica de até 0,70 metros. Segundo CLM (1971d), geralmente alterações de níveis de água de aproximadamente 0,50 metros ou mais, registrados de um dia para o outro, poderiam ocorrer no canal.

Cunha (2009) observou no seu trabalho que a atuação dos ventos influencia na direção de transporte da pluma de sedimentos oriundas do canal e adjacências. Segundo a autora os ventos provenientes do quadrante sul, favorecem o transporte da pequena pluma para a direção norte, enquanto que os ventos provenientes do quadrante nordeste, transportam a pluma de sedimentos para a direção sul.

No verão, o vento de direção dominante do quadrante nordeste, possibilita a ocorrência do fluxo das águas para o sentido da Lagoa Mirim, enquanto o vento proveniente da direção sudoeste, faz com que o sentido de escoamento das águas seja para o sentido da Lagoa dos Patos. Portanto, ocorre um equilíbrio de massa de água, onde o vento acentuado de direção sudoeste, resulta na remoção de água da Lagoa Mirim e o vento predominante de nordeste, provoca a recolocação de água (CLM, 1970a).

De acordo com a CLM (1971a) no canal SG, o avanço da frente salina é provocado pelos ventos e seus efeitos influenciam diretamente nos níveis d'água nas regiões extremas do corpo hídrico. Segundo o mesmo relatório, o Rio Piratini em épocas marcadas pela entrada de água salgada, apresenta uma diminuição de sua descarga, proporcionando sentido de fluxo das águas para a Lagoa Mirim.

No ano de 2015, valores de vazões, à montante e à jusante da obra, foram determinados por Karsburg et al. (2015). As medições foram obtidas em um intervalo de aproximadamente 3 meses, adquiridas através de um perfilador acústico de corrente por efeito doppler (ADCP). Diferentes valores foram medidos, onde as estimações à montante somente apresentaram valores elevados na etapa inicial de coleta. Segundo os autores, no mês de fevereiro foi registrado à montante da obra 858,355 m³/s, enquanto à jusante, foi estimado 799,204 m³/s. Por outro lado, no mês de maio, foram medidos 170,795 m³/s e 208,516 m³/s, respectivamente. Segundo os autores, os valores de vazões diminuíram em consequência da ocorrência do fechamento das comportas.

Usualmente, a vegetação registrada nos arredores do canal é gramínea. Entretanto, em consequência do aumento de chuvas registradas no inverno, ocorre o registro de espécies aquáticas e subaquáticas, como por exemplo os aguapés (Vieira e Rangel, 1984).

1.4 FATORES AMBIENTAIS

A compreensão da atuação de variáveis climáticas é um importante passo para o entendimento dos agentes dinâmicos do ambiente sedimentar.

Os fenômenos de El Niño e La Niña são variações anômalas das águas superficiais do oceano Pacífico Tropical, o evento de El Niño é identificado como a elevação da temperatura destas águas, enquanto o fenômeno La Niña, é representado pelo resfriamento destas águas superficiais (CPTEC/INPE, 2018). Na Lagoa dos Patos, o

fenômeno El Niño resulta em uma elevada descarga fluvial, por outro lado, durante o fenômeno de La Niña, registram-se a ocorrência de vazões menores (Vaz et al. 2006).

O clima correspondente é classificado como temperado e úmido (Tomazelli et al. 2000). As precipitações são acarretadas pelas correntes das direções sul e oeste (Vieira e Rangel, 1984). A precipitação média compreende em cerca de 1300 mm/ano (Tomazelli et al. 2000).

Os ventos e os fluxos dos rios são os fatores colaboradores para a movimentação e oscilação dos níveis de água da laguna (Martins et al. 1989). Os ventos são governados pelo anticiclone do Atlântico Sul e pelo anticiclone Móvel Polar (Tomazelli, 1993). O vento predominante é oriundo do quadrante nordeste e em menores incidências são registrados os ventos dos quadrantes oeste-sudoeste. O primeiro vento citado atua principalmente na primavera e no verão, já os segundos, ocorrem no outono e no inverno (Tomazelli et al. 2000).

Segundo Möller et al. (2001) ao longo da atuação de ventos provenientes do quadrante sudoeste, ocorre a geração de um gradiente de pressão, fazendo com que a água salgada flua para dentro da laguna, enquanto que os ventos oriundos do quadrante nordeste, favorecem o escoamento para fora do corpo hídrico.

No canal SG, de acordo com o relatório CLM (1971a) as descargas e os níveis de água são influenciados diretamente pelos ventos conforme sua permanência, direção e amplitude. Os ventos provenientes de nordeste favorecem a intrusão de água salgada no sentido da Lagoa Mirim, entretanto os ventos oriundos de sudoeste, proporcionam o escoamento das águas para a Lagoa dos Patos (CLM, 1970a).

1.5. OBJETIVO GERAL

Caracterizar a evolução morfológica em planta do canal São Gonçalo e suas proximidades, em um período de 64 anos (1953-2017), através da análise de fotografias aéreas e de imagens de satélite.

1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar as variações da linha de costa ao longo da área de estudo, identificando áreas de erosão e de acreção.
- Avaliar dados históricos da direção de ventos, de precipitação e de níveis da água, com a finalidade de entender as variações ocorridas.
- Elaborar mapas conceituais e desenhos ilustrativos mostrando as modificações registradas em diferentes anos, com o intuito de auxiliar na interpretação dos fatores atuantes.

1.5.2 JUSTIFICATIVA

O crescimento da economia gerada por meio da hidrovía do Mercosul, é um assunto que tem sido muito abordado nos últimos anos, onde o canal São Gonçalo constitui uma ligação importante entre o Brasil e o Uruguai. O principal motivo para a realização do presente trabalho foi analisar a possível variação da linha de costa, principalmente após a interferência antrópica no seu curso. Foi proposta uma escala decadal com a finalidade de observar possíveis modificações geomorfológicas desenvolvidas nestes períodos. Além disso, cogitou-se avaliar alguns parâmetros, como por exemplo, a variação de nível de água, em consequência da ocorrência de inundações, registrados nos últimos anos na cidade de Pelotas. Adicionalmente, em um curto prazo (de cerca de 2-3 anos), foi observado em campo uma significativa variação da linha de costa no Pontal da Barra, na praia do Laranjal em Pelotas, gerando a necessidade de investigações com maior resolução temporal e espacial.

1.6 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo está localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul - Brasil, compreende o canal São Gonçalo e suas proximidades, abrangendo a porção noroeste do estuário da Lagoa dos Patos (Fig. 1.3).

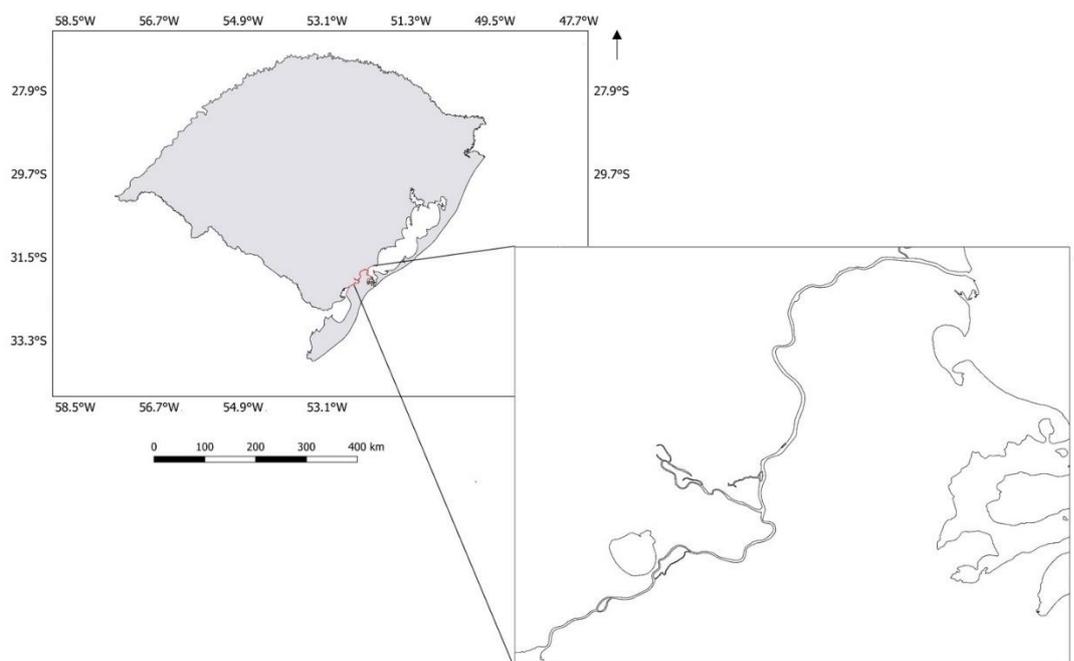


Figura 1.3 - Mapa do estado do Rio Grande do Sul – Brasil, destaca-se em vermelho a localização do canal São Gonçalo e suas adjacências (Modificado de IBGE, 2018).

1.7 GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

Conforme Villwock (1986) apud Villwock & Tomazelli (2007) a planície costeira do RS foi agrupada em Sistema de Leques Aluviais, Sistemas Lagunares Pleistocênicos e Holocênicos, Barreiras Pleistocênicas (Barreiras I, II, III) e Barreira Holocênica (Barreira IV). A região estudada está inserida sobre os Sistemas Lagunares Pleistocênicos/Holocênicos e pela Barreira Pleistocênica II (Fig. 1.4).

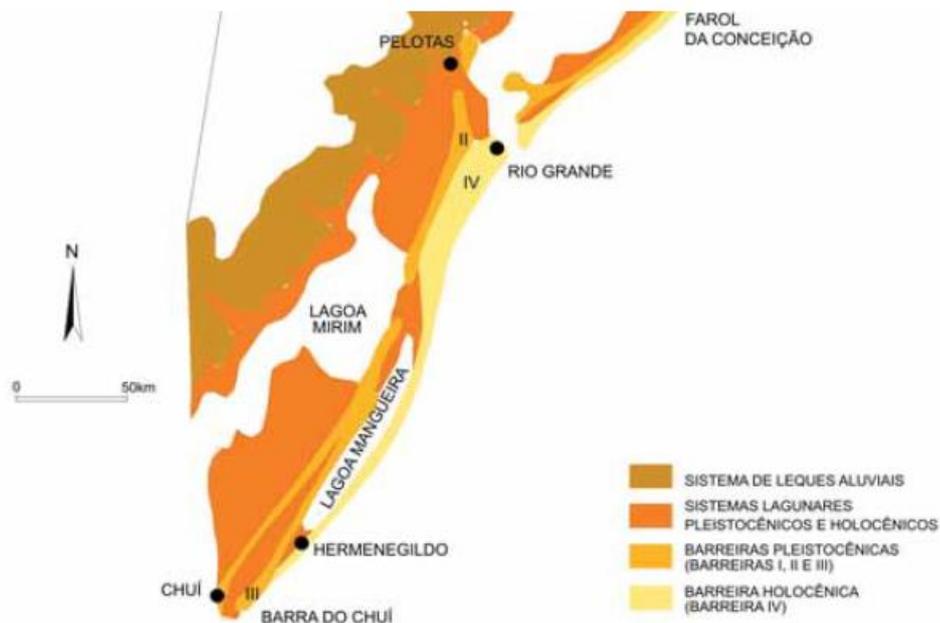


Figura 1.4 - Mapa da geologia da região sul do RS. A região de estudo correspondente é caracterizada pelos Sistemas Lagunares Pleistocênicos/Holocênicos e pela Barreira Pleistocênica II (Tomazelli et al. 2000 apud Villwock & Tomazelli, 2007).

De acordo com o mapa geológico de Wildner et al. (2006) diferentes tipos de depósitos de planícies sedimentares são observados ao longo do canal São Gonçalo. Ocorrem sedimentos pleistocênicos praias eólicos compostos por areia quartzosa fina, areia média-fina; sedimentos holocênicos, sedimentos de ambientes aluviais, caracterizados por areia grossa - fina, cascalho e siltico-argiloso; bem como materiais derivados de praias e de cristas lagunares compostas de areia quartzosa fina até muito fina. Também são observados materiais de ambiente lagunar, representado por areia siltico-argilosa. Além disso, turfas com presença de areia, silte e de argila, e ocasionalmente, verifica-se a presença de diatomito.

Segundo Vieira (1982), foram determinadas através da avaliação textural dos materiais do canal 8 fácies: arenosa, silto-argilosa, silto-arenosa, areno-síltica, argila-síltica, mista, síltica e argila-arenosa.

1.8 REFERENCIAL TEÓRICO

Na cidade de São Lourenço do Sul, Lemke (2015) pesquisou os fatores que acarretam no fechamento da desembocadura do Arroio Carahá. A autora registrou em um intervalo de 57 anos (1953-2010) a ocorrência de erosão de 1,4 metros por ano na parte norte da desembocadura, enquanto que na parte sul, foi analisada uma taxa média de progradação de 0,18 metros por ano.

Na praia do Laranjal na cidade de Pelotas, Fischer (2005) observou áreas de estabilidades, nas imediações do canal São Gonçalo até o trapiche. No entanto, a autora cita que o recuo em um determinado ponto poderia acontecer, devido principalmente a alta dinâmica gerada naquele local, nas adjacências do canal SG. Já, entre os Balneários Valverde e Santo Antônio, a autora analisou áreas de acumulação de sedimentos, bem como áreas estáveis (Fischer, 2005).

Foram quantificados valores da linha de costa na Ilha da Torotama, localizada na cidade de Rio Grande. De acordo com Leal et al. (2013) os autores analisaram uma porção da ilha referente ao Saco do Boto, através de fotografias aéreas de 1975 e de imagem de satélite (*Quickbird*) do ano de 2009, onde foi registrado, por meio da utilização do método Polígono de Mudança, uma taxa de erosão de 0,27 metros por ano.

Antiqueira et al. (2003) registrou a existência de um pontal arenoso localizado na porção interna do molhe leste na cidade de Rio Grande. O pontal apresenta uma estrutura semelhante com aquela encontrada em locais de ocorrências de mesomaré. Conforme os autores, o pontal desenvolveu-se no ano de 1918, atingindo 427 metros para a direção NW e 304,5 metros para N-S no ano de 2003. O mesmo pontal arenoso, localizado na parte interior do molhe leste (em Rio Grande), foi monitorado por Lisboa et al. (2015). Os autores observaram entre os anos de 2004 a 2012 uma modificação da área do pontal arenoso, onde foi registrada a ocorrência de erosão nas partes mais ao sul e central, no entanto, foi observada acreção na porção mais ao norte (Lisboa et al. 2015).

A análise da morfodinâmica da embocadura da Lagoa do Peixe foi elaborada por Schossler (2011), onde foi utilizada imagens Landsat adquiridas entre os anos de 1973 a 2009. Nos anos de 1997-1998, foram medidos valores elevados de precipitação anual acima do normal para o local, durante estes anos o canal abriu naturalmente. A autora constatou nas proximidades do Parque Nacional da Lagoa do Peixe uma variação da linha de praia, onde na porção norte do canal, registrou-se progradação, entretanto ao sul da estrutura do canal, foi observada ocorrência de retrogradação.

2 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho foi agrupada em três etapas. A primeira parte consistiu na realização de visitas a bibliotecas e acessos a catálogos de instituições de pesquisa para a obtenção de materiais. A segunda parte foi composta de aquisições de dados de campo e de processamentos. Por fim, a terceira etapa compreendeu no processo de interpretação dos resultados e obtenção de informações adicionais.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E VISITAS EM BIBLIOTECAS/ACERVOS

As etapas iniciais basearam-se em pesquisas bibliográficas, com a finalidade de uma maior compreensão sobre as ferramentas a serem empregadas, da mesma maneira, a busca de informações sobre a área de estudo. Foram realizadas visitas em acervos/bibliotecas, com o intuito de buscar materiais disponíveis, tal como fotografias aéreas, assim como outros documentos adicionais.

As fotografias aéreas foram obtidas num acervo, enquanto que as imagens de satélites, foram adquiridas através de *sites*. Outras referências adicionais foram obtidas nas bibliotecas da FURG, UFPel e nos acervos da Prefeitura de Pelotas e do Porto de Pelotas.

No acervo do Porto foi adquirida uma planta da Barra do Canal São Gonçalo, referente ao ano de 1886, com escala de 1:5.000 (Fig. 2.1). Nela, é possível analisar que a embocadura do canal SG apresenta uma morfologia bastante distinta da observada atualmente, especialmente na margem do canal, na região do Pontal da Barra, na praia do Laranjal - Pelotas.

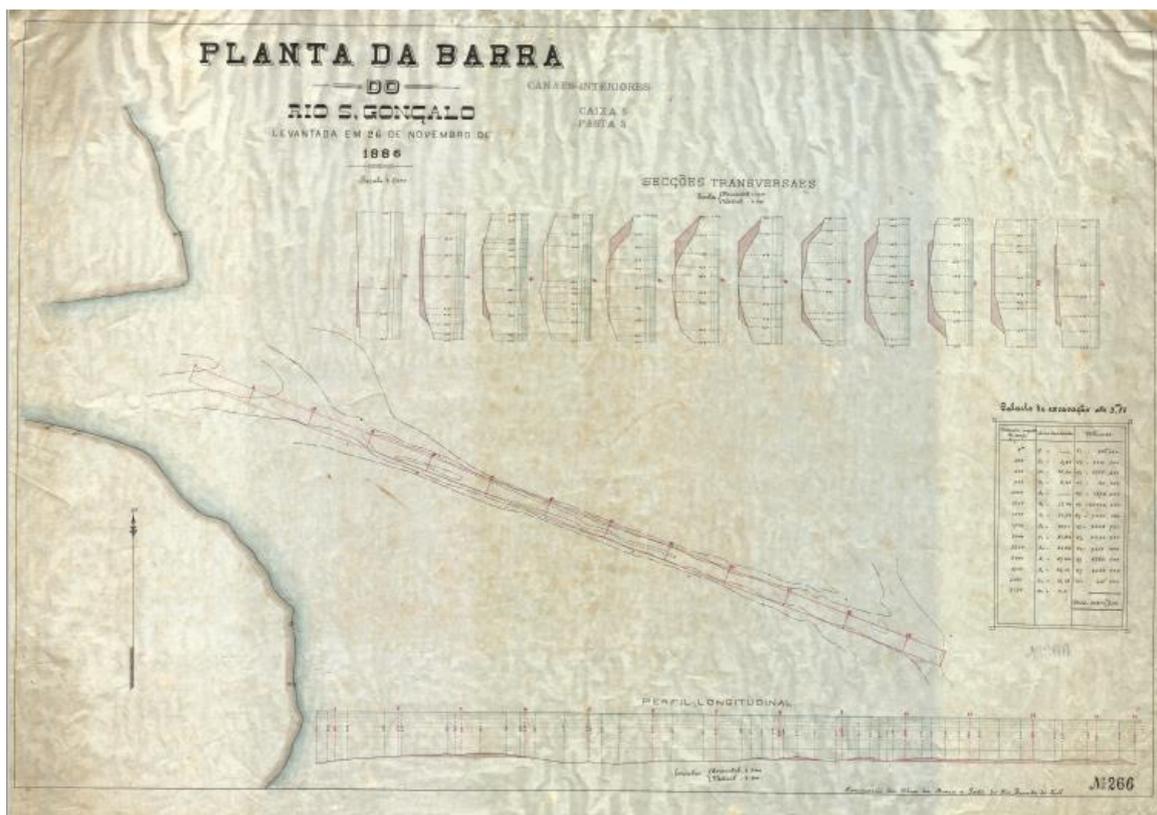


Figura 2.1 - Planta da Barra do Canal São Gonçalo do ano de 1886, escala 1:5.000 (Fonte: Acervo do Porto de Pelotas).

2.2 FOTOGRAFIAS AÉREAS

As fotografias aéreas foram os principais registros empregados para avaliar as alterações morfológicas ocorridas em anos anteriores a década de 70, visto que a imagem de satélite Landsat mais antiga da área é relativa ao ano de 1973.

As fotografias aéreas foram adquiridas na biblioteca da Agência da Lagoa Mirim, são referentes aos aerolevantamentos dos anos de 1953, 1964 e 1974, com escalas de 1:40.000, 1:60.000 e 1:20.000, respectivamente. As cento e cinco fotografias aéreas foram digitalizadas em resolução de 1200 dpi por meio de um scanner convencional.

2.2.1 IMAGENS DE SATÉLITES

As imagens dos satélites Landsat foram adquiridas por intermédio do catálogo de imagens disponibilizadas no *site* do INPE. Para a escolha das imagens foram adicionados os parâmetros básicos como: tipo de satélite, intervalo de tempo, a localização, entre outras características (INPE, 2017).

Para o desenvolvimento do banco de dados utilizaram-se sete imagens de satélite da série Landsat; 1, 2, 5, 7 e 8, capturadas por diferentes sensores, como o MSS (*Multispectral Scanner Subsystem*), TM (*Thematic Mapper*), ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e OLI/TIRS (*Operation Land Imager/Thermal Infrared Sensor*). Durante a aquisição buscou-se selecionar as imagens com ausência de nebulosidade.

Foram analisadas imagens capturadas nos anos de 1973, 1975, 1980, 1990, 2003, 2010 e 2017, a fim de monitorar e detalhar a evolução do canal São Gonçalo e suas proximidades ao longo deste intervalo de tempo.

Para a avaliação detalhada dos processos geomorfológicos foi analisada uma série histórica de imagens disponíveis do Google Earth Pro, principalmente da região do Pontal da Barra, na praia do Laranjal (Pelotas) e da Ponta do Silveira (Rio Grande), referentes aos anos de 2011 até 2017. Já, para a estimativa das áreas do banco arenoso, localizado na embocadura do canal São Gonçalo, na margem pertencente a cidade de Rio Grande, analisaram-se as imagens referentes aos meses de dezembro dos anos de 1984 até 2017.

2.2.2 PROCESSAMENTO

De acordo com Moreira (2011) os pontos adquiridos por meio do GPS precisam ser bem estabelecidos e evidentes nas imagens de satélite, entretanto é necessária a ida ao campo para adquirir os dados, enquanto o georreferenciamento através de cartas topográficas ou por intermédio de outra imagem não precisa de deslocamento.

Foram pré-determinados os pontos de controle que deveriam ser adquiridos em campo através de GPS. Os pontos foram escolhidos baseados em cruzamentos de estradas e em pontes observados na imagem de satélite mais antiga (do ano de 1973).

Para a aquisição dos pontos de controle realizaram-se três saídas de campo, as coletas de informações foram adquiridas por meio da utilização do GPS Garmin Etrex. No final da fase de campo, foram obtidos dezessete pontos ao longo da área de estudo (Apêndice 8.0).

Na etapa de processamento, as imagens em formato TIF foram importadas no *software* livre QGIS 2.18.13 (QGIS, 2017). Para o procedimento de georreferenciamento foi empregado o Datum WGS 1984.

Inicialmente, para a criação de um banco de dados, a imagem de satélite com maior resolução (referente ao ano de 2017) foi georreferenciada, onde foram atribuídas as coordenadas dos dezessete pontos coletados no campo através de GPS.

Infelizmente, devido a presença de erros com valores elevados, especificamente em três pontos, os mesmos foram excluídos. Em consequência disso, totalizou-se o georreferenciamento com quatorze pontos válidos. O modelo polinomial de segunda ordem foi utilizado para transformação, com reamostragem linear.

A imagem do ano de 2017 foi referência para a adição dos pontos no registro das outras seis imagens históricas (dos anos de 1973 até 2010), com a adição de mais de quarenta pontos de amarração entre as imagens, com o objetivo de abranger toda a área de estudo e aprimorar a sobreposição das mesmas. Salienta-se que o erro médio total resultou em valores sempre menores que 1.

Posteriormente, para o mapeamento da linha de costa empregaram-se as bandas do Infravermelho Próximo (NIR). Foram empregadas as bandas 6 e 7 do satélite Landsat 1 e 2; a banda 4 dos satélites Landsat 5 e 7; e a banda 5 do Landsat 8, assim como as outras bandas disponíveis do satélite para validação dos resultados adquiridos. Os materiais utilizados para o desenvolvimento da dissertação compreendendo todas as informações relacionadas às fotografias aéreas e as imagens de satélites, assim como as respectivas datas de aquisições e outras características encontram-se no Apêndice (8.1).

Neste trabalho foi realizada a delimitação da interface entre a costa e a água. Na categoria *shapefile* escolheu-se o modo de 'linha' para a representação da vetorização. Todas as imagens foram vetorizadas manualmente, assim os pontos selecionados criaram os formatos de linhas/contornos representando a interface água-costa ao longo de toda a área de pesquisa. Estas vetorizações registradas em diferentes anos sobrepostas permitiram comparar as variações ocorridas neste espaço de tempo.

As regiões que apresentaram modificações foram estimadas, através da sobreposição de duas linhas vetorizadas, ou seja, foi sobreposta a imagem mais antiga com a imagem mais atual. No espaçamento entre os contornos vetorizados, foi traçada uma linha perpendicular, estimando os valores de erosão e de acreção de cada ponto.

Dessa forma, calcularam-se os comprimentos (em metros) e as áreas (em metros quadrados) onde exibiram alterações significativas por meio das ferramentas fornecidas pelo *software*.

2.3 AVALIAÇÃO DOS AGENTES DINÂMICOS

Os agentes dinâmicos podem influenciar na alteração da morfologia da linha de costa. Com o intuito de observar estes fatores foram interpretados dados de níveis das águas, de ventos, além disso, de precipitação e dos fenômenos La Niña e El Niño. Estas informações foram compiladas em uma planilha eletrônica com o propósito de geração de gráficos.

2.3.1 NÍVEIS D'ÁGUA

A Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM) fornece informações de níveis de água do canal São Gonçalo, disponibilizadas no seu *site*. São dados históricos de medições registrados tanto à montante quanto à jusante da obra. Os registros foram coletados na estação da barragem eclusa, desde 1979 até 2016. Nos anos iniciais de coleta, os níveis de água do canal apresentaram medições em diferentes horas do dia, por consequência deste padrão, foi calculada uma média diária dos valores medidos à montante e à jusante da obra.

Já, para os níveis de água da Lagoa dos Patos, foram adquiridos através do acervo de dados disponíveis no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA). Avaliaram-se os níveis coletados na estação do Laranjal, medidos desde os anos de 1984 até o ano de 2017.

Os níveis de água da Lagoa Mirim foram obtidos por meio do acervo de medições da ALM, os valores encontram-se disponíveis no *site* da agência. Analisaram-se os níveis coletados na estação de Santa Vitória do Palmar, referentes aos anos de 1978 até o ano de 2013. No entanto, verificaram-se ausências de informações nos anos de 1991 e de 2011, em consequência de as planilhas de valores apresentarem informações repetidas do ano anterior.

Nos anos iniciais de coleta, os níveis de água da Lagoa Mirim apresentaram medições uma vez ao dia. Entretanto a partir do ano de 2004, os dados foram coletados

quatro vezes ao dia, em decorrência disso, foram realizadas médias diárias dos dados medidos.

Finalmente, foi elaborado um gráfico com os valores para cada corpo hídrico, com o objetivo de auxiliar no entendimento das variáveis coletadas. Na planilha, foram calculadas as médias móveis e as médias lineares, para auxiliar na interpretação das mudanças ocorridas. As informações de níveis são importantes porque podem impedir uma possível interpretação errônea da largura das estruturas arenosas.

2.3.2 VENTOS

A Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM), da mesma maneira dispõe no *site* as informações referentes às direções dos ventos. No entanto, as medições obtidas foram referentes aos anos de 2000 até 2016. Visto que estes dados abrangem um curto período, optou-se pela aquisição de informações em uma estação próxima.

Dessa forma, foram adquiridos dados disponibilizados no *site* do Laboratório de Agrometeorologia (AGROMETEOROLOGIA, 2017). Por meio deste, obtiveram-se as direções predominantes dos ventos coletadas na estação Agroclimatológica do Capão do Leão – RS, medidos nos intervalos de 1971 até 2000 e por fim, no ano de 2017. Além disso, adquiriu-se a velocidade máxima dos ventos, registrados entre os anos de 2000 a 2017. Com base nestes dados, foram elaboradas rosas dos ventos e diagramas por meio da utilização do programa WRPlot (Apêndice 8.2.0 - 8.2.17).

2.3.3 PRECIPITAÇÃO

Com o intuito de avaliar a influência da precipitação, foi obtida uma série histórica, disponibilizada no *site* do Laboratório de Agrometeorologia. A coleta abrange os anos de 1971 até 2017, medidos na estação Agroclimatológica do Capão do Leão – RS.

Adicionalmente, foram analisados dados históricos de precipitação adquiridos na região da Lagoa Mirim, os valores foram obtidos no *site* da ALM. A série histórica foi coletada na estação da cidade de Santa Vitória do Palmar, entre os anos de 1978 até 2013. Entretanto, foi registrada a ocorrência de valores repetidos, especificamente nos anos de

1991 e de 2011, em função das planilhas dos referidos anos exibirem valores do ano antecedente.

2.3.4 LA NIÑA E EL NIÑO

Com a finalidade de observar a duração de cada fenômeno de La Niña e de El Niño, foi acessado o *site* da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Por meio deste *site*, foi possível analisar as durações e as intensidades de cada fenômeno referentes aos anos de 1950 até o ano de 2017.

3 RESULTADOS

O monitoramento evidenciou possivelmente pequenas modificações nas margens do canal SG, entretanto estas alterações ficam abaixo da resolução atingida por este estudo. Portanto, não houve alteração significativa do curso do canal ao longo dos anos observados (Apêndices 8.3.1 - 8.3.7), exceto aquelas relacionadas a barragem eclusa. Provavelmente, as alterações nas margens do canal são devidas às pequenas intervenções antrópicas, sendo a mais significativa a construção do dique (construído na barragem eclusa).

Por outro lado, variações geomorfológicas significativas foram observadas na embocadura do canal São Gonçalo, nas proximidades da Lagoa dos Patos. Os dois subcapítulos subsequentes irão enfatizar as zonas onde foram observadas as mais significativas alterações geomorfológicas, indicadas na Fig. 3.1. As letras A, B e C detalham as seguintes variações: letra A) o desenvolvimento de um pontal arenoso na praia do Laranjal, letra B) do outro lado do canal, na margem pertencente a cidade de Rio Grande, registrou-se acreção/erosão de margens, bem como a deposição de um banco arenoso e a letra C) caracteriza a terceira variação de interesse, onde foi observada a evolução geomorfológica de um esporão arenoso na Ponta do Silveira, em Rio Grande.



Figura 3.1 - Localização das variações geomorfológicas significativas analisadas na embocadura do canal São Gonçalo. A letra A) observa-se o desenvolvimento de um pontal arenoso na região do Pontal da Barra na praia do Laranjal, B) acreção/erosão de margens e registro de um banco arenoso na margem sul do canal e a letra C) apresenta o monitoramento do esporão arenoso na Ponta do Silveira em Rio Grande.

O monitoramento da linha de costa demonstrou frequentes modificações na localidade do Pontal da Barra, na praia do Laranjal, em Pelotas (Apêndice 8.4). Possivelmente, resultantes da interação entre a hidrodinâmica do canal São Gonçalo e da Lagoa dos Patos.

A comparação dos contornos da linha de costa obtidos por meio das fotografias aéreas referentes aos anos de 1953 a 1964, mostram a ausência de alteração significativa nas margens do canal e na região do Pontal da Barra durante este intervalo de tempo específico. Portanto, com base nas fotografias aéreas de 1953 e de 1964 podem ser confirmadas as alterações morfológicas visualizadas no Pontal da Barra, em relação a presente configuração. Exibe-se a fotografia aérea adquirida no ano de 1964, na embocadura do canal São Gonçalo nas adjacências da Lagoa dos Patos, onde pode ser observada a ausência do pontal arenoso (Fig. 3.2).

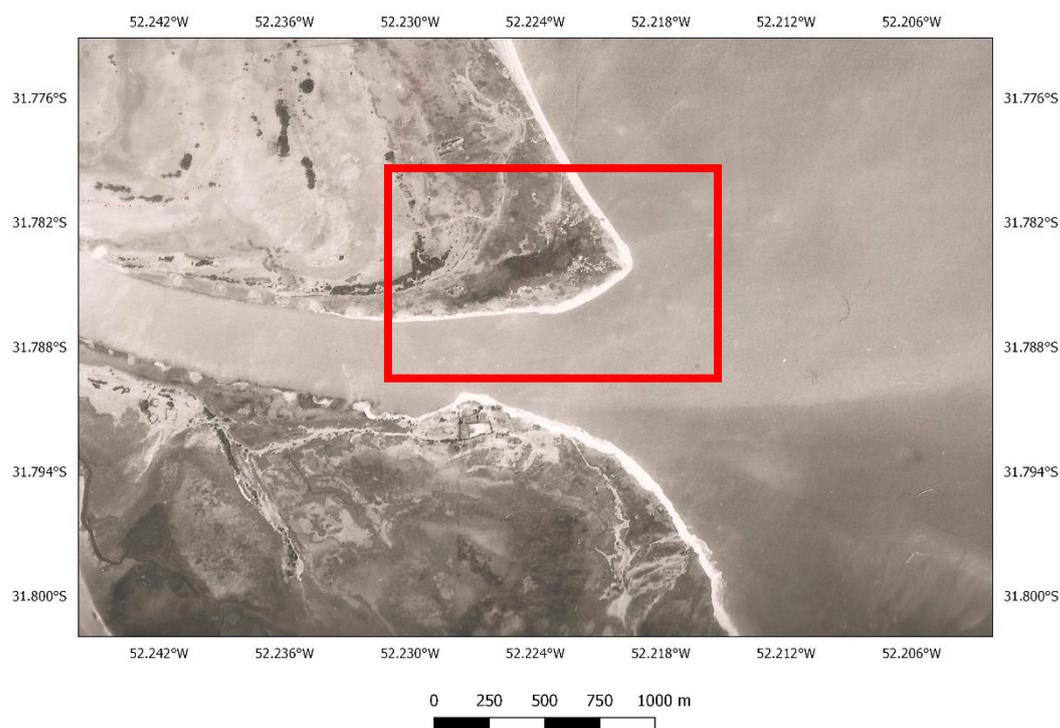


Figura 3.2 - Fotografia aérea do ano de 1964 da embocadura do canal São Gonçalo, nas proximidades da Lagoa dos Patos, apresentando a ausência do pontal arenoso (Fonte: Acervo da Agência da Lagoa Mirim).

Por outro lado, nas imagens de satélites atuais é identificada a área de acreção na região do Pontal da Barra. Entretanto, esta feição não é observada em fotografias aéreas das décadas de 50 e 60, como mencionado anteriormente, corroborando a observação de que o evento de deposição, ocorreu posteriormente aos anos citados. Presume-se que na

década de 70, as variações das margens do canal SG e do Pontal da Barra foram mínimas, sugerindo que não houve correlação entre a construção da barragem eclusa e as modificações morfológicas analisadas.

O monitoramento decadal com base em imagens de satélite Landsat proporcionou observar o desenvolvimento das duas estruturas arenosas registradas na área. Na imagem adquirida do ano de 1990, é visível a acumulação de sedimentos na margem na localidade do Pontal da Barra, ilustrado na Fig. 3.3, pela letra A. Adicionalmente neste local, analisa-se uma geometria da linha de costa mais pontiaguda. Na margem pertencente a cidade de Rio Grande, visualiza-se um banco arenoso na foz do canal SG, representado pela letra B. Além disso, na porção sul, na Ponta do Silveira, localiza-se o esporão arenoso, destacado com a letra C.

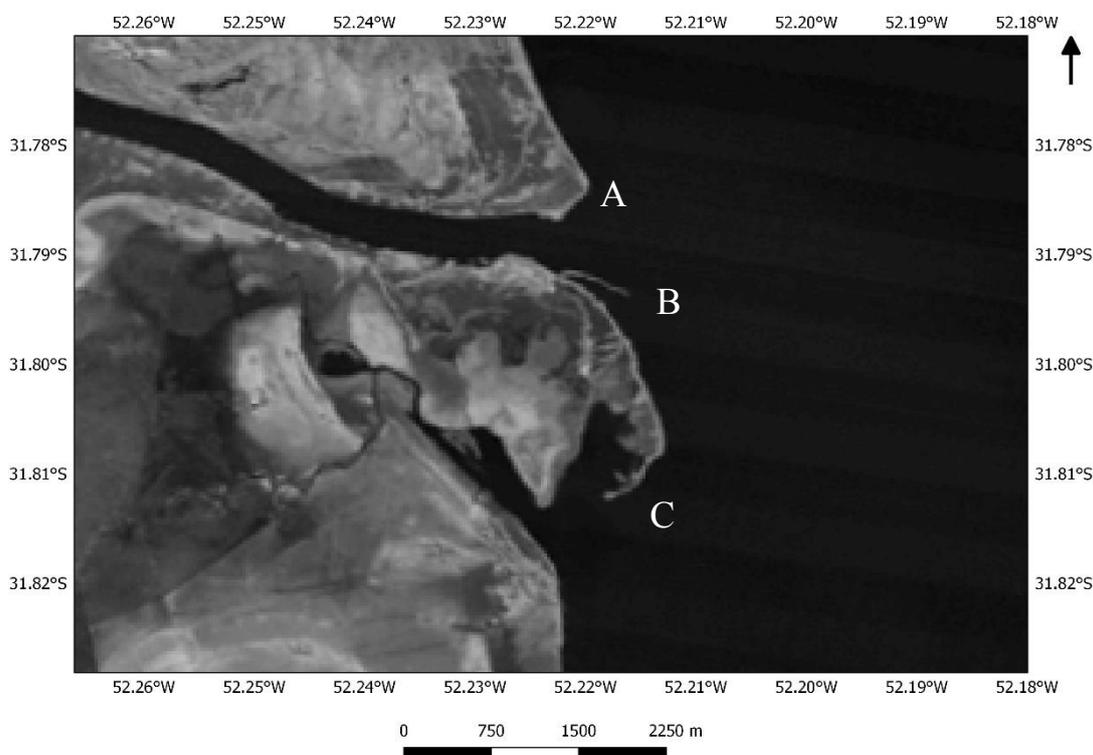


Figura 3.3 - Imagem de satélite do Landsat 5, imageada no ano de 1990 (Fonte: Modificado de INPE). É possível observar a deposição de sedimentos na localidade do Pontal da Barra, ilustrado com a letra A. Além disso, visualiza-se na porção de Rio Grande, um banco arenoso na foz do canal representado pela letra B. Na região da Ponta do Silveira, ao sul da embocadura, localiza-se o esporão arenoso, destacado com a letra C.

Com base na imagem do ano de 2003, observou-se o constante crescimento do pontal arenoso (em comparação com a imagem do ano de 1990), ilustrado com a letra A,

na Fig. 3.4. Por outro lado, o banco arenoso na margem pertencente a cidade de Rio Grande, representado pela letra B, apresenta-se modificado, com direção de deslocamento para a Lagoa dos Patos. Continuamente, na Ponta do Silveira, analisa-se o crescimento do esporão arenoso para a direção SW (destacado pela letra C).

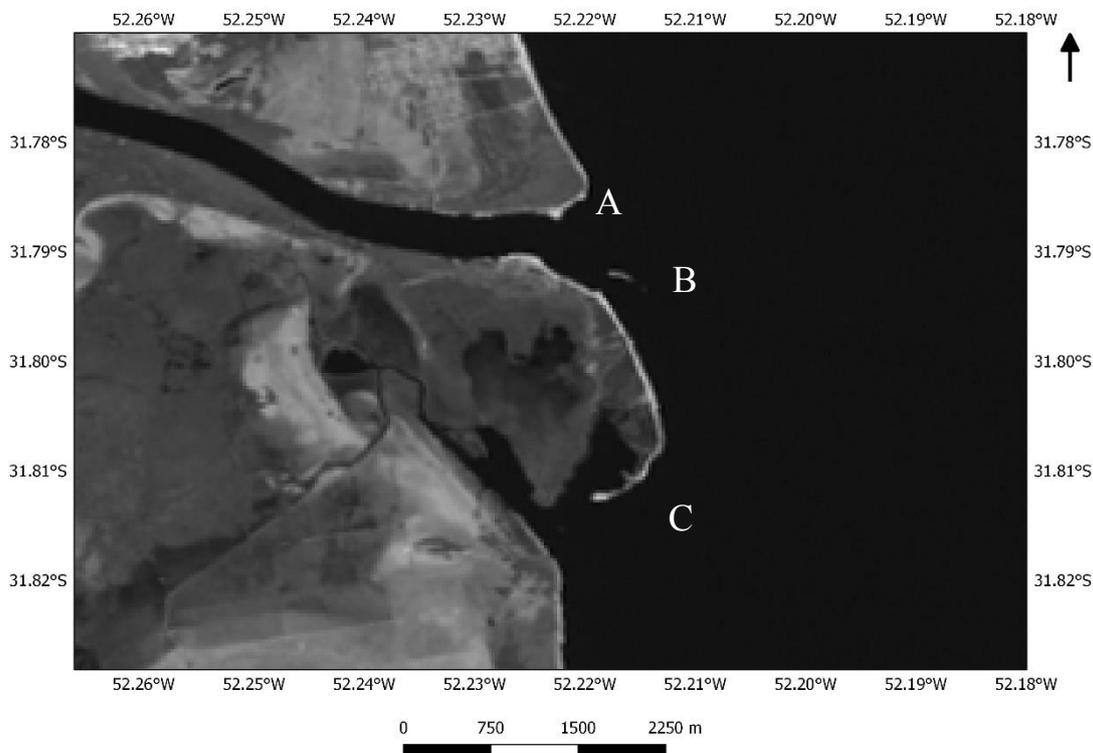


Figura 3.4 - Imagem de satélite Landsat 7 adquirida no ano de 2003 (Fonte: Modificado de INPE). Registra-se o contínuo crescimento do pontal arenoso ilustrado com a letra A. No entanto, a letra B marca uma diminuição da área do banco arenoso. Por outro lado, na Ponta do Silveira, observa-se o crescimento do esporão arenoso principalmente para a direção SW (letra C).

Na Figura 3.5, imagem avaliada do ano de 2010, ocorre o contínuo desenvolvimento do pontal (letra A). No entanto, destaca-se a redução da área do banco arenoso representado pela letra B. Por outro lado, é possível visualizar o crescimento acelerado do esporão arenoso situado na Ponta do Silveira para a direção SW, ilustrado pela letra C.

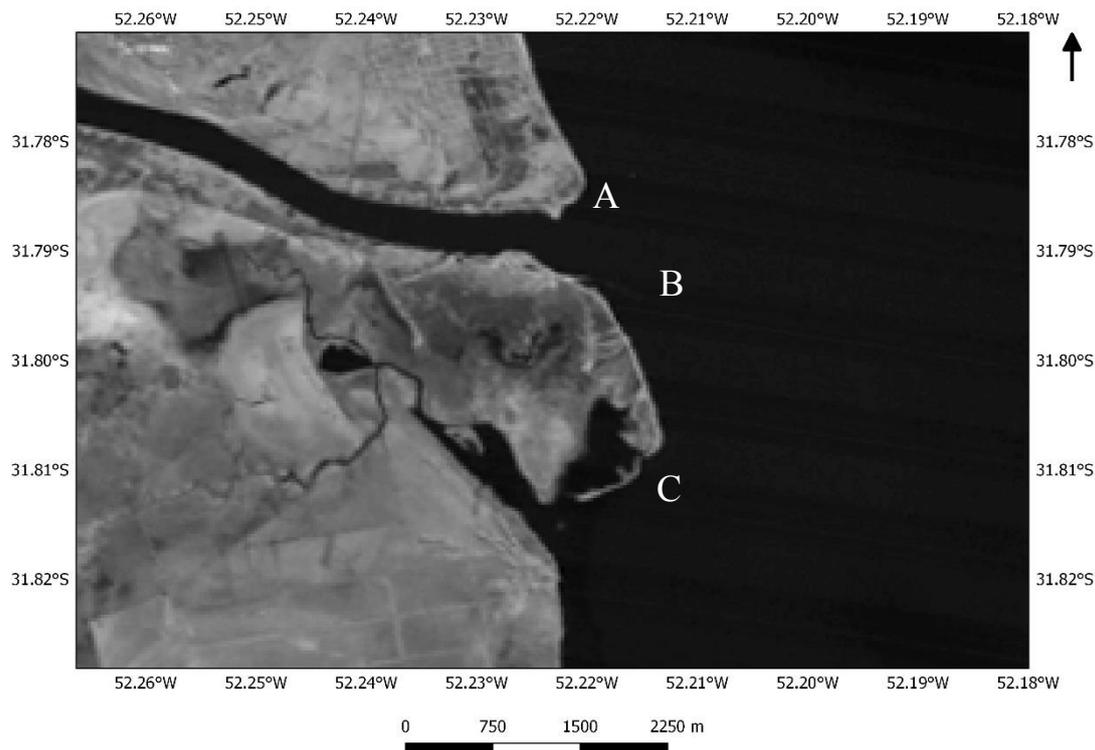


Figura 3.5 - Imagem de satélite Landsat 5 coletada no ano de 2010 (Fonte: Modificado de INPE). Ocorre o contínuo desenvolvimento do pontal arenoso representado pela letra A. Entretanto, observa-se a redução da área do banco arenoso (ilustrado pela letra B). Por outro lado, é visível o crescimento acelerado do esporão arenoso situado na Ponta do Silveira para a direção SW, retratado pela letra C.

Entre os anos de 2010 a 2017, notaram-se pontos de erosão da linha de costa nas proximidades da via de acesso ao Pontal da Barra, especificamente na Av. Dr. Antônio Augusto de Assunção (Fig.3.6). O recuo da linha de costa estimado entre os anos foi de aproximadamente 1,07 metros por ano.



Figura 3.6 - Via de acesso ao pontal arenoso, Av. Dr. Antônio Augusto de Assunção, fotografia obtida no início do ano de 2018 (Fonte: Acervo da autora).

Na imagem do ano de 2017 (Fig. 3.7) diagnosticou-se o contínuo avanço do pontal arenoso para dentro do canal São Gonçalo (ilustrado pela letra A). Nesta região também é possível observar uma alteração do formato pontiagudo analisado na imagem do ano de 1990, na Figura 3.3. Por outro lado, observa-se novamente a ausência do banco arenoso (representado pela letra B). Analisando a mesma região, é visível na margem pertencente a localidade de Rio Grande, a ocorrência de transporte de sedimentos para a direção da Lagoa dos Patos. Por outro lado, analisa-se na região do esporão arenoso uma modificação do seu formato, caracterizado pela letra C na imagem.

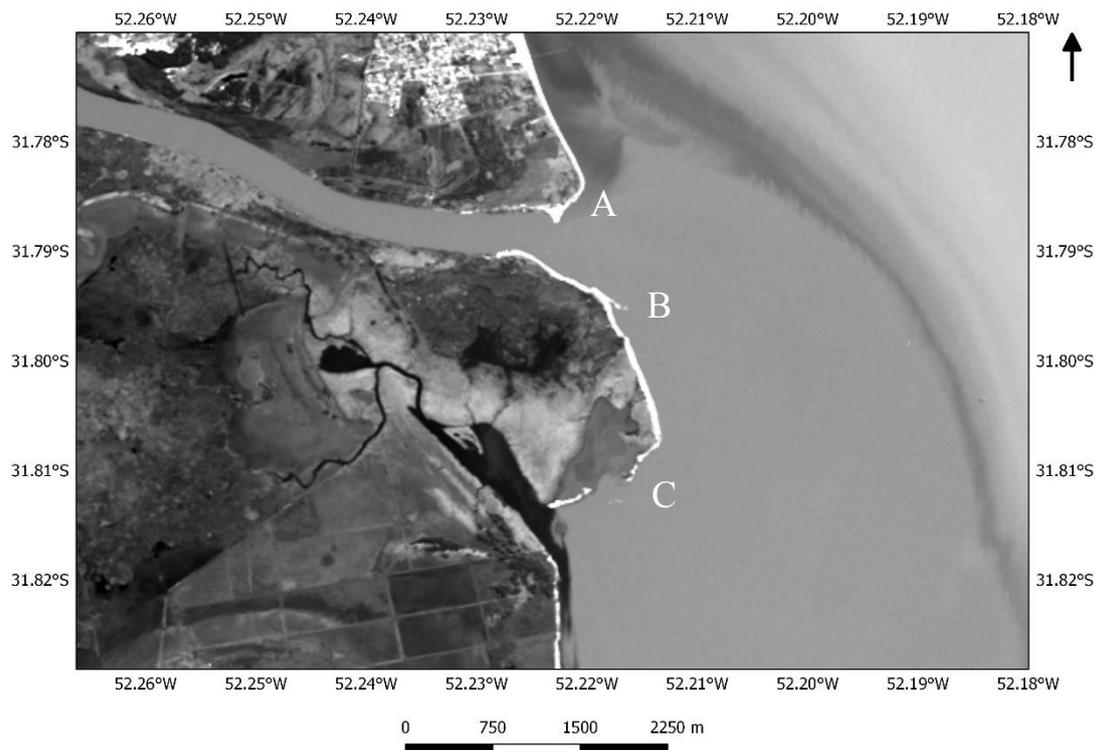


Figura 3.7 - Imagem de satélite Landsat 8, adquirida no período de 2017 (Fonte: Modificado de INPE). Na região da letra A foi observado o constante aumento do pontal arenoso principalmente para o interior do canal São Gonçalo. Registrou-se novamente a ausência do banco arenoso (letra B), além disso neste local também é possível observar a ocorrência de transporte de sedimentos para a direção da laguna. Enquanto na região do esporão arenoso, na Ponta do Silveira, foi registrada uma alteração da sua geometria ilustrado pela letra C.

Sucintamente, através da observação das imagens Landsat verificou-se a presença de uma acreção significativa na porção leste, entre o canal SG e o Pontal da Barra, registrada nas imagens de satélite de 1990, assim como nas imagens de 2003 e de 2010. A estrutura permanece avançando para o interior do canal São Gonçalo, resultando assim na formação de uma estrutura arenosa onde no ano de 2017 atingiu uma dimensão máxima com 133 metros (Fig. 3.8).

Da mesma forma, do outro lado do canal SG, identificou-se acreção na margem pertencente à cidade de Rio Grande, de aproximadamente 0,4 metros por ano. Por outro lado, foram estimados locais de erosão de cerca de 0,8 metros por ano.

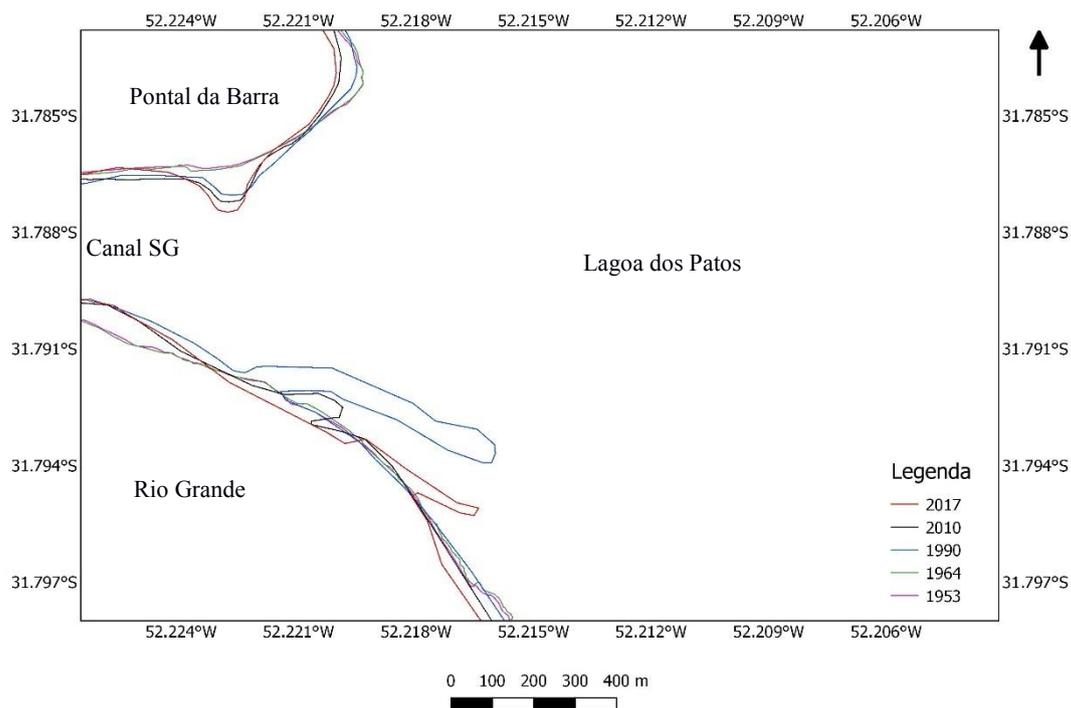


Figura 3.8 - Desenho ilustrativo da variabilidade da linha de costa ocorrida na foz do canal São Gonçalo, nas proximidades da laguna, ao longo de 64 anos.

3.1 MODIFICAÇÕES NA EMBOCADURA DO CANAL SG, MARGEM PERTENCENTE A CIDADE DE PELOTAS

Um detalhamento anual das variações da linha de costa na margem pertencente à cidade de Pelotas foi realizado no presente trabalho, analisando uma série de imagens capturadas em um curto intervalo de tempo, disponíveis entre os anos de 2011 até 2017 (Fig. 3.1.1).

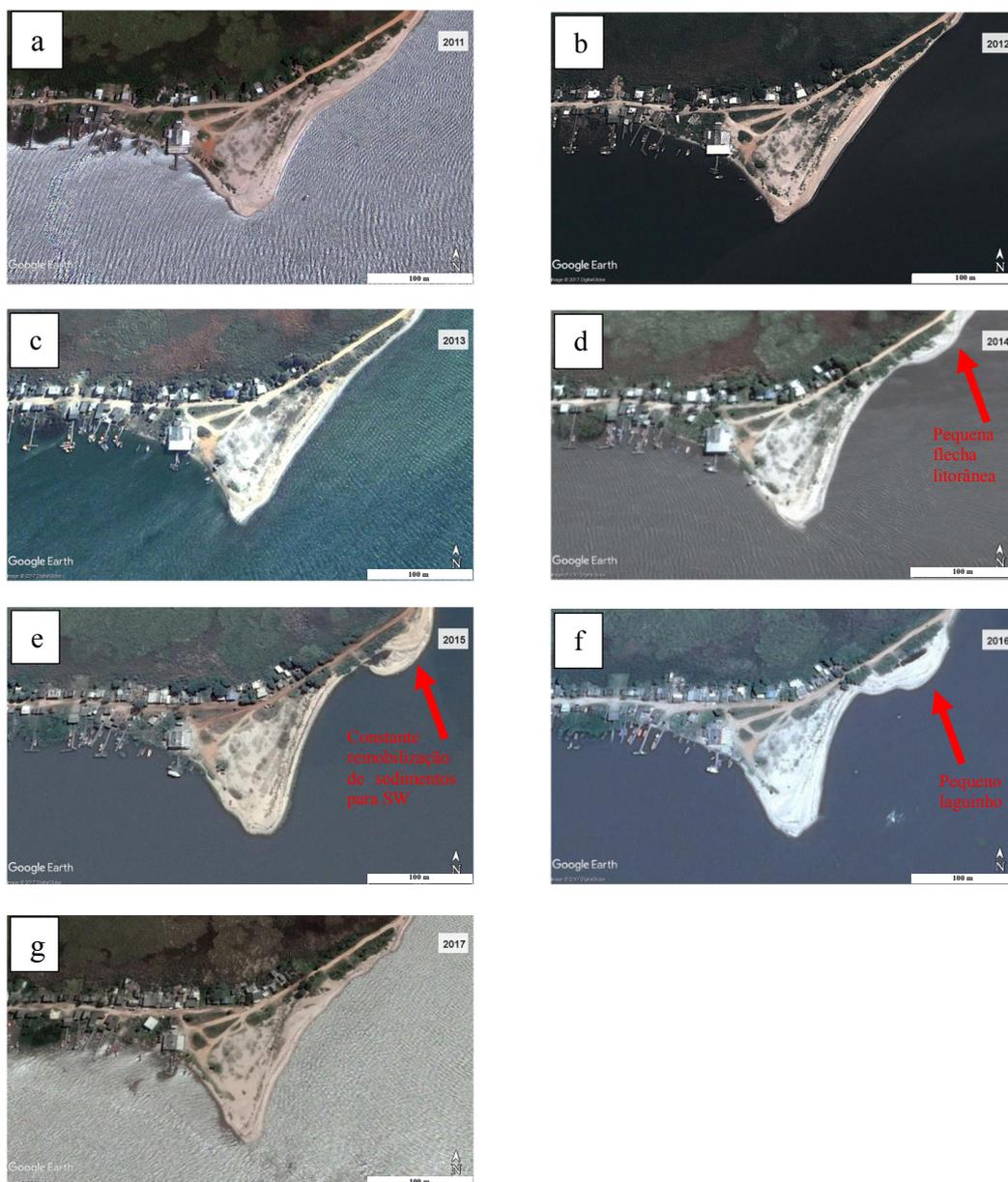


Figura 3.1.1 - Imagens históricas adquiridas entre os anos de 2011 a 2017, a) 2011, b) 2012, c) 2013, d) 2014, e) 2015, f) 2016 e g) 2017, mostrando a variação ocorrida na região do Pontal da Barra, localizado na praia do Laranjal. Escala: 100 metros. (Fonte: Modificado de Google Earth, DigitalGlobe).

A primeira imagem da série histórica foi adquirida no ano de 2011 (Fig. 3.1.1A). Com base nesta imagem, é possível observar, uma geometria curvilínea na parte leste do pontal arenoso.

Já na imagem do ano de 2012, em um curto período, o formato do pontal mostra-se modificado, com uma geometria mais retilínea (Fig. 3.1.1B). Ainda, é visível uma acreção na ‘ponta’ da feição arenosa, com deposição de sedimentos na direção preferencial SW, ou seja, para o interior do canal SG. Estas variações são visualizadas também na imagem adquirida do ano de 2013 (Fig. 3.1.1C).

Na imagem do ano de 2014, observa-se uma alteração no formato do pontal arenoso (Fig. 3.1.1D), anteriormente com geometria retilínea passando para um formato mais curvilíneo, com direção preferencial para a Lagoa dos Patos (sudeste). Outra característica evidenciada nesta imagem é a presença de uma pequena flecha litorânea, migrando em direção sudoeste (localizada na parte superior direita da imagem). Da mesma forma, na imagem do ano de 2015, observa-se a constante remobilização de sedimentos para a direção sudoeste (Fig. 3.1.1E). Cogita-se que este aporte de materiais sedimentares irá ocasionar no confinamento de um pequeno corpo de água (“laguinho”).

Consequentemente, na imagem obtida do ano de 2016, visualiza-se a formação de um lagamar, resultado da movimentação de um elevado aporte sedimentar (Fig. 3.1.1F). Além disto, chama-se atenção pela dinâmica sedimentar atuante nesta área, devido principalmente ao alto suprimento de sedimentos provenientes da direção nordeste. Verifica-se também uma taxa de erosão no pontal arenoso, que resultou no afinamento da feição, na porção oeste e na parte leste da estrutura arenosa, com a concomitante deposição de sedimentos na ‘ponta’ do esporão, resultando na extensão da estrutura na direção sudoeste, com uma acreção de aproximadamente 6 metros de sedimentos para o interior do canal São Gonçalo.

Da mesma maneira, na imagem do ano de 2017, documenta-se a movimentação do banco arenoso para a direção sudoeste. No entanto, em consequência da constante remobilização de sedimentos, ocorre o desaparecimento do “laguinho” (Fig. 3.1.1G). No mesmo ano, em virtude do alto suprimento de sedimentos depositados na região do pontal arenoso, registrou-se um aumento de sua largura principalmente na parte leste da estrutura arenosa. Além disso, analisou-se um avanço de deposição de sedimentos para o interior do canal SG, estimou-se uma extensão do pontal arenoso de cerca de 12 metros.

Destaca-se a denominada ‘ponta SW’, a feição corresponde a um elevado aporte de sedimentos, que permanece depositando-se para o interior do canal São Gonçalo. A estrutura arenosa pode ser visualizada em campo (Fig. 3.1.2).



Figura 3.1.2 - Foto da denominada ‘Ponta SW’: Aporte de sedimentos avançando para o interior do canal São Gonçalo. Fotografia adquirida no mês de junho do ano de 2018 no pontal arenoso localizado no Pontal da Barra, Laranjal (Fonte: Acervo da autora).

O monitoramento dos processos deposicionais na localidade do Pontal da Barra, favoreceu no entendimento da dinâmica local, indicando a ocorrência de remobilização de sedimentos predominantemente para a direção sudoeste (Fig. 3.1.3).

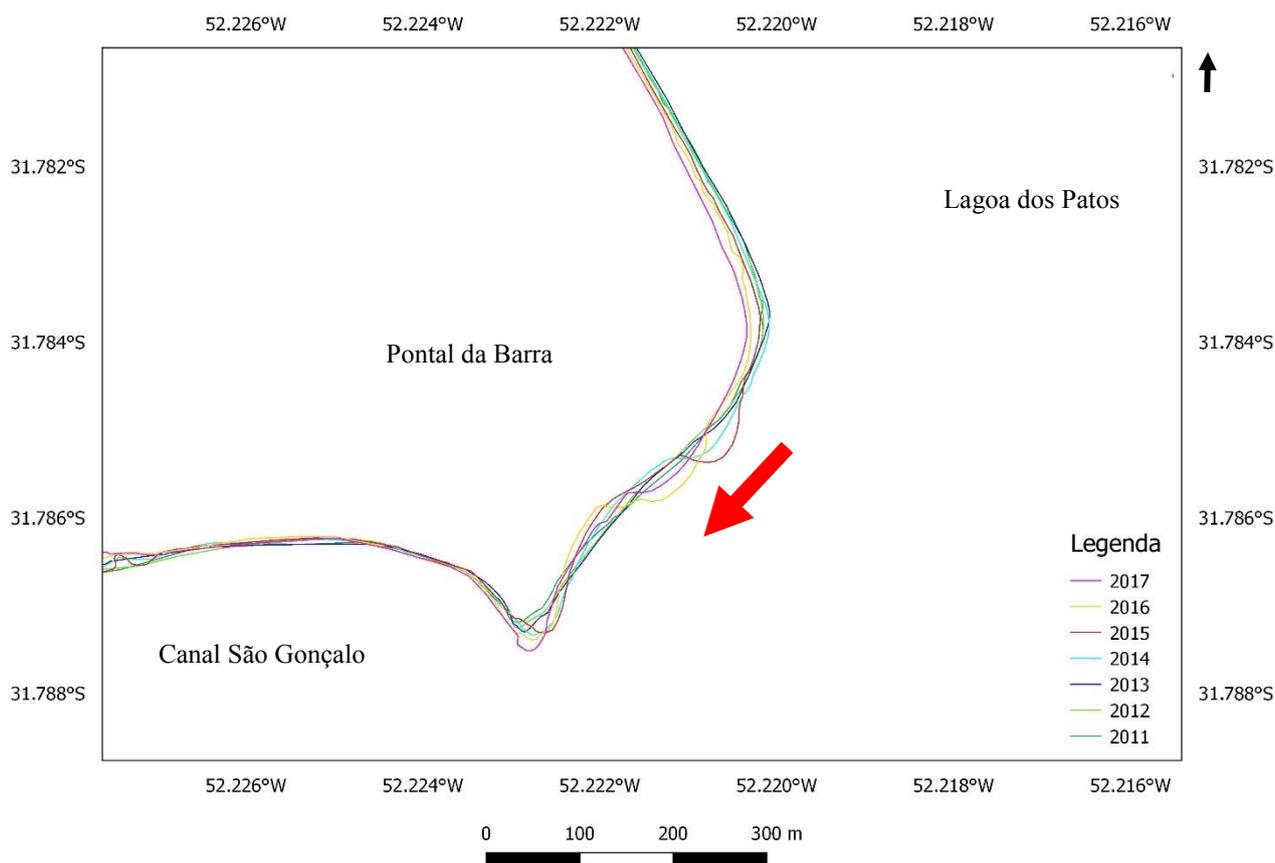


Figura 3.1.3 – Desenho ilustrativo da morfodinâmica ocorrida no Pontal da Barra, na praia do Laranjal, registrados entre os anos de 2011 a 2017. A flecha vermelha representa a direção preferencial de transporte de sedimentos (SW).

O alto aporte de sedimentos oriundos de nordeste, são possíveis indícios de locais em processo de erosão, possivelmente associados ao recuo da linha de costa em áreas adjacentes ao Pontal da Barra. Foi elaborado um mapa da morfodinâmica do pontal arenoso durante este intervalo de tempo, é possível visualizar a estrutura avançando para dentro do canal SG (Fig. 3.1.4).

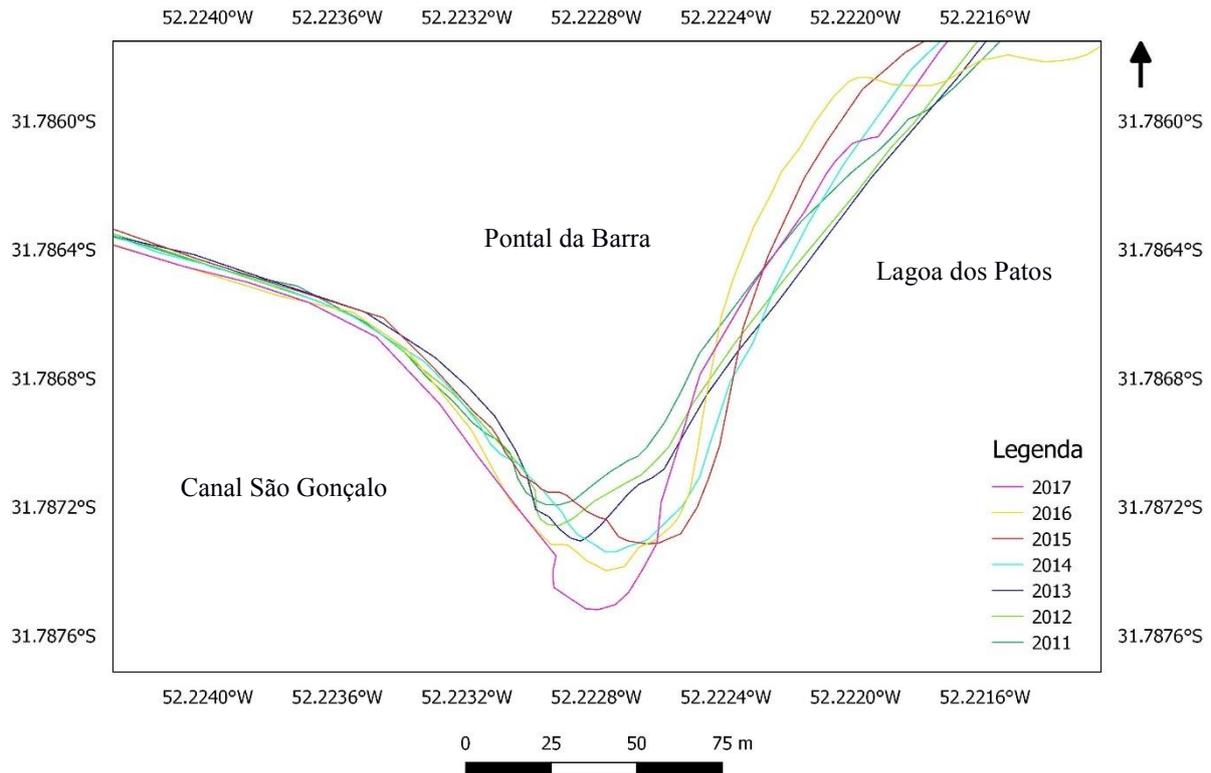


Figura 3.1.4 – Desenho ilustrativo da morfodinâmica do pontal arenoso registrado na região do Pontal da Barra, na praia do Laranjal. Informações referentes aos anos de 2011 a 2017. É possível observar o avanço do pontal arenoso para dentro do canal SG.

Neste estudo, visando determinar os valores de recuo da linha de costa entre os anos de 2011 a 2017, foi estimada a erosão nas proximidades da via de acesso ao pontal arenoso localizado no Pontal da Barra (Fig. 3.1.5). O recuo aproximado da linha de costa durante os anos de 2011 até 2017, apresentou uma taxa média de 3 metros por ano. Destaca-se entre os anos de 2014 a 2015 e 2016 a 2017, os períodos mais erosivos. Deste modo, foram observados aproximadamente 4,8 metros de recuo da linha de costa entre os anos de 2014 a 2015. Porém, nos anos de 2016 a 2017, o valor estimado de erosão foi de cerca de 7 metros.

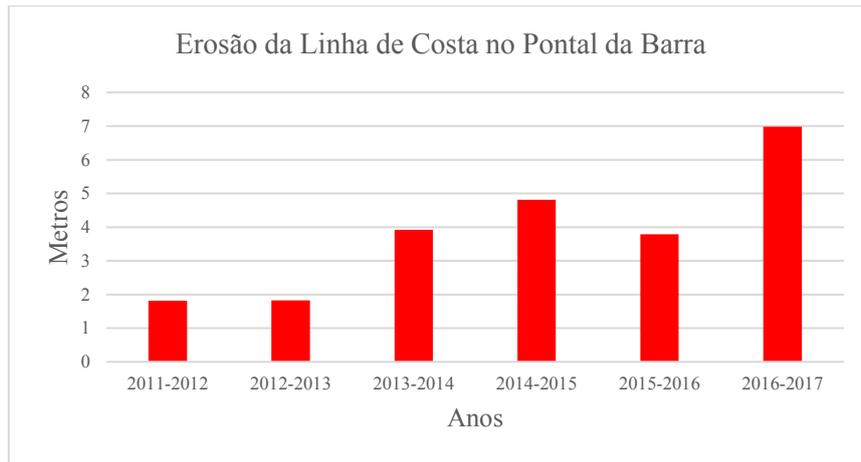


Figura 3.1.5 - Gráfico dos valores de erosão da linha de costa ocorridos no Pontal da Barra, entre os anos de 2011 até 2017.

A seguir é apresentada uma fotografia mostrando a contínua erosão ocorrida na via de acesso ao Pontal da Barra (Fig. 3.1.6), adquirida no mês de agosto do ano de 2018 (ponto próximo da imagem apresentada anteriormente na Fig. 3.6).



Figura 3.1.6 - Contínuo processo erosivo na estrada de acesso ao pontal arenoso, Av. Dr. Antônio Augusto de Assunção. Fotografia referente ao início do mês de agosto do ano de 2018 (Fonte: Acervo da autora).

Foi estimada a área do pontal arenoso nos anos de 2011 a 2017 (Fig. 3.1.7). O gráfico gerado apresenta um crescimento constante dos valores estimados até o ano de 2014. Enquanto que nos anos de 2015 e 2016, registra-se um leve decréscimo das áreas estimadas. Porém, um aumento dos valores estimados ocorreu no ano de 2017.

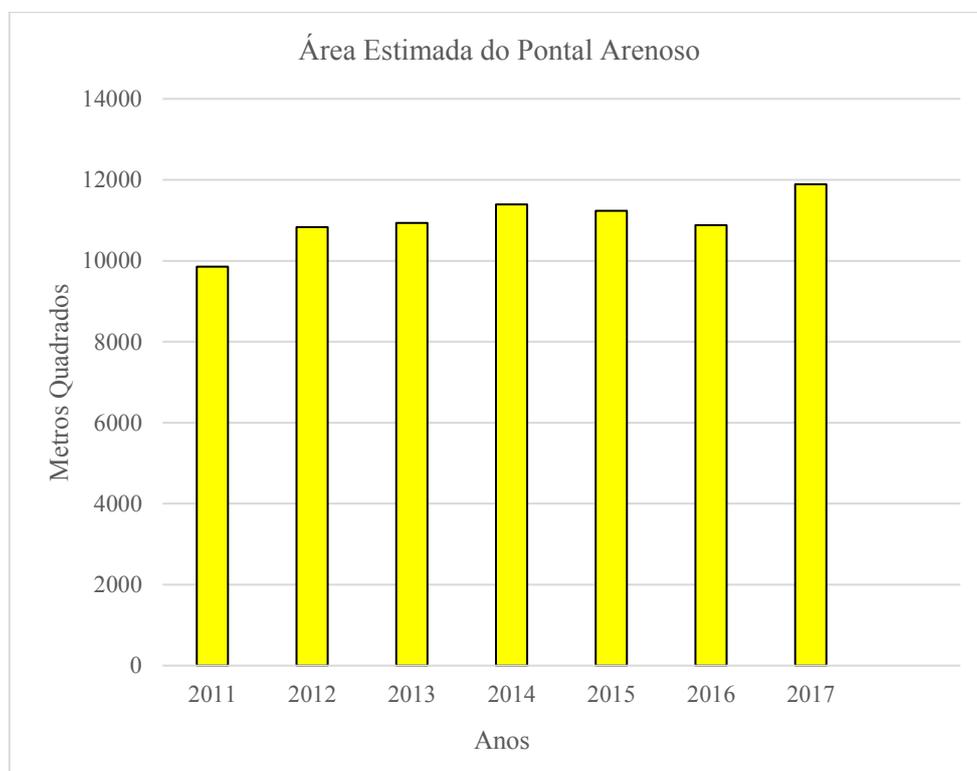


Figura 3.1.7 - Gráfico dos valores das áreas estimadas do pontal arenoso localizado no Pontal da Barra, registrados entre os anos de 2011 a 2017.

Um gráfico foi elaborado com a finalidade de identificar a variabilidade das acumulações de sedimentos para o interior do canal São Gonçalo, ao longo dos anos (Fig. 3.1.8). Os maiores valores de acumulação de sedimentos do pontal arenoso em direção ao centro do canal, ocorreram entre os anos de 2013-2014 e em 2016-2017.

Durante o período de 2013 a 2014, registraram-se as maiores acumulações de sedimentos que avançaram para o interior do canal São Gonçalo, as estimações foram de aproximadamente 14 metros. Semelhantemente, ao longo dos anos de 2016 a 2017, foi calculado um acréscimo de sedimentos de cerca de 12 metros, avançando para dentro do canal SG.

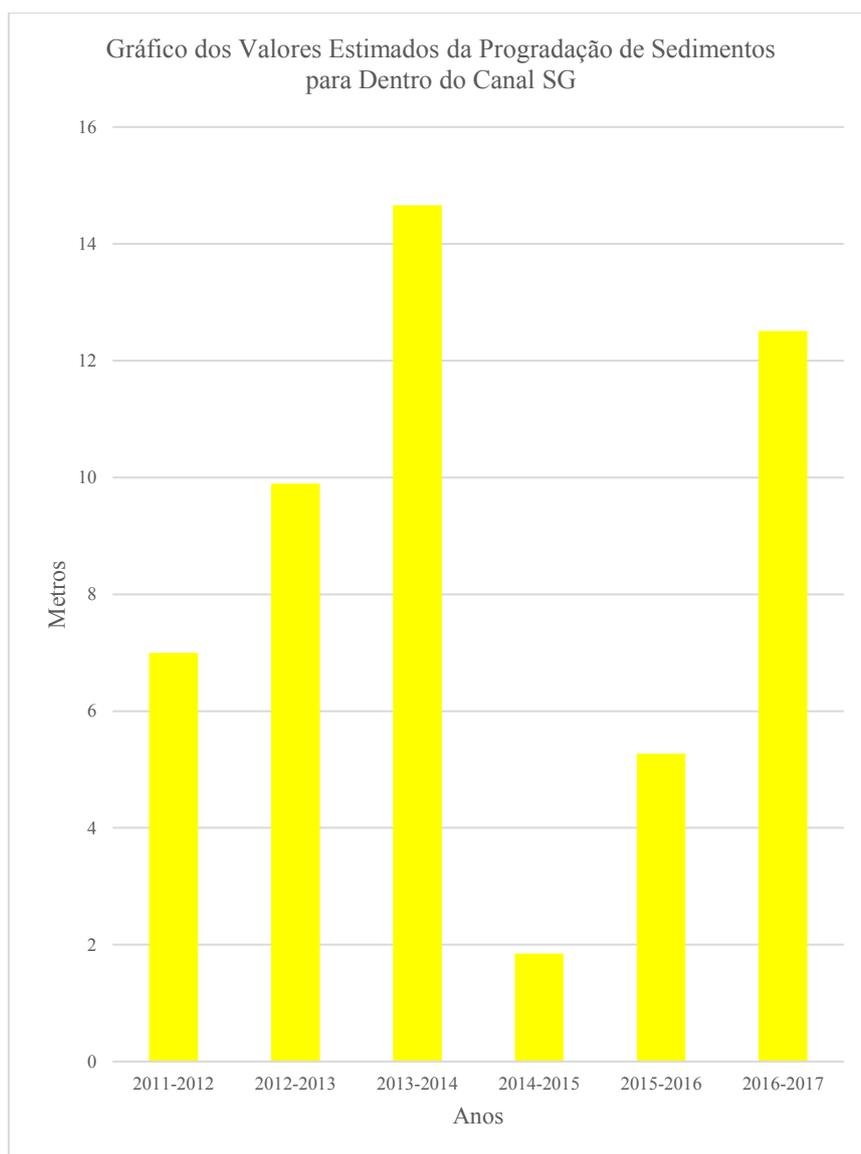


Figura 3.1.8 - Gráfico dos valores estimados da progradação do pontal arenoso do Pontal da Barra, acumulando sedimentos para dentro do canal SG, observados entre os anos de 2011 a 2017.

Desenvolveu-se um mapa ilustrativo com o objetivo de evidenciar a morfodinâmica ocorrida neste local, principalmente nos anos de 1953 a 2017 (Fig. 3.1.9). Vale a pena salientar que o contorno da linha de costa analisada nas fotografias aéreas das décadas de 50 e 60, mostram uma forma mais pontiaguda em direção à leste, que não é mais visualizada em imagens atuais. Compreendendo nesta porção, uma retração da linha de costa de até aproximadamente 1,4 metros por ano.

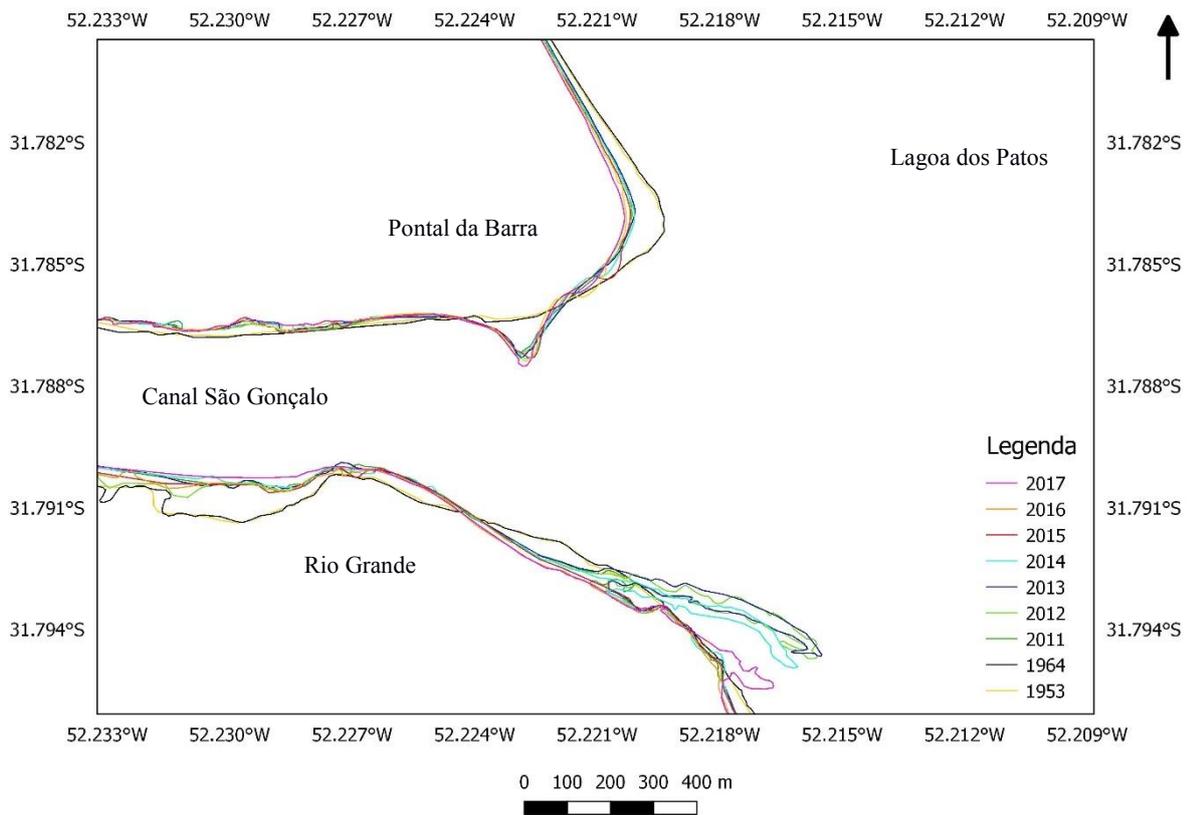


Figura 3.1.9 - Desenho ilustrativo da embocadura do canal São Gonçalo. No ano de 1953 observa-se a ausência do pontal arenoso, registrado nos anos atuais.

Tendo como base a linha de costa das décadas de 50 e 60 (visíveis nas fotografias aéreas de 1953 e 1964), constatou-se um crescimento acelerado do pontal arenoso após a década de 80. A largura da embocadura do canal no ano de 1953 abrangia cerca de 598 metros, enquanto que no ano de 2017, o canal SG apresentou um decréscimo da sua largura (em consequência do desenvolvimento do pontal arenoso), atualmente possui uma seção transversal de aproximadamente 460 metros. O crescimento do pontal arenoso e a diminuição da largura da embocadura do canal, podem influenciar na dinâmica do corpo hídrico, devido à diminuição da seção transversal disponível para o fluxo da água.

Na porção norte da praia do Laranjal, especificamente no Balneário Santo Antônio, foram registrados pontos de acreção. Estimou-se a taxa de progradação na parte central da praia, entre os anos de 1964 até o ano de 2017, totalizando cerca de 0,7 metros por ano (Fig. 3.1.10).

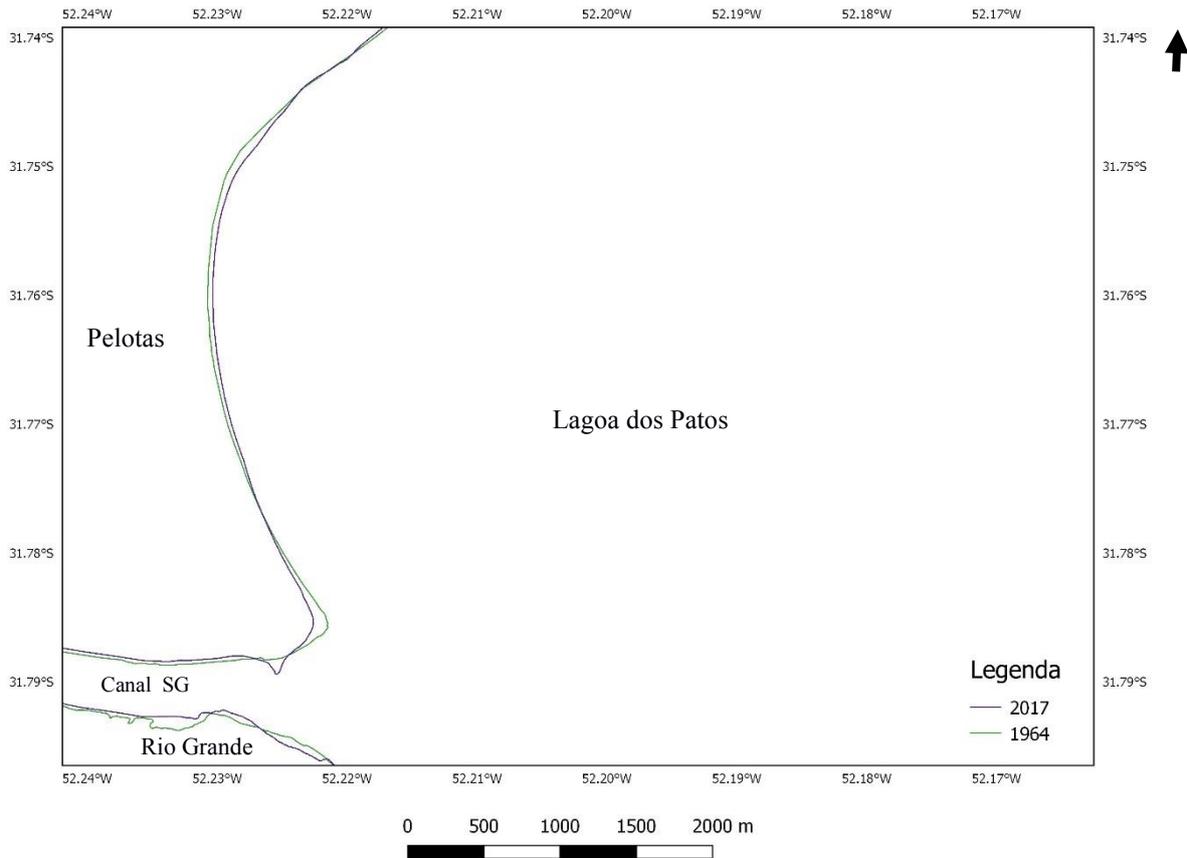


Figura 3.1.10 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica ocorrida no Saco do Laranjal, registradas entre os anos de 1964 a 2017.

3.2 MODIFICAÇÕES NA MARGEM DO CANAL SG, PERTENCENTE A CIDADE DE RIO GRANDE

As modificações da embocadura do canal São Gonçalo impostas sobre o território pertencente a cidade de Rio Grande foram subdivididas em duas áreas. A primeira parte apresenta as variações na margem da embocadura do canal São Gonçalo. Enquanto que, a segunda parte compreende as variações observadas na Ponta do Silveira.

Registrou-se em diversas imagens de satélite a formação transitória de um banco arenoso na margem do canal São Gonçalo. A localização do banco arenoso está representada no desenho ilustrativo da Fig. 3.2.1.

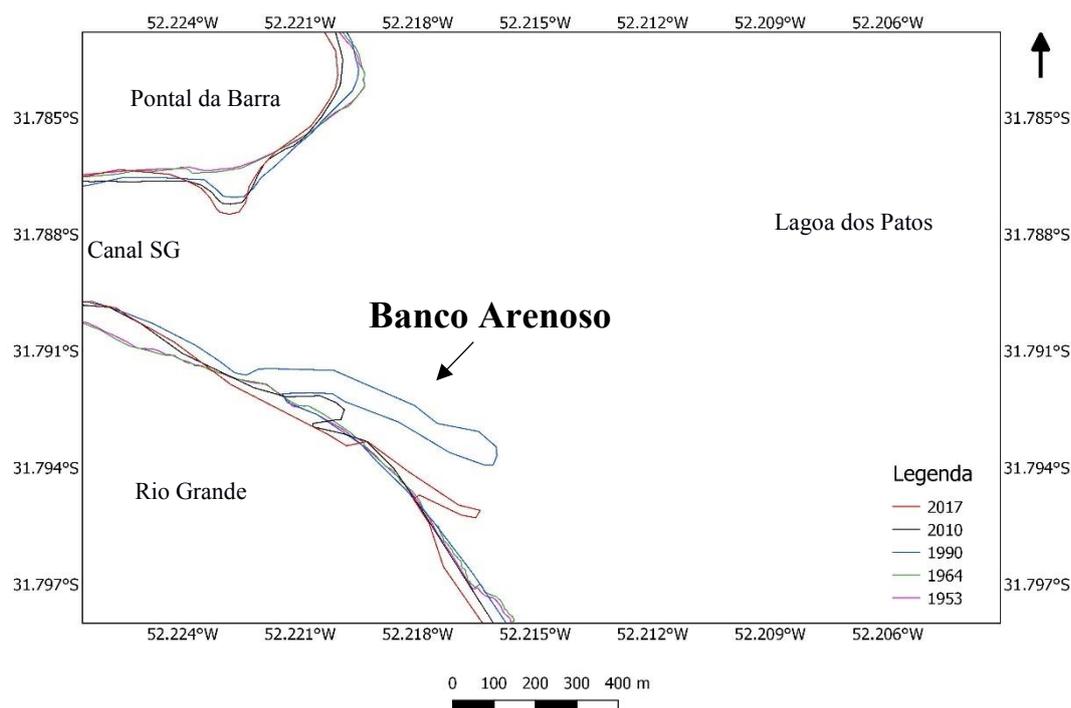


Figura 3.2.1 - Desenho ilustrativo do banco arenoso localizado na margem do canal SG pertencente a cidade de RG.

Foram estimadas as áreas do banco arenoso por meio de imagens adquiridas nos meses de dezembro dos anos de 1984 até 2017 (Fig. 3.2.2). Em 1989, identificou-se a deposição de sedimentos sobre uma área considerável, de aproximadamente 61.463,1 m². Um processo erosivo progressivo passa a atuar sobre o banco arenoso, em consequência a partir do ano de 1992 a estrutura não é mais observada. Principalmente entre os anos 1992 a 2001, não foram registradas a ocorrência de deposição de sedimentos no local, exceto no ano de 1993.

O banco arenoso só é observado novamente em 2002, atingindo o maior valor de área calculada no ano de 2004, com 113.646,3 m². A partir deste ano, ocorreu a redução da área ocupada pelo banco. No ano de 2006, os valores calculados foram de cerca de 90.985,9 m², alcançando o menor valor no ano de 2010 com 22.813,7 m². Entretanto, no ano de 2012, ocorreu um acréscimo da quantidade de sedimentos no banco arenoso, com 55.988,8 m². Enquanto que no ano de 2014, registrou-se um déficit dos valores estimados, com o banco ocupando uma área de apenas 5.379,6 m². No ano seguinte, o banco apresenta novamente acumulação de sedimentos e se manteve estável na última observação, em 2017, com 20.717,8 m² de área.

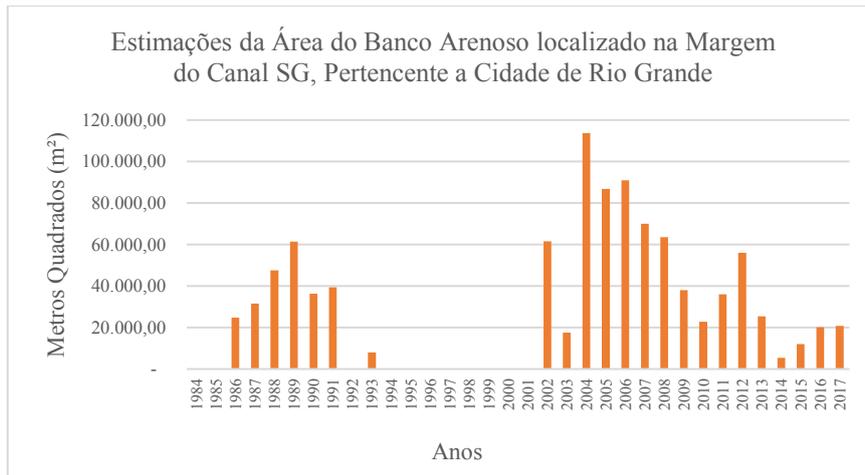


Figura 3.2.2 - Áreas estimadas do banco arenoso localizado na margem do canal SG, pertencente a cidade de Rio Grande. Áreas do banco arenoso registradas nos anos de 1984 até 2017.

Na Ponta do Silveira, são visualizados por meio da fotografia área do ano de 1974, variados esporões arenosos recurvados, desenvolvendo-se em diferentes direções (Fig. 3.2.3).

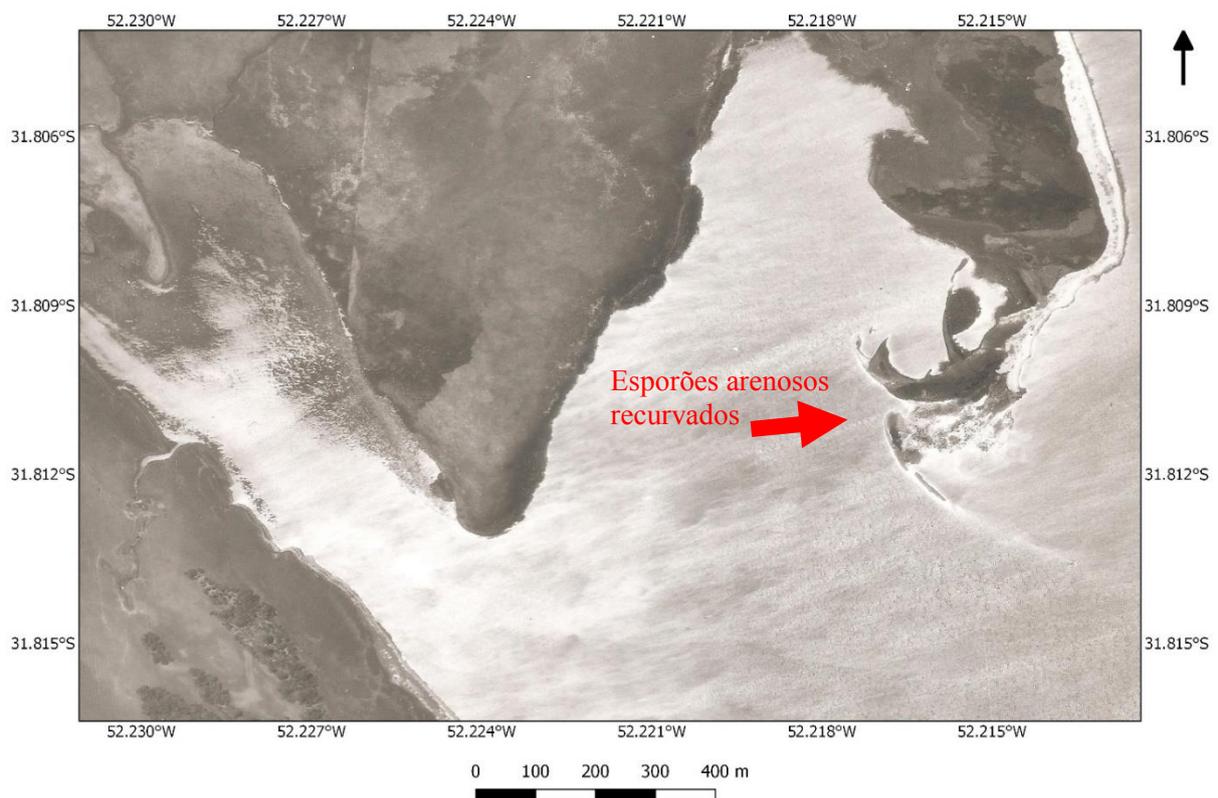


Figura 3.2.3 - Fotografia aérea de 1974 da região da Ponta do Silveira, em Rio Grande, apresentando os esporões arenosos com variadas direções de desenvolvimento (Fonte: Acervo da Agência da Lagoa Mirim).

Os dados analisados evidenciaram o crescimento do esporão arenoso inicialmente com uma geometria recurvada, passando a desenvolver-se com um formato retilíneo, com direção preferencial para sudoeste (Fig. 3.2.4).

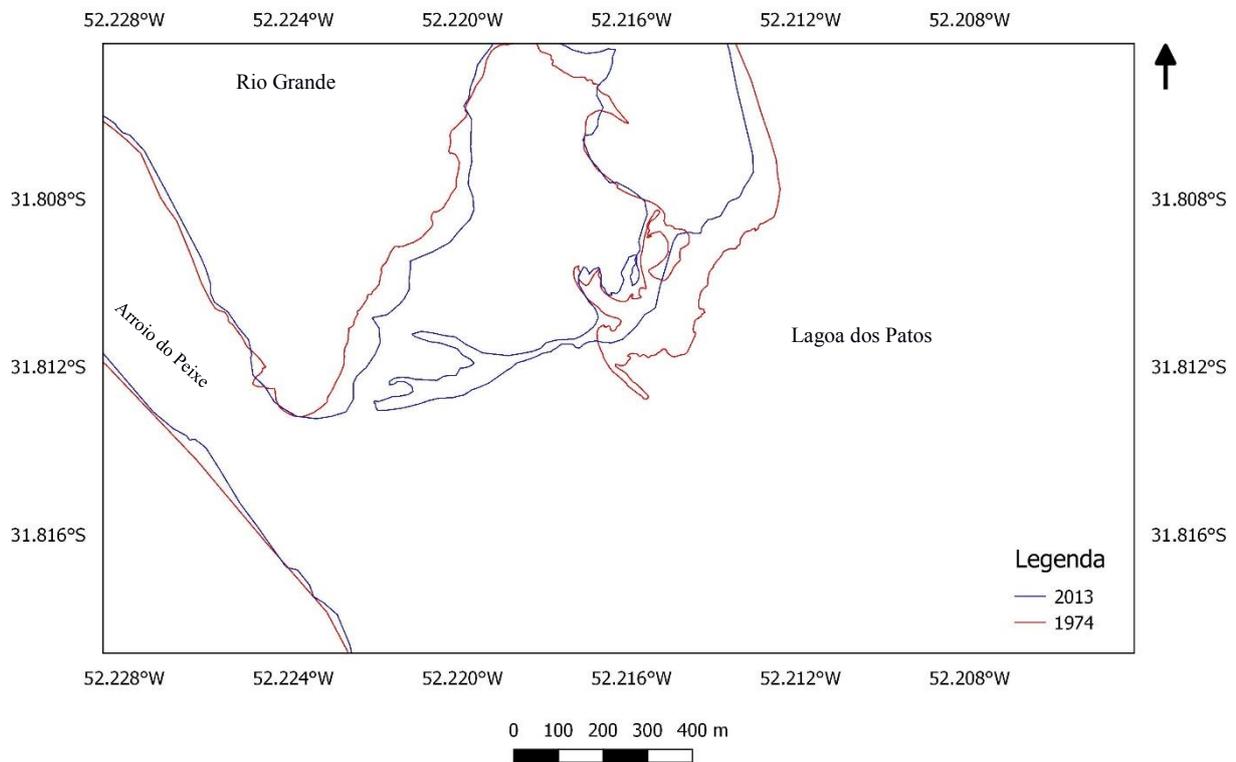


Figura 3.2.4 - Mapa temático mostrando o crescimento do esporão arenoso localizado na Ponta do Silveira, registrados entre os anos 1974 a 2013. No ano de 1974, observa-se uma geometria recurvada, posteriormente passa a desenvolver-se com um formato retilíneo, com direção preferencial para sudoeste.

Com o intuito de quantificar o desenvolvimento do esporão arenoso, estimou-se a distância em linha reta com base nos contornos das feições obtidos nos anos de 1990 e 2003, ou seja, calculou-se a distância em linha reta ao longo da direção principal de acumulação de sedimentos. Entre os anos citados, mediou-se um crescimento de aproximadamente 125 metros. Adicionalmente, nos anos de 2003 a 2010 o esporão arenoso apresentou um crescimento de cerca de 133 metros, totalizando uma área compreendida de aproximadamente 71.133,3 m².

Entre os anos de 2010 até 2017, o acompanhamento do desenvolvimento do esporão arenoso proporcionou o registro do seu crescimento e desenvolvimento (Fig. 3.2.5A). No entanto, neste período, foi observado também o seu rompimento. Dessa forma, com a ruptura da estrutura, sucedeu-se na formação de um lagamar (Fig. 3.2.5B). Estimaram-se as áreas das estruturas após rompidas, onde foram registrados valores de aproximadamente 30.992,6 m² na parte direita do lagamar e para a porção esquerda estimou-se 26.926,3 m².

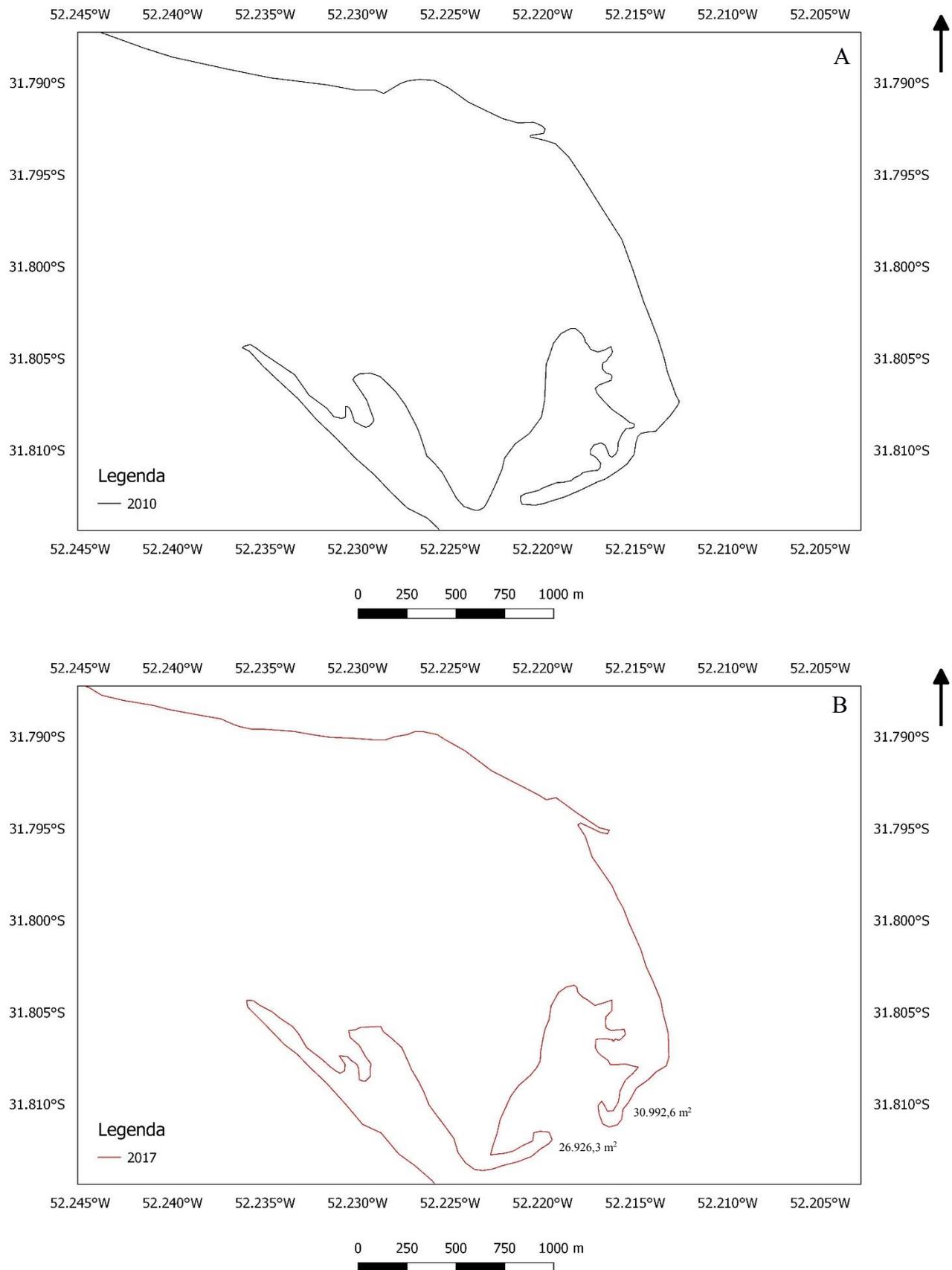


Figura 3.2.5 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do esporão arenoso na Ponta do Silveira, observadas nos anos de 2010 (A) e em 2017 (B).

O intuito do monitoramento anual é fornecer uma avaliação mais detalhada dos processos atuantes, visando contribuir com informações, sobretudo, para o entendimento da época em que ocorreu o afinamento e conseqüentemente, o rompimento do esporão arenoso na Ponta do Silveira (Fig. 3.2.6).

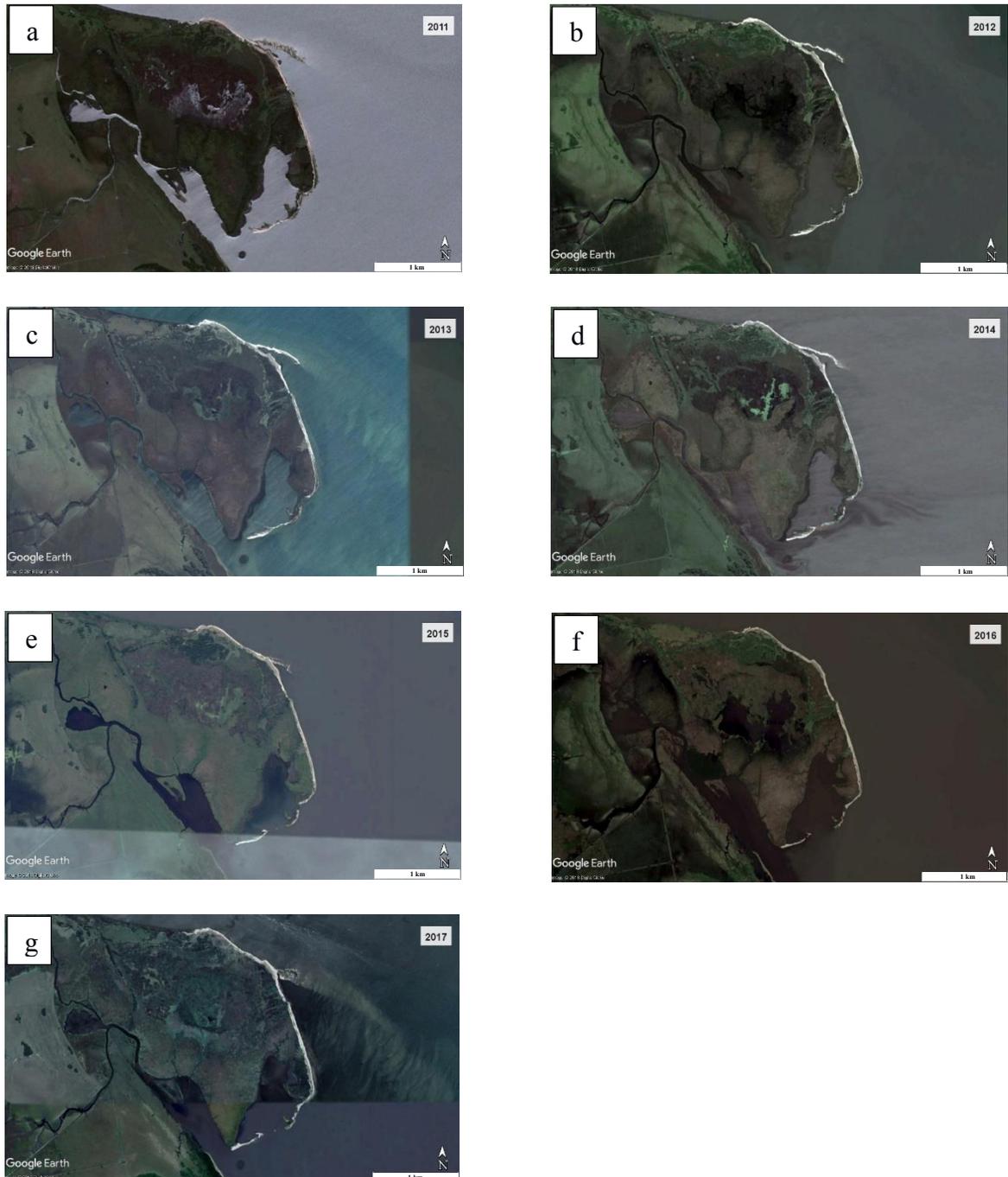


Figura 3.2.6 - Imagens de satélite dos anos de 2011 a 2017, a) 2011, b) 2012, c) 2013, d) 2014, e) 2015, f) 2016 e g) 2017, mostrando o desenvolvimento do esporão arenoso, seu afinamento e posteriormente a sua ruptura. Escala: 1km. (Fonte: Google Earth, DigitalGlobe).

Em 2011, na parte inferior da imagem, nota-se o desenvolvimento do esporão arenoso preferencialmente para o quadrante sudoeste (Fig. 3.2.6A). Foi elaborado um desenho ilustrativo com base nas imagens dos anos de 2011 e de 2012, com a finalidade de observar o desenvolvimento do esporão arenoso entre estes anos (Fig. 3.2.7).

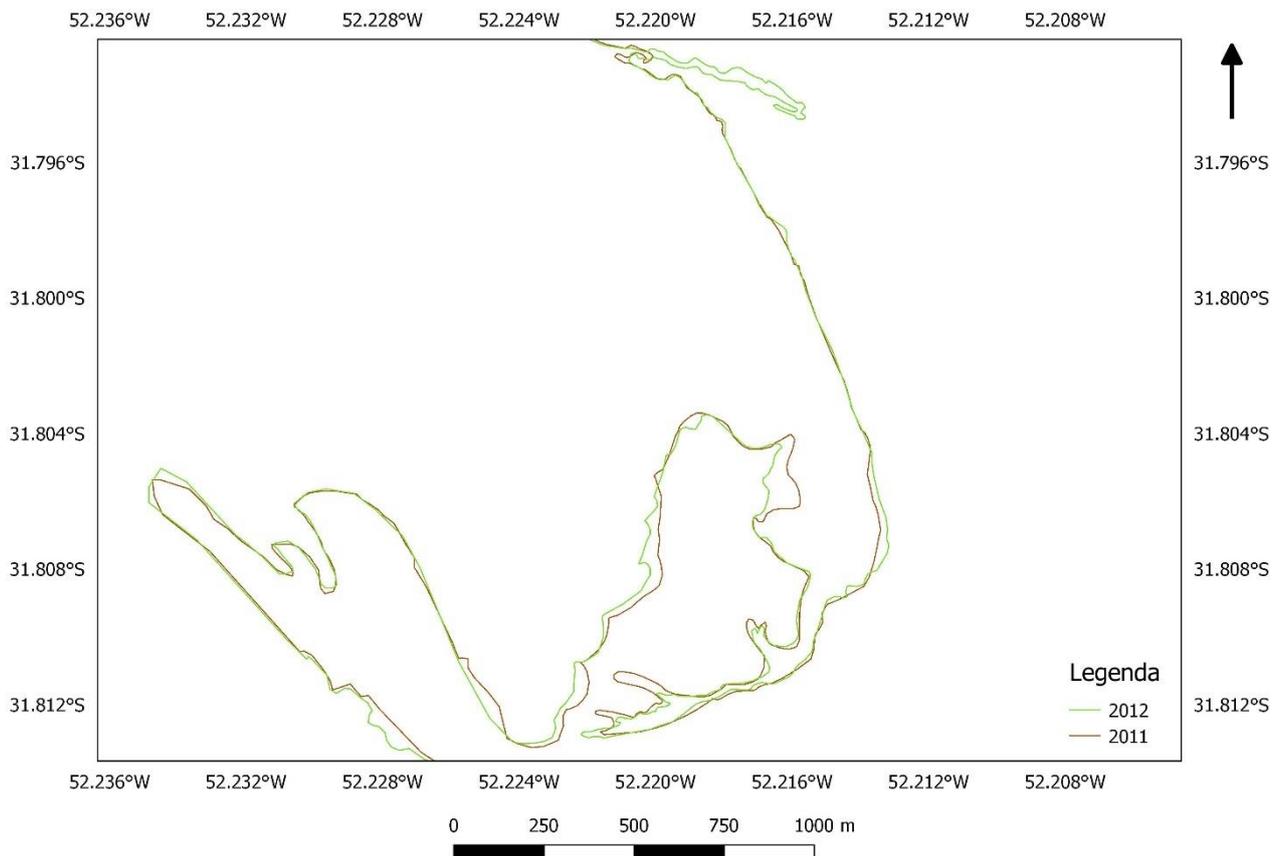


Figura 3.2.7 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do esporão arenoso na Ponta do Silveira, registrada entre os anos 2011 a 2012.

Da mesma maneira, nos anos de 2012 e de 2013, o esporão arenoso desenvolveu-se constantemente para a direção sudoeste (Fig. 3.2.6B e C). Um desenho ilustrativo para elucidar as variações registradas nestes anos foi gerado (Fig. 3.2.8).

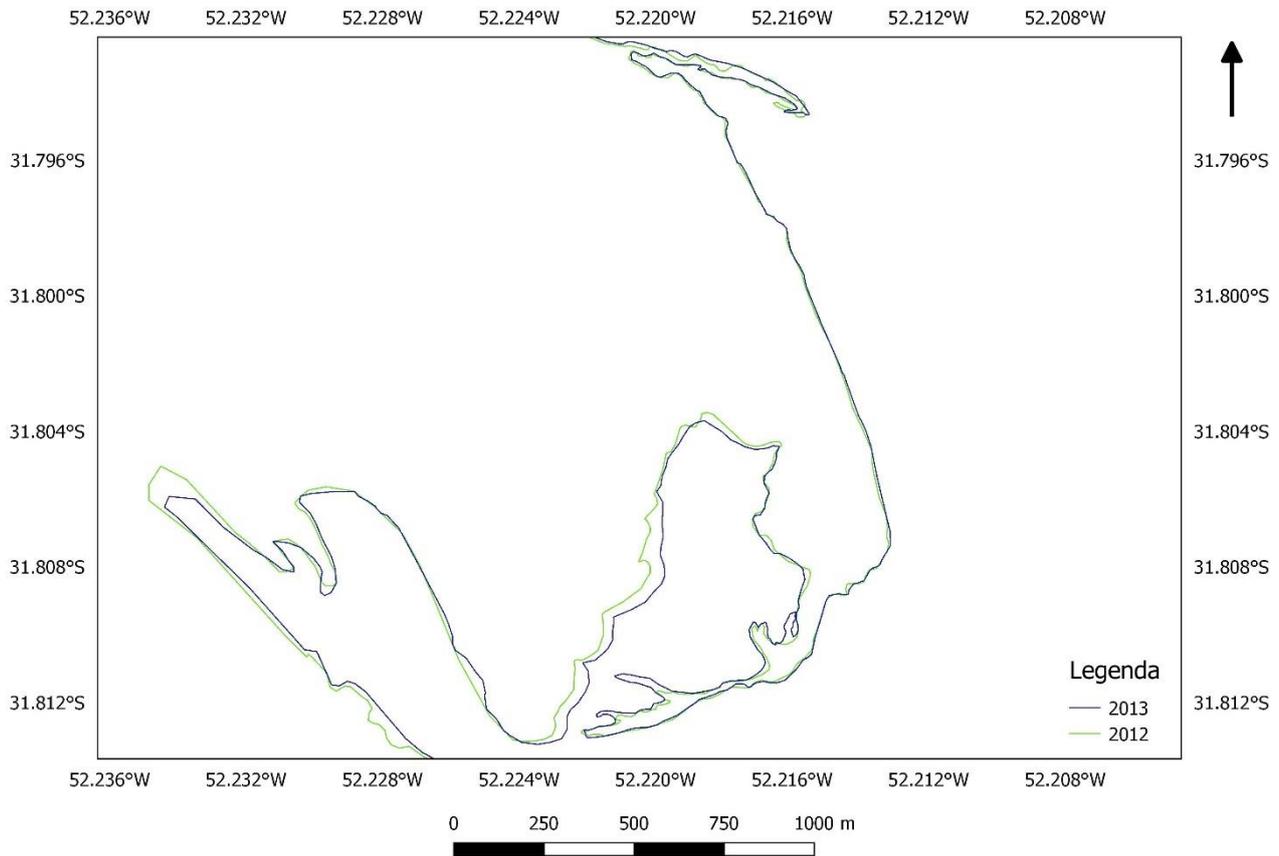


Figura. 3.2.8 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do esporão arenoso referente aos anos 2012 a 2013.

No ano de 2014, na região do esporão arenoso, visualizou-se a remobilização de uma quantidade elevada de sedimentos, movimentados para a direção sudoeste (Fig. 3.2.6D). Com este fato, o esporão arenoso alcançou o outro lado do terreno. Porém, registrou-se um déficit de suprimento sedimentar que ocasionou na erosão da sua estrutura, principalmente na porção central do esporão, desse modo, favorecendo no seu rompimento.

Foi elaborado um desenho ilustrativo com as imagens dos anos de 2013 e de 2014, com a finalidade de observar o afinamento e o rompimento do esporão arenoso (Fig. 3.2.9).

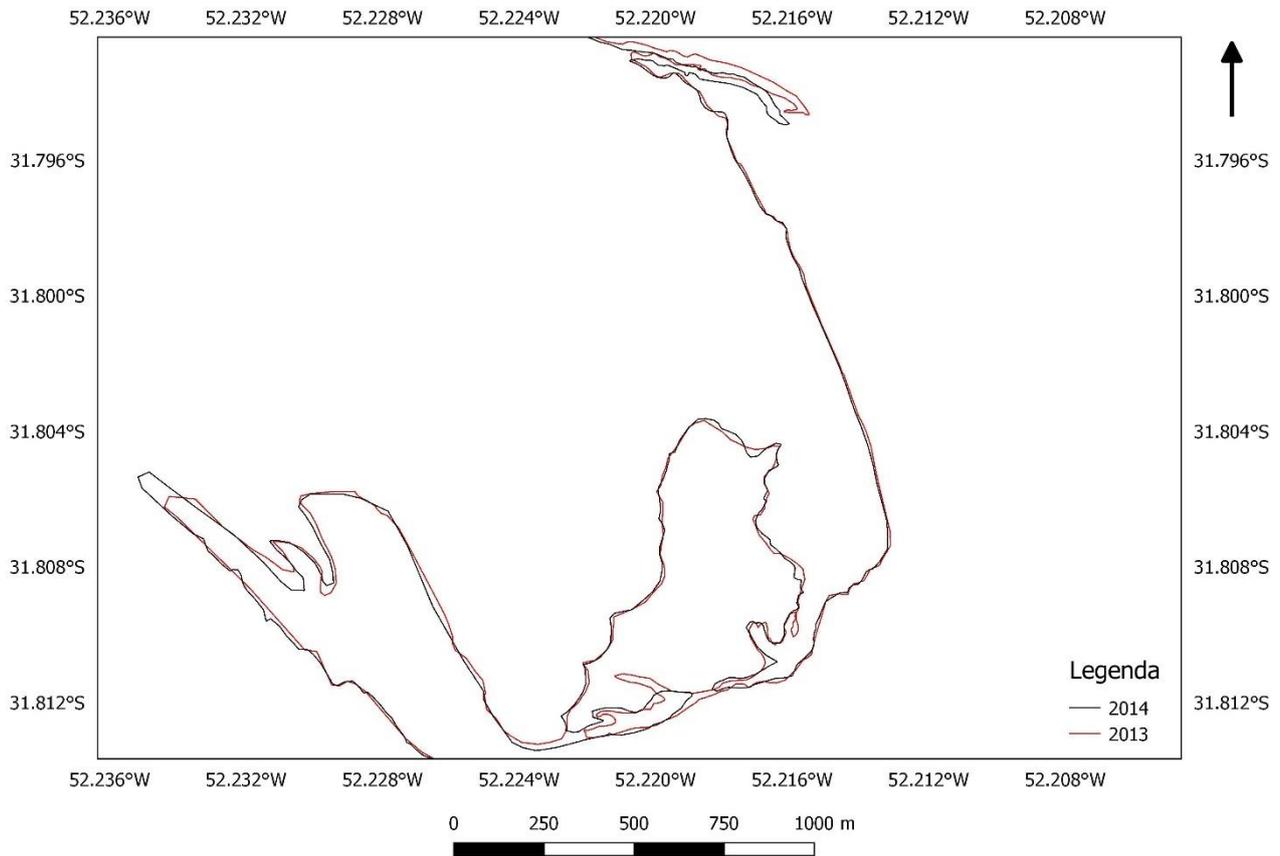


Figura 3.2.9 - Desenho ilustrativo da morfodinâmica do esporão arenoso entre os anos de 2013 e 2014, mostrando a afinação na parte central da feição arenosa e conseqüentemente causando a ruptura do esporão arenoso.

No ano de 2015, com o rompimento do esporão arenoso foi criada uma nova feição denominada de lagamar (Fig. 3.2.6E), marcando o início de um período de maior atuação dos processos erosivos. Criou-se um desenho ilustrativo do local para os anos de 2014 e de 2015 (Fig. 3.2.10). Na parte superior, no ano de 2015, observa-se a ausência do banco arenoso.

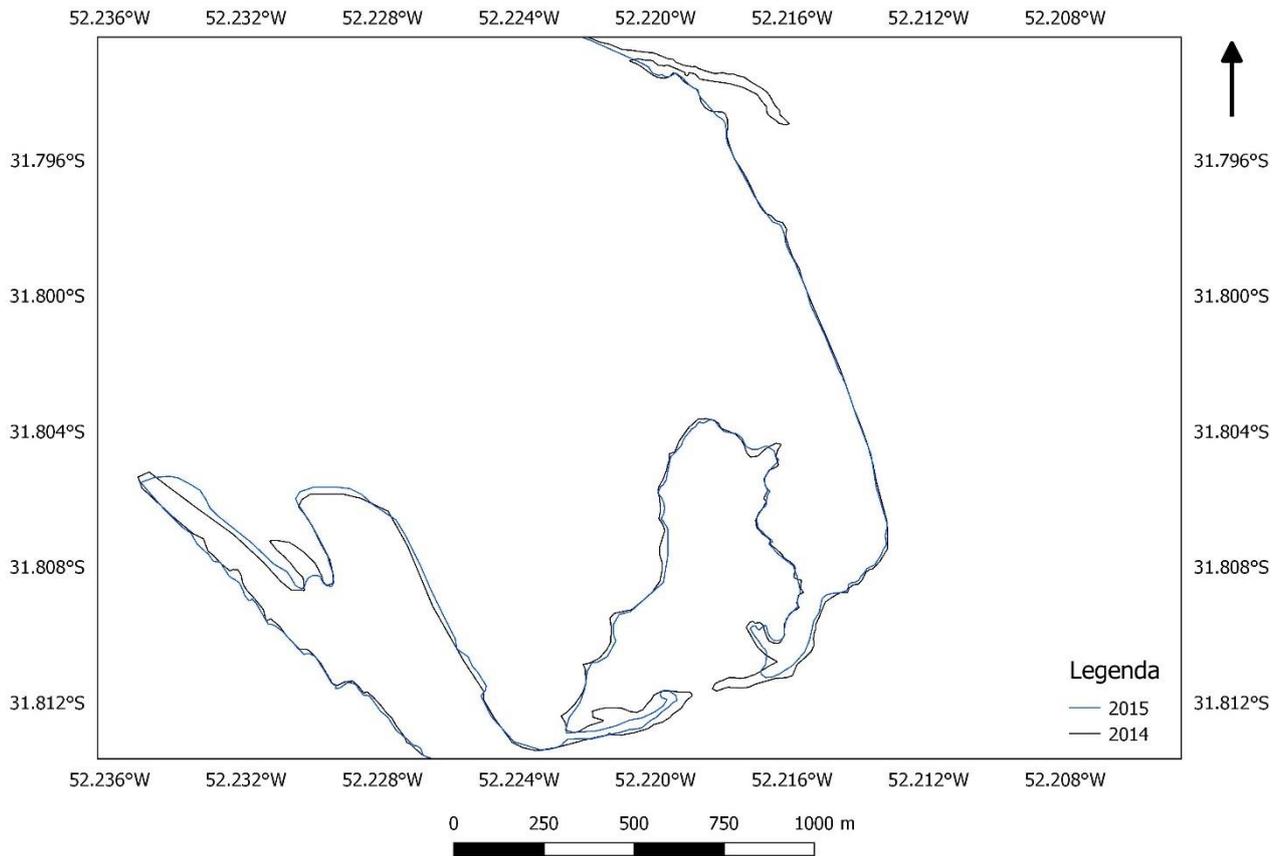


Figura 3.2.10 - Desenho ilustrativo do esporão arenoso entre os anos 2014 a 2015.

No ano de 2016, foi registrada erosão da estrutura esquerda do lagamar (Fig. 3.2.6F). Gerou-se um desenho ilustrativo para analisar o processo erosivo ocorrido nos anos 2015 e de 2016 (Fig. 3.2.11). Na parte superior, é possível visualizar a ausência do banco arenoso.

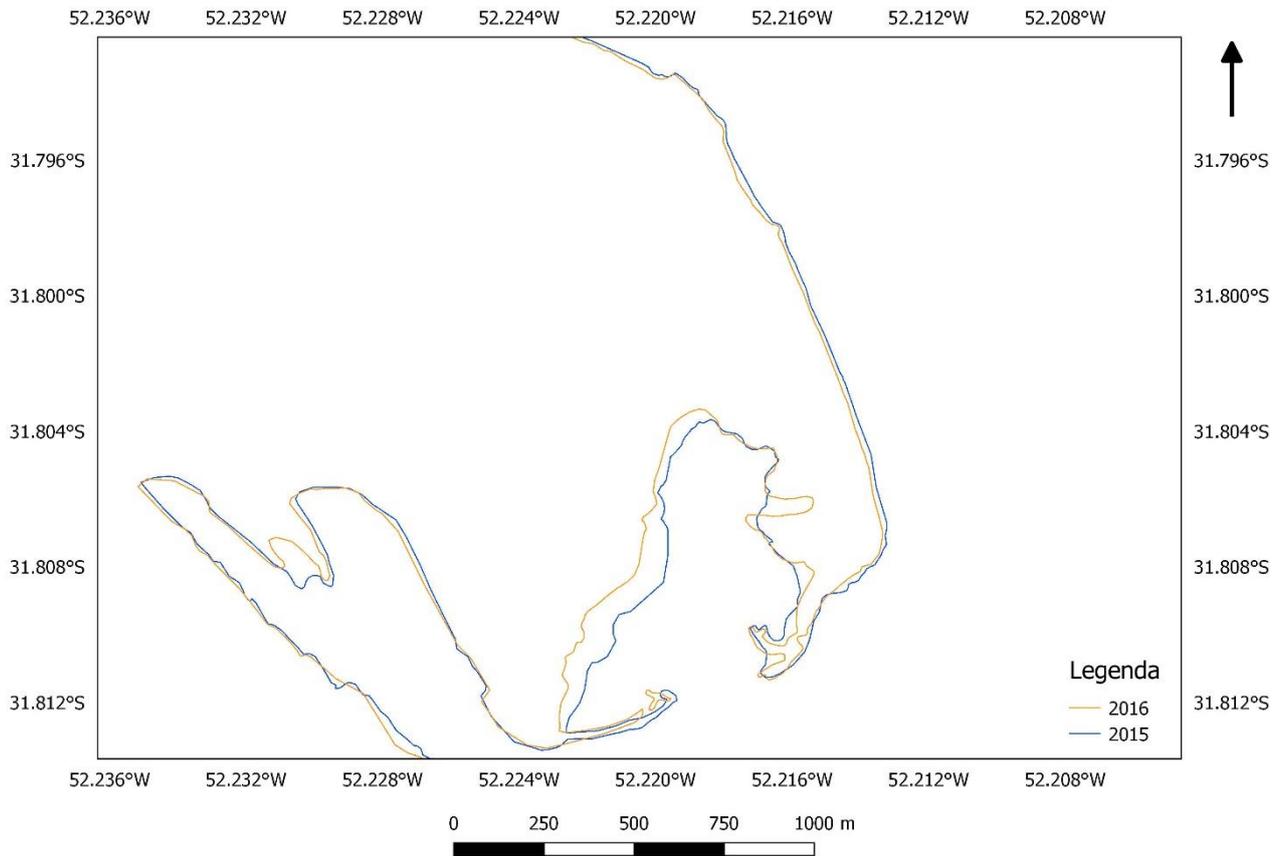


Figura 3.2.11 - Desenho ilustrativo apresentando o processo erosivo registrado principalmente na estrutura arenosa esquerda do esporão, processo ocorrido nos anos 2015 e 2016.

Mas, no ano de 2017 (Fig. 3.2.6G), a análise detalhada mostra o início de uma fase de acumulação de sedimentos, principalmente na estrutura localizada à esquerda. Um desenho ilustrativo da morfodinâmica registrada durante os anos 2016 até o ano de 2017 foi gerado, para auxiliar na compreensão dos fatores atuantes (Fig. 3.2.12). Da mesma maneira, registrou-se a ausência do banco arenoso.

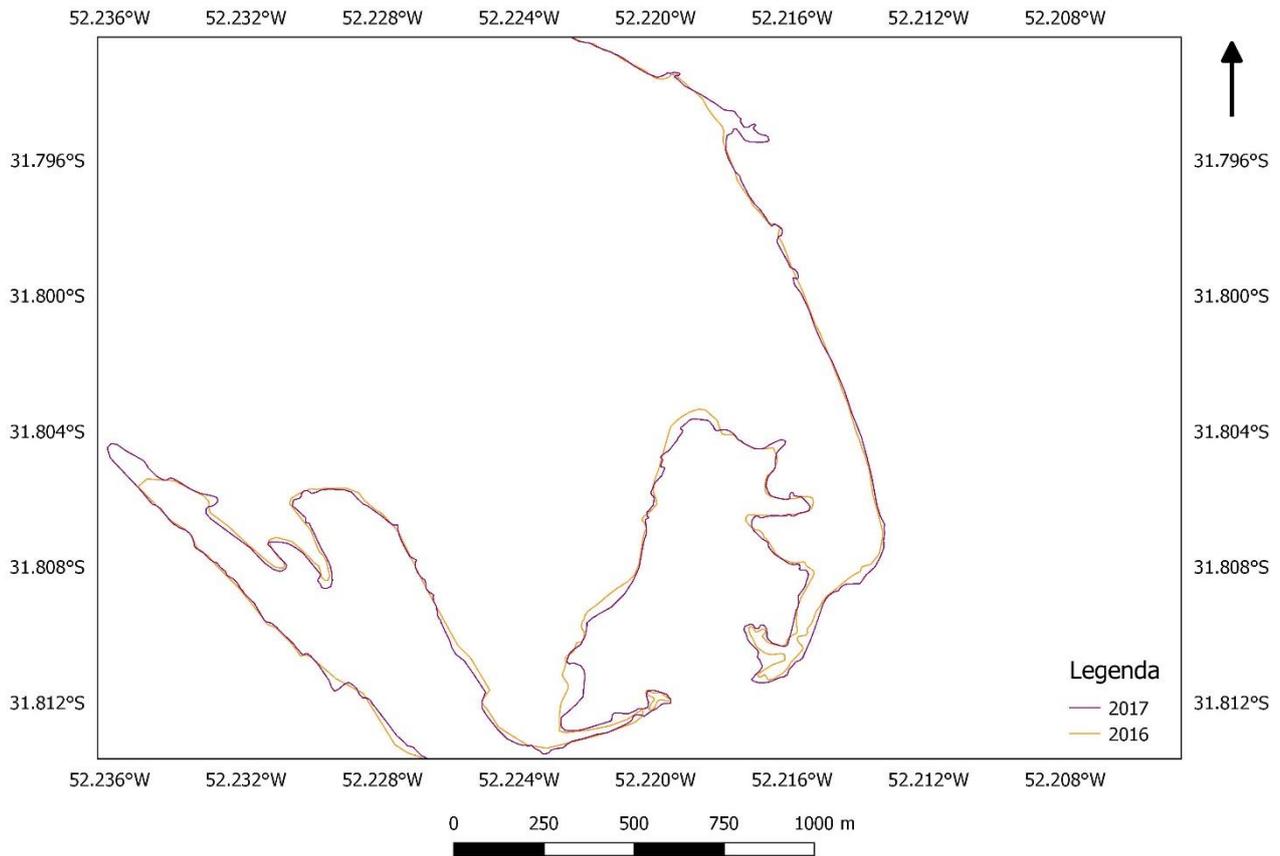


Figura 3.2.12 - Desenho ilustrativo do esporão arenoso registrados entre os anos de 2016 a 2017.

Estimaram-se as áreas do esporão arenoso entre os anos de 2011-2017 (Fig. 3.2.13), as maiores áreas calculadas ocorreram durante os anos de 2011 e de 2013. Foi registrado um decréscimo dos valores estimados de sedimentos a partir do ano de 2013, ocasionando no afinamento principalmente na parte central do esporão arenoso, conseqüentemente provocando a ruptura da sua estrutura no ano de 2014. Em consequência, a feição passa a apresentar duas estruturas arenosas (lagamar).

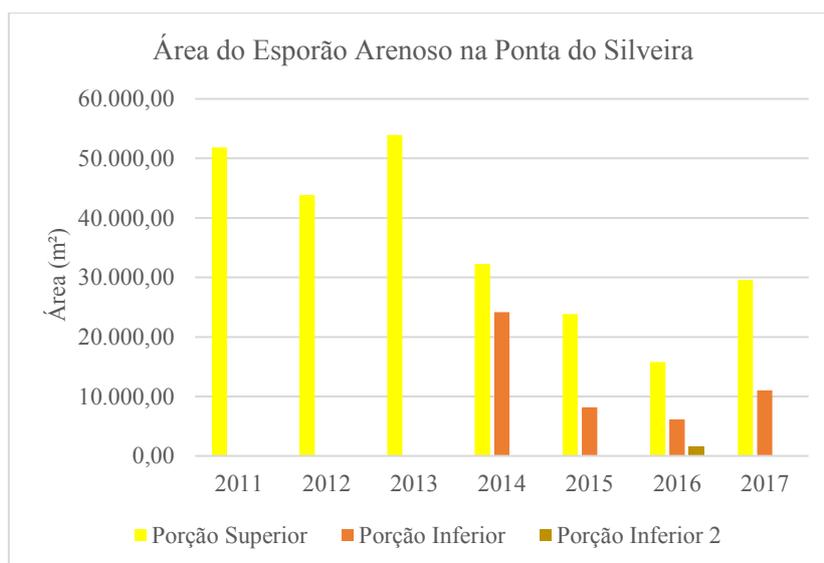


Figura 3.2.13 - Gráfico da área do esporão arenoso na Ponta do Silveira, antes do rompimento da sua estrutura (analisada nos anos de 2011 até 2013). A ruptura do esporão ocorreu em 2014, passando a apresentar duas feições (lagamar) representadas pelas porções superior e inferior (registradas nos anos de 2014, 2015 e 2017; em 2016 ocorre a formação de uma terceira feição devido ao processo erosivo).

3.3 FATORES METEOROLÓGICOS

É importante entender os fatores climáticos que atuaram durante este intervalo de tempo, para tentar identificar quais foram os elementos que contribuíram ou foram responsáveis por causar variações geomorfológicas na área de pesquisa. Portanto, é necessário compreender as séries históricas de fatores meteorológicos através de gráficos, possibilitando assim identificar suas relações com o transporte sedimentar observado.

3.3.1 VENTOS

A série histórica de ventos coletadas entre os anos de 1971 a 2017 permitiu diagnosticar que os ventos mais representativos foram dos quadrantes nordeste, sudoeste, leste e oeste, mostrado na Fig. 3.3.1.

Os ventos predominantes que atuaram em um amplo intervalo de tempo foram os ventos provenientes dos quadrantes nordeste e leste. O gráfico com a atuação de todos os ventos registrados encontra-se no Apêndice 8.5.

Serão citados a seguir, os anos em que ocorreram o registro dos ventos dominantes. O vento do quadrante nordeste foi predominante por vários anos, especificamente entre os anos de 1971 até o final do ano de 1976, retornaram como dominante no final do ano de 1994 atuando até o ano de 2000.

Novamente, sua ocorrência preferencial foi observada nos anos de 2011 a 2017. Já, os ventos do quadrante leste predominaram durante os anos de 1977 até 1987 e nos anos de 1989 a 1991.

Por outro lado, os ventos de menor representação foram registrados nos quadrantes de sudoeste e de oeste. Os ventos provenientes de sudoeste foram analisados no ano de 1993 e novamente verificaram-se como o principal forçante nos anos de 2001 até 2004. Outro fator, mas de menor magnitude, foi a atuação dos ventos do quadrante oeste, nos anos de 2004 a 2007 e também em 2010.

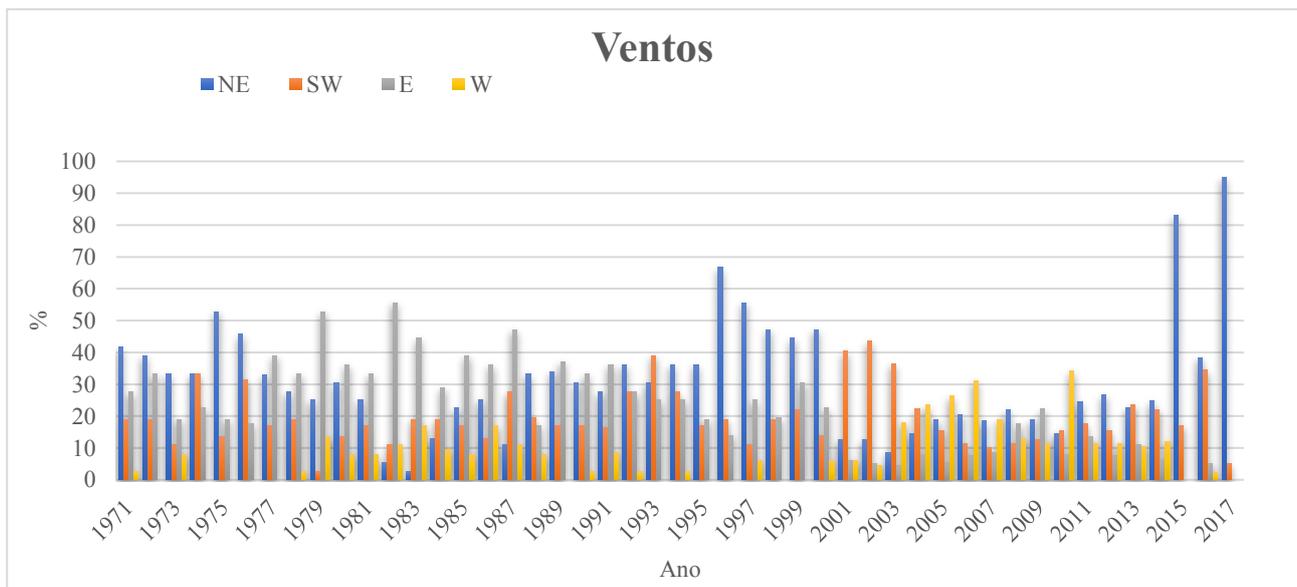


Figura 3.3.1 - Série histórica de ventos predominantes, ocorridos entre os anos de 1971 a 2017.

Sugere-se que a ação dos ventos de predominância constante do quadrante nordeste, principalmente a partir do ano de 2014, induziram a ocorrência de erosão da linha de costa nas proximidades da via de acesso ao pontal arenoso, na região do Pontal da Barra. Favorecendo assim, no transporte de sedimentos para a direção sudoeste, resultando na acumulação de sedimentos no pontal arenoso.

Desse modo, pressupõe-se que possivelmente existe a ocorrência de deriva litorânea na praia do Laranjal, com migração dos sedimentos principalmente para o quadrante sudoeste (Fig. 3.3.2).

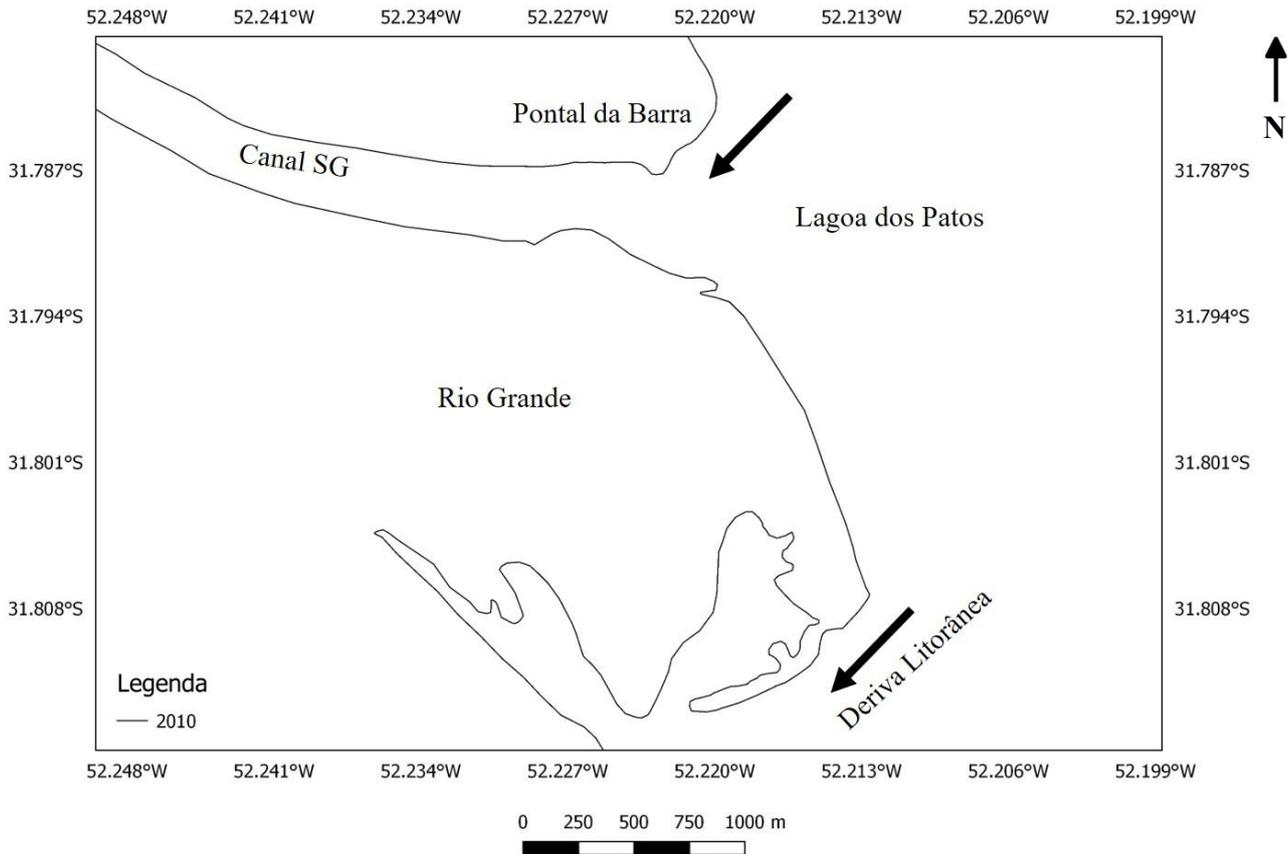


Figura 3.3.2 - Desenho ilustrativo representando a ocorrência de deriva litorânea, com transporte de sedimentos preferencialmente para a direção sudoeste. Desenho elaborado com base na imagem de satélite adquirida no ano de 2010.

3.3.2 PRECIPITAÇÃO

Com base na série histórica de precipitação coletada na estação do Capão do Leão (Fig. 3.3.3) constataram-se os anos em que exibiram uma precipitação elevada, medidos nos anos de 1977, 1983, 1995, 2004 e em 2009. Nos anos de 1995 e 2004 foram verificados os maiores valores da série histórica, em 1995 a quantidade de precipitação excedeu 500 mm e no ano de 2004 os valores medidos foram de aproximadamente 490 mm.

Observando-se a média móvel, verifica-se dois longos períodos de precipitação atingindo valores duas vezes superiores aos valores médios, registrados entre os anos de 1997 a 1999 e entre os anos de 2000 a 2004. Os valores de precipitação medidos foram concomitantes com os períodos em que ocorreram os fenômenos de El Niño analisados no site do NOAA (Anexo 1). Por outro lado, três períodos longos de precipitação abaixo da média foram identificados, entre os anos de 1989 a 1990, de 2005 a 2007 e de 2010 até 2014. Esses valores são representativos de épocas de ocorrência de estiagens.

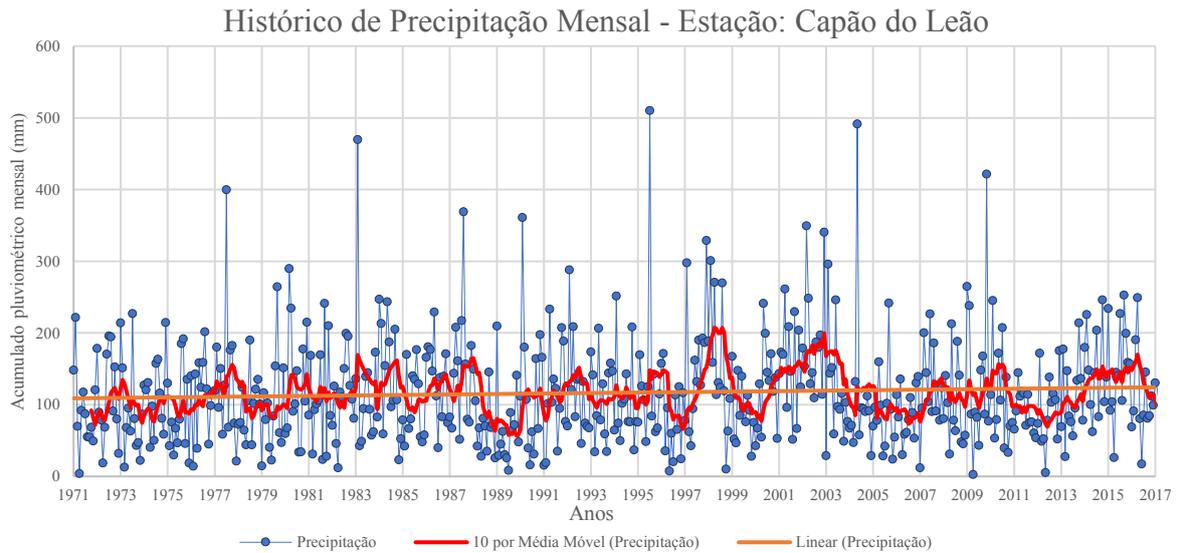


Figura 3.3.3 - Série histórica de precipitação obtida na estação de Capão do Leão, registrados nos anos de 1971 a 2017.

Os dados históricos de precipitação adquiridos na estação de Santa Vitória do Palmar (Fig. 3.3.4) exibiram valores de alta precipitação nos anos de 1997, 1998 e em 2003. No ano de 1997, foi verificado o maior valor da série histórica, de cerca de 193 mm. Nos anos de 1998 e em 2003, os valores coletados foram de aproximadamente 153 mm. Entretanto nos anos de 1991 e de 2011, os dados medidos não estavam disponíveis.

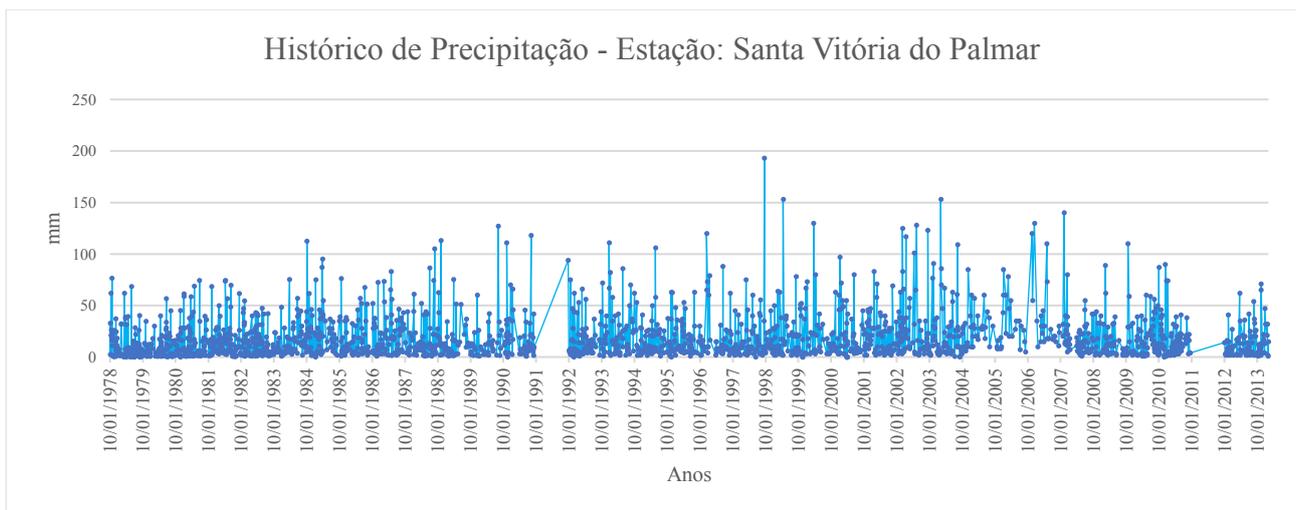


Figura 3.3.4 - Dados históricos de precipitação coletados na estação de Santa Vitória do Palmar, registrados nos anos de 1978 a 2013.

3.3.3 NÍVEIS DAS ÁGUAS

Este tópico foi subdividido para facilitar a comparação entre os dados de níveis de água adquiridos do canal São Gonçalo e os valores medidos dos corpos hídricos da Lagoa dos Patos e da Lagoa Mirim.

3.3.3.1 NÍVEIS DAS ÁGUAS DO CANAL SÃO GONÇALO

Por meio dos dados históricos de níveis de água (Fig. 3.3.5) registraram-se três anos em que o canal São Gonçalo alcançou uma medida muito acima do normal. Os anos em que apresentaram os maiores valores foram em 1984, 1998 e em 2002.

A maior medida de nível de água ocorreu no ano de 1984, época coincidente com os eventos registrados do fenômeno El Niño, com valores superiores a 3,7 metros. No ano de 1998, o nível apresentou um decréscimo, com cerca de 3,1 metros, decorrendo em períodos de passagem de eventos de El Niño para o fenômeno da La Niña. No ano de 2002, registraram-se novamente valores superiores (com 3,4 metros), possivelmente este valor medido foi resultado da atuação do fenômeno de El Niño.

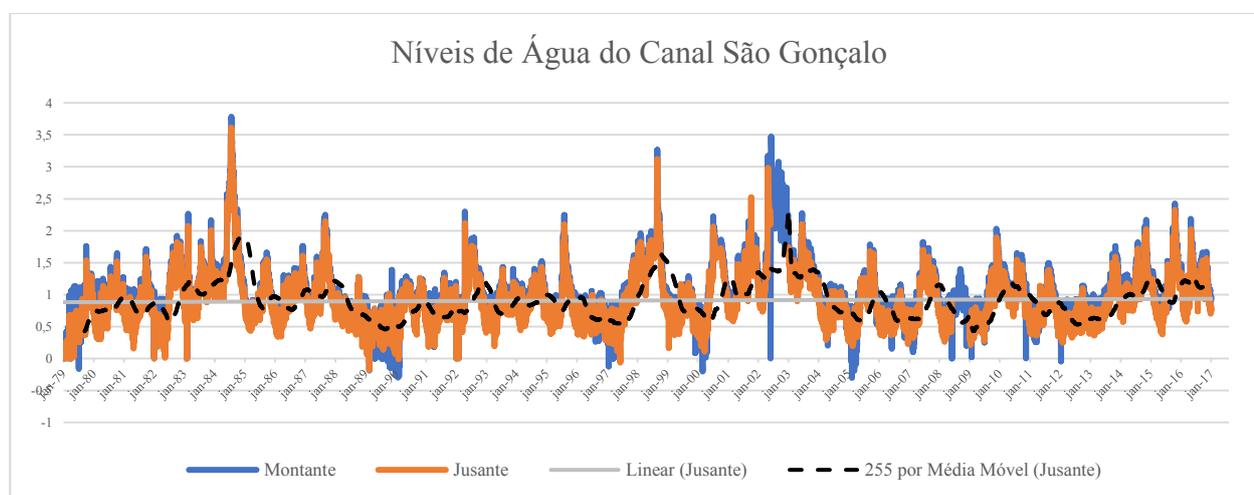


Figura 3.3.5 - Dados históricos de níveis de água do canal São Gonçalo, obtidos entre os anos de 1979 a 2017.

3.3.3.1.1 NÍVEIS D'ÁGUA À MONTANTE DA BARRAGEM ECLUSA X PRECIPITAÇÃO

Foi gerado um gráfico referente as informações de níveis médios mensais da água à montante do canal São Gonçalo versus o acumulado mensal da precipitação coletada na estação de Capão do Leão (Fig. 3.3.6). Como citado anteriormente, os quatro maiores valores de precipitação acumulada mensal ocorreram nos anos de 1983, 1995, 2004 e em 2009; com 469,5 mm, 510 mm, 491 mm, 421,3 mm de água, respectivamente.

Já, os valores máximos dos níveis médios mensais d'água à montante da barragem eclusa apresentaram picos nos anos de 1984 e de 2002, com 322 cm e 269,31 cm, respectivamente. Analisou-se a semelhança das médias móveis entre os dois caracteres, indicando por meio destes que a precipitação é um fator diretamente influenciador do nível d'água do canal.

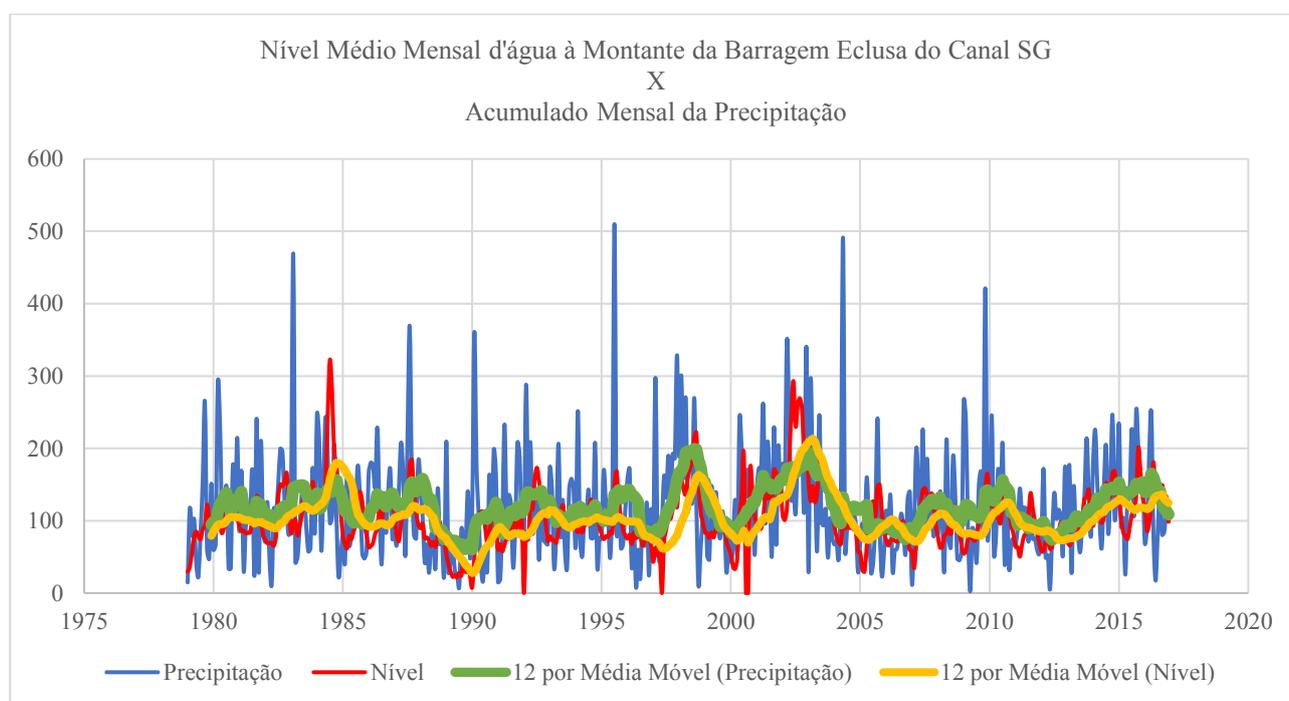


Figura 3.3.6 - Histórico mensal de níveis da água à montante da barragem eclusa do canal SG, adquiridos desde 1979 até 2017. A escala vertical caracteriza os valores de precipitação em mm, e para o nível d'água a escala é ilustrada em cm.

Foi plotado um gráfico de dispersão para a avaliação dos valores de correlação (Fig. 3.3.7), conforme os elementos, é possível analisar que quando consideradas os dados históricos mensais, os níveis d'água do canal SG não apresentam uma correlação com a precipitação. Isso ocorre devido à água proveniente das chuvas serem fornecidas aos corpos hídricos de duas maneiras, por escoamento superficial e por fluxo subterrâneo. A magnitude de cada contribuição depende da intensidade da

precipitação. A precipitação intensa favorece o escoamento superficial, enquanto o oposto, possibilita maior infiltração.

O escoamento superficial irá influenciar instantaneamente o nível d'água dos corpos hídricos, enquanto que o tempo de resposta é altamente variável para o fluxo subterrâneo, em consequência de ser dependente da permeabilidade em subsuperfície. Dessa maneira, a água em excesso no aquífero livre, pode ocasionar no escoamento com uma duração na escala de meses. Portanto, a média móvel anual é mais adequada para observação da correlação entre a precipitação e o nível d'água do canal SG, onde observa-se uma correlação moderada. Adicionalmente, essa provavelmente não é maior, em consequência da ocorrência de incertezas de medição e de ventos.

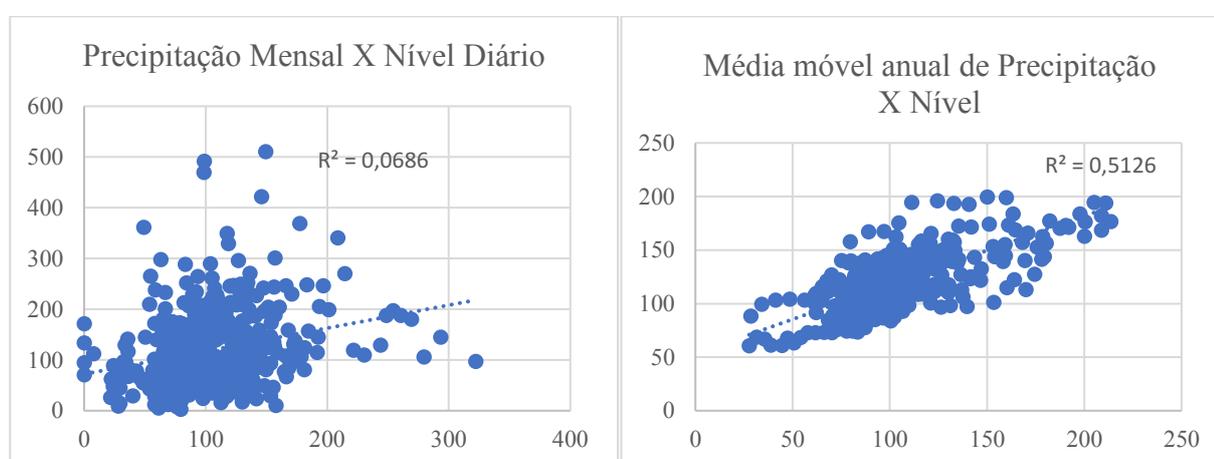


Figura 3.3.7 – Gráficos de correlação da precipitação com os níveis d'água à montante da obra do canal SG, obtidos desde 1979 até 2017. Na escala vertical encontram-se os valores de precipitação (em mm) e o nível d'água (em cm). A esquerda valores mensais e a direita valores de médias móveis anuais.

3.3.3.2 NÍVEIS MÉDIOS DE ÁGUA DA LAGOA DOS PATOS

Com base nos registros históricos dos níveis médios de água da Lagoa dos Patos (Fig. 3.3.8), observaram-se dois anos onde ocorreram os maiores valores medidos, referentes aos anos de 1987 e de 2015. Estes anos foram correspondentes com épocas de ocorrência do fenômeno El Niño, com valores de 1,56 metros e 1,55 metros, respectivamente.

Por outro lado, no início dos anos de 1989, 1990 e 2000 registraram-se os menores valores de níveis médios de água, estes anos são coincidentes com a atuação dos fenômenos La Niña.

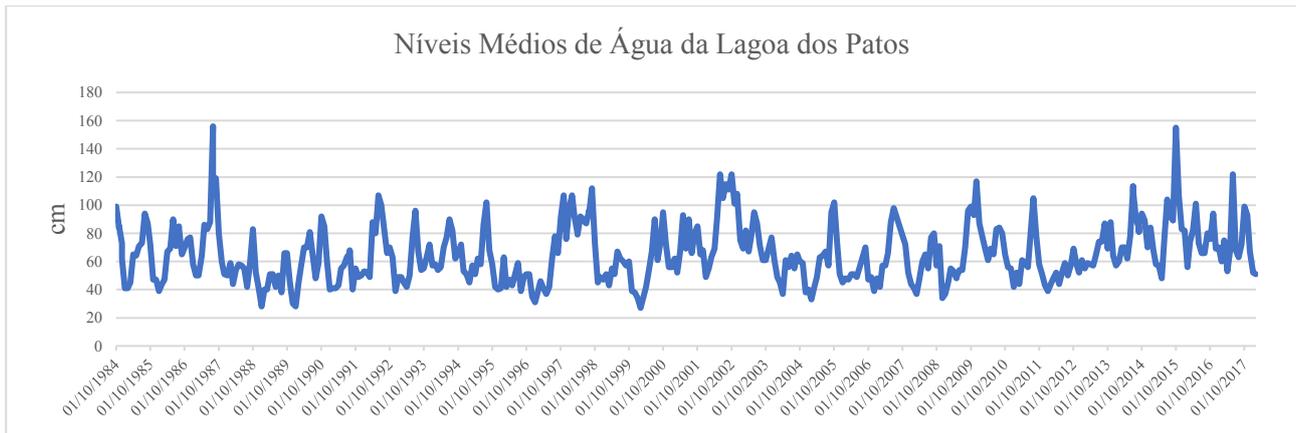


Figura 3.3.8 - Dados históricos dos níveis médios das águas da Lagoa dos Patos, coletados entre os anos de 1984 até 2017.

3.3.3.3 NÍVEIS DE ÁGUA DA LAGOA MIRIM

Baseada na série histórica dos níveis médios de água da Lagoa Mirim (Fig. 3.3.9), analisaram-se dois anos onde foram registrados valores máximos, relacionados aos anos de 1984 e de 2002, com valores de 521 centímetros e 462 centímetros, respectivamente.

Já, nos anos de 1990 e 2000, analisaram-se valores baixos, estes anos são referentes as épocas de La Niña. Infelizmente, nos anos de 1991 e de 2011 os dados não estavam disponíveis para análise.

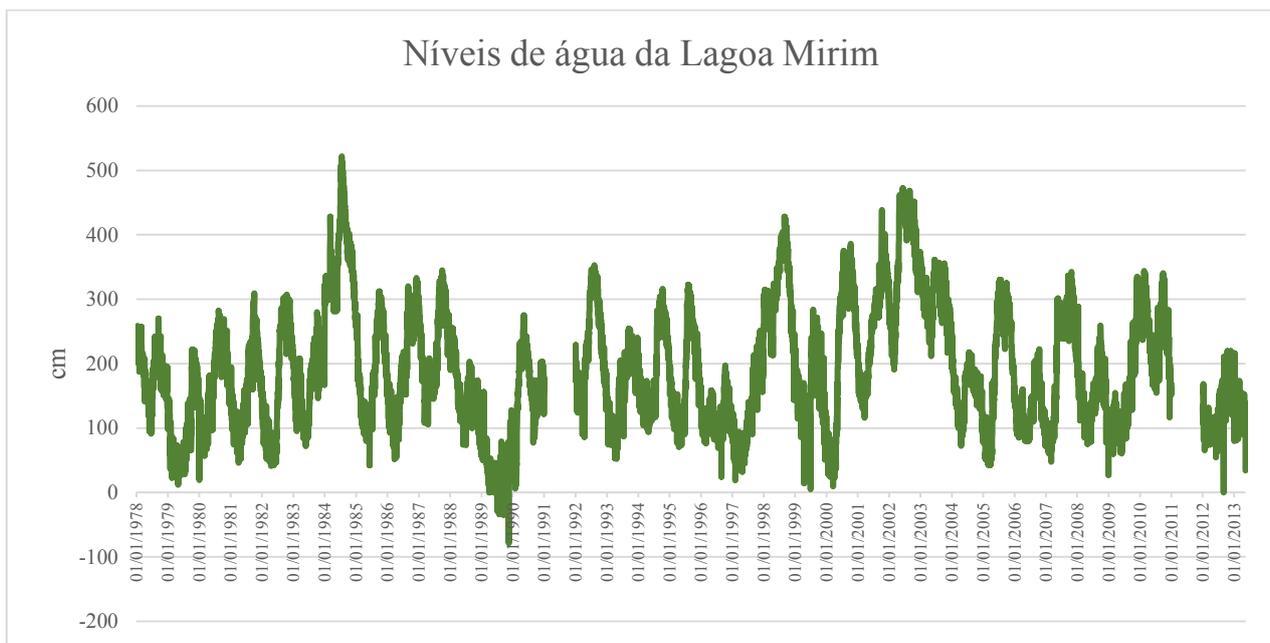


Figura 3.3.9 - Série histórica dos níveis d'água da Lagoa Mirim, medidos entre os anos de 1978 até 2013.

4 DISCUSSÃO

A discussão apresentada nesta dissertação foi subdividida em três partes diferentes. A primeira tem por finalidade discutir os resultados obtidos na margem do canal São Gonçalo localizada na cidade de Pelotas. A segunda parte abrange a discussão sobre os dados compilados do banco arenoso, na margem pertencente a cidade de Rio Grande. E, a terceira parte compreende a discussão sobre o esporão arenoso na Ponta do Silveira, também localizado em Rio Grande.

4.1 EMBOCADURA DO CANAL SG E PROXIMIDADES

Baseada nas fotografias aéreas de 1953 e de 1964, não foi registrado o atual pontal arenoso localizado na região do Pontal da Barra, na praia do Laranjal, em Pelotas. No entanto, com base nas imagens de satélite Landsat dos anos de 1990, 2003, 2010 e de 2017, do mesmo modo, nas imagens históricas do Google Earth Pro dos anos de 1984 até 2017, o desenvolvimento do pontal arenoso foi observado. E conseqüentemente com o crescimento do pontal arenoso para dentro do canal, ocorreu a migração da foz do canal SG. De acordo com Komar (1998), a estrutura de um pontal arenoso pode acarretar no deslocamento da foz de um rio, como por exemplo ocorreu no *River Alde* em Suffolk, na Inglaterra, onde foi registrada a migração de aproximadamente 18 km.

Os eventos de El Niño, principalmente no final da década de 60, durante as décadas de 70 e de 80, provavelmente foram os principais colaboradores para desenvolvimento do pontal arenoso. O canal São Gonçalo possivelmente atuou como um molhe hidráulico, impedindo o transporte de sedimentos, resultando assim na deposição de materiais arenosos no Pontal da Barra (Apêndice 8.6). Da mesma maneira, Fischer (2005) registrou áreas de progradação localizada na porção sul da praia do Laranjal. A autora sugeriu que os sedimentos possivelmente provenientes de praias da porção norte, poderiam permanecer aprisionados neste local, em consequência de encontrarem-se nas adjacências do canal SG (Fischer, 2005).

Analisando os fatores meteorológicos por meio da série histórica de ventos, foram observados de maneira geral dois padrões distintos de ventos, que atuaram durante os anos de 1971 a 2017. Sucintamente, entre os anos de 1971 a 2000 ocorreram a predominância de ventos dos quadrantes nordeste, leste e sudoeste. No entanto, a partir de 2001 a 2017 notou-se uma alteração no padrão de ventos, onde ventos das direções sudoeste, nordeste e oeste, tem maior incidência. Segundo Karsburg (2016), à jusante da obra, a velocidade máxima do vento é um fator relevante na variação de nível de água do canal São Gonçalo, bem como aborda-se a alteração do nível em consequência da ocorrência dos ventos provenientes de sudeste, sul e oeste.

Os padrões de ventos mencionados podem ter atuado como auxiliares/responsáveis pela formação do pontal arenoso. Conforme Garrison (2010) os ventos formam ondas que atingem a linha de costa em um ângulo e mesmo sofrendo refração nas zonas menos profundas, ainda apresentam algum ângulo, transportando sedimentos ao longo da costa. Nesta dissertação, considerando que os ventos do quadrante nordeste predominam e a linha de costa é orientada N-S, estas observações são coerentes com o resultado obtido, onde verificou-se a tendência de transporte de sedimentos para a direção sul-sudoeste.

Logo, os ventos das direções nordeste e leste possivelmente foram os principais responsáveis pela formação do pontal arenoso, supostamente atuaram como pivô inicial causador do recuo da linha de costa no Pontal da Barra. Desse modo, os mesmos ventos favoreceram o represamento das águas do canal São Gonçalo. Portanto, os ventos de nordeste podem ter sido os principais agentes transportadores dos sedimentos para a direção sudoeste. Conforme Villwock e Tomazelli (2007) os ventos formam ondas que contribuem para a ocorrência de erosão e de deposição de sedimentos, sendo a atuação das ondas formadas pelos ventos, as encarregadas pelo desenvolvimento do formato da Lagoa dos Patos.

Os efeitos dos fenômenos de La Niña, possivelmente, acarretaram períodos prolongados de menor vazão do canal São Gonçalo, juntamente com a ação dos ventos, com orientação preferencial dos quadrantes nordeste, registrados na década de 70. A atuação preferencial dos ventos do quadrante nordeste segundo o relatório da CLM (1970a) favorecem a entrada das águas salgadas na Lagoa Mirim. Portanto, o represamento juntamente com os efeitos prolongados dos fenômenos de La Niña, assim como, somada a construção da obra, podem ter contribuído para uma diminuição dos níveis d'água do canal (em relação a laguna). Estes fatores podem ter colaborado para o represamento das águas do canal, criando assim espaço para a deposição de sedimentos na região do Pontal da Barra.

O fluxo do canal pode ter se comportado como uma barreira, impedindo que os sedimentos provenientes de nordeste continuassem o seu transporte para a direção sul, resultando assim na deposição de sedimentos neste local. Por outro lado, o crescimento do pontal arenoso pode estar ligado a ocorrência de um baixo fluxo do canal São Gonçalo em relação ao efeito da deriva litorânea. Portanto, se o fluxo do canal São Gonçalo é menor, o pontal arenoso apresenta maior possibilidade de desenvolvimento principalmente para a direção sudoeste, caso contrário o pontal arenoso se desenvolverá preferencialmente para a direção sudeste (em direção à Lagoa dos Patos).

Os valores de precipitação ao longo das décadas de 80 e 90 mantiveram-se geralmente acima da média móvel, corroborando com o trabalho de Hartmann et al. (1986), segundo os autores no ano de 1984 foi registrado um fenômeno excepcional resultando em inundações na região do canal SG.

Nos anos seguintes, especificamente nos anos de 1985 a 1986 e em 1988 a 1989, os valores de precipitação observados nesta dissertação, não se mantiveram acima da média. Entretanto, o nível de água do canal São Gonçalo esteve na maioria das vezes acima da média móvel, alcançando o seu auge no ano de 1984, com valores máximos de 3,6 metros. Avaliando estas características observou-se que o pontal arenoso não foi extinto, independente do alto nível d'água do canal São Gonçalo.

Com base no gráfico de erosão da linha de costa, referente aos dados coletados do Pontal da Barra, percebeu-se que os maiores valores de recuo da linha de costa ocorreram em períodos de efeitos do fenômeno de El Niño. Segundo Komar & Holman (1986) a erosão registrada em 1982-1983 na costa da Califórnia e *Oregon*, possivelmente foi resultante de ondas provocadas pelo fenômeno El Niño, um dos fatores contribuintes para a ocorrência da erosão. Da mesma maneira, Revell et al. (2002) nos anos de 1997 – 1998, registraram erosão na costa de *Oregon*, causados pelo fenômeno El Niño, o qual foi responsável pelo aumento dos níveis médios de água, assim como outros fatores como por exemplo, o aumento da influência da maré. Do mesmo modo, segundo Ludka et al. (2016) o fenômeno El Niño atuante entre os anos de 2015-2016, causou erosão no sul da Califórnia. De acordo com os autores, em fevereiro de 2016, os efeitos do fenômeno prejudicaram uma parte da rodovia principal, localizada na *Torrey Pines Beach*.

Os anos de 2015 e de 2017 apresentaram os maiores valores de erosão, possivelmente foram consequências dos efeitos da atuação do El Niño. Durante estes anos, foram registrados valores elevados de níveis de água do canal São Gonçalo, assim como foram medidos altos valores de níveis médios da laguna, além disso, do mesmo modo, a média móvel anual da precipitação estava acima da média. Registrou-se a ocorrência de predomínio de ventos do quadrante nordeste. Enquanto em épocas da atuação do fenômeno La Niña, como nos anos de 2012 e de 2013, registraram-se os menores valores de erosão da linha de costa.

Da mesma maneira, os gráficos referentes aos valores de áreas estimadas de acreção do pontal arenoso e os valores estimados de deposição de sedimentos em direção ao canal São Gonçalo, entre 2011 a 2017, mostraram os menores valores em épocas de atuação do fenômeno de La Niña. Entretanto, os maiores valores de áreas estimadas de acreção do pontal arenoso e os maiores valores de deposição de sedimentos foram registrados em anos de ocorrência do fenômeno de El Niño, exceto no ano de 2015. Neste ano, o nível d'água da Lagoa dos Patos estava extremamente elevado, ficando abaixo apenas do nível d'água registrado em 1987.

Foram estimados os recuos da linha de costa no Pontal da Barra, constatou-se uma erosão da linha de costa de cerca de 1,4 metros por ano. Da mesma maneira, Lemke (2015) registrou em um período de 57 anos (desde 1953-2010) a ocorrência de erosão de 1,4 metros por ano na porção norte

do Arroio Carahá, assim como progradação média de 0,18 metros por ano na parte sul da desembocadura.

Os maiores valores estimados de perda de material sedimentar ocorreram nos anos de 2015 e de 2017. Adicionalmente, durante estes anos foram evidenciadas, através de imagens de satélite, a remobilização de sedimentos para a direção sudoeste.

Entre os anos de 2014 a 2015, nas proximidades da via de acesso ao pontal arenoso, na Av. Dr. Antônio Augusto de Assunção, registraram-se os maiores valores de erosão. Este fato pode ser confirmado pela reconstrução da estrada noticiada pelo jornal local, em outubro de 2014. No entanto, em novembro de 2015, foi construída uma nova estrada, paralelamente a antiga via (JA, 2017).

Nos anos de 2015 e 2016, visualizaram-se por meio de imagens de satélite, uma maior disponibilidade de sedimentos (migração da flecha registrada na Figura 3.1.1E e 3.1.1F), logo, são coincidentes com os maiores valores de áreas estimadas do pontal arenoso no ano de 2017.

Portanto, os fatores de erosão na região do Pontal da Barra podem estar correlacionados principalmente com a predominância dos efeitos dos fenômenos El Niño, ocorridos no final do ano de 2014 a 2016. Durante esta fase, o nível médio d'água da Lagoa dos Patos, assim como o nível d'água do canal São Gonçalo, encontravam-se constantemente acima da média móvel. Semelhantemente, verificaram-se valores da média móvel anual da precipitação acima da média. Estes fatores, provavelmente foram os principais agentes colaboradores, que propiciaram as condições necessárias para a erosão da linha de costa na região do Pontal da Barra. Já, a atuação do vento, predominantemente do quadrante nordeste, possivelmente foi o agente principal de transporte dos sedimentos, por meio das correntes de deriva litorânea, principalmente para a direção sudoeste.

Por outro lado, foram analisados pontos de acreção na praia do Laranjal, especificamente no Balneário Santo Antônio. Estas mesmas características foram documentadas por Fischer (2005); Fischer e Calliari (2011). Em sua pesquisa, Fischer (2005) estimou entre os anos de 1971 e 1980 uma maior taxa de deposição de sedimentos (em comparação com os anos de 1971-1995 e 1980-1995). Com isto, diagnosticou-se que nos anos seguintes a praia permaneceu acumulando sedimentos, no entanto, com valores mais baixos de acumulação (Fischer, 2005).

Conforme Fischer e Calliari (2011) duas hipóteses foram propostas para a explicação de pontos de progradação na praia do Laranjal. A primeira hipótese baseia-se na ocorrência de deriva litorânea para a direção sul; já para a segunda hipótese, foi atribuído um transporte bidirecional.

Logo, pode-se sugerir a ocorrência da primeira hipótese indicada por Fischer e Calliari (2011) geralmente acontecendo na praia do Laranjal, principalmente entre os anos de 2011-2017, tendo em vista a identificação de movimentação de bancos arenosos, especificamente para a direção sul, visualizadas por meio de imagens de satélite. Em consequência, a mobilização de sedimentos para a

direção sul, corrobora com a formação de dois esporões arenosos nas proximidades da embocadura do canal São Gonçalo.

Sucintamente, observando as imagens Landsat adquiridas entre os anos de 1990 a 2010, na região do Pontal da Barra, o pontal arenoso apresentou um crescimento constante. Ao longo destes anos, registraram-se ventos provenientes de diferentes quadrantes. Mas, no ano de 2017 diferindo da observação do período de 2010 a 2017, foi analisado um crescimento acelerado do pontal arenoso.

Em 1990, os ventos predominantes foram das direções leste e nordeste, as médias móveis de precipitação e do nível de água do canal mantiveram-se abaixo da média, enquanto que a média móvel dos níveis das lagoas, estiveram geralmente acima da média.

No ano de 2003, os ventos predominantes registrados foram de sudoeste e oeste. Os valores de média móvel de precipitação, assim como de nível de água do canal e os níveis das lagoas estavam acima da média. Enquanto no ano de 2010, destacaram-se os ventos predominantes de oeste, em primeiro lugar e do quadrante sudoeste e nordeste, em segundo. A média móvel da precipitação registrada durante estes anos e as médias móveis dos níveis d'água do canal e das lagoas estavam geralmente acima da média. Entretanto, a partir de 2017, a média móvel da precipitação encontrava-se abaixo da média. Mas, a média móvel de nível d'água da Lagoa dos Patos registrava valores acima da média. Além disso, os ventos provenientes foram dos quadrantes nordeste e sudoeste. Infelizmente, os níveis de água do canal SG e da Lagoa Mirim não estavam disponíveis para comparação durante este ano.

Dessa forma, possivelmente o crescimento elevado das áreas estimadas do pontal arenoso, entre os anos de 2011 até 2017, esteve relacionado principalmente com a atuação dos ventos dos quadrantes NE e SW, somadas as médias móveis de níveis d'água da Lagoa dos Patos na maioria das vezes apresentando-se constantemente acima da média.

Com base na primeira imagem histórica analisada do Google Earth, adquirida do ano de 2011, é evidenciada a geometria do pontal, principalmente na porção leste, onde apresenta uma geometria mais curvilínea. Os ventos predominantes foram das direções nordeste e sudoeste, as médias móveis de precipitação, de níveis de água do canal São Gonçalo e da Lagoa dos Patos encontravam-se abaixo da média.

Em seguida, na imagem referente do ano de 2012, registraram-se modificações da geometria do pontal arenoso, a estrutura apresentava-se com um formato mais retilíneo, especificamente na porção leste da feição. Também, observa-se uma acreção na ponta do esporão, com direção preferencial para o interior do canal. Neste ano, as características de ventos e de precipitações foram similares com as informações coletadas do ano de 2011, assim como, registraram-se valores abaixo da média móvel para os níveis médios de água da Lagoa dos Patos e os níveis d'água do canal SG.

Provavelmente, entre os anos de 2011 a 2012, em consequência do decréscimo da média móvel dos níveis de água (do canal e da Lagoa dos Patos abaixo da média), somadas ao alto aporte de sedimentos, juntamente com a atuação do ventos predominantemente do quadrante nordeste, resultaram na formação de uma feição denominada de ‘ponta’ com crescimento para o interior do canal, com direção preferencial para sudoeste.

O formato retilíneo do pontal arenoso foi analisado novamente, em imagens de satélite do ano de 2013. Porém, a feição denominada de ‘ponta’ apresentou-se transportada levemente para a direção sudeste (em direção a Lagoa dos Patos). Possivelmente, esta feição foi transportada, devido à atuação similar dos ventos dos quadrantes nordeste e sudoeste, assim como os efeitos dos níveis d’água, onde o canal SG apresentou valores de média móvel abaixo da média e de forma semelhante, os dados de níveis da Lagoa dos Patos foram registrados geralmente abaixo da média.

Mas, no ano de 2014, visualizou-se a modificação da geometria do pontal, alterando de uma estrutura retilínea para uma geometria curvilínea, com a presença de uma curvatura na porção leste. Possivelmente, esta feição pode ser consequência dos efeitos dos níveis de águas do canal São Gonçalo apresentar valores de média móvel acima da média. Da mesma maneira, ocorreu uma modificação na ‘ponta’ do esporão arenoso, com o desaparecimento de sua estrutura. No ano de 2014, os ventos predominantes apresentaram valores similares, registrados dos quadrantes nordeste e sudoeste. No entanto, a média móvel do nível de água do canal elevou-se acima da média, em contraposição com o ano de 2013. Destaca-se o alto suprimento sedimentar proveniente da direção nordeste visualizadas na imagem do ano de 2014 (Figura 3.1.1D). Com base nesta imagem, pode-se argumentar a ocorrência da deriva litorânea, atuando principalmente para a direção sudoeste.

Semelhantemente, no ano de 2015, o pontal arenoso manteve-se curvilíneo, percebe-se uma alta mobilização de sedimentos oriundos da direção nordeste. Além disso, constatou-se a constante acumulação de sedimentos na porção leste do pontal arenoso. Neste ano, os ventos predominantes apresentaram valores altos de incidência (mais de 80%) da direção nordeste. Já, a média móvel de nível de água do canal, manteve valores elevados acima da média, alcançando o nível máximo d’água de 2,3 metros. Da mesma forma, os valores da média móvel dos níveis da Lagoa dos Patos e de precipitação estavam acima da média. Cita-se que, possivelmente, estas características são resultantes do fenômeno de El Niño.

No ano de 2016, registrou-se a ocorrência de intensa remobilização de sedimentos para sudoeste, onde é possível visualizar (Figura 3.1.1F), em consequência da disponibilidade de um elevado aporte de sedimentos, um evento de confinamento de um pequeno corpo d’água.

Outra análise importante referente ao ano de 2016, foi a ocorrência de uma taxa de erosão no pontal arenoso, que ocasionou no estreitamento da estrutura em ambos os lados, ou seja, na margem

oeste e leste da feição arenosa. O evento de erosão, pode ter ocorrido devido à média móvel de nível d'água encontrar-se acima da média, chegando a atingir o valor máximo de 2,18 metros. Similarmente, a média móvel dos níveis da laguna e a precipitação marcavam valores acima da média. Enquanto, a atuação dos ventos predominantes do quadrante nordeste apresentaram um decréscimo dos seus valores, proporcionando estimativas similares entre as direções NE (38,4%) e SW (34,5%).

No ano de 2017, avaliou-se um aumento da largura do pontal arenoso para a direção leste. Consequentemente, observa-se o desaparecimento do laguinho, supostamente esta característica é resultante da contínua migração do banco arenoso para sudoeste. Neste período o vento predominante foi registrado principalmente do quadrante nordeste, com valores atuantes de 95%. A média móvel dos níveis d'água da Lagoa dos Patos apresentava valores acima da média. Entretanto, a média móvel do nível d'água do canal para o ano de 2017, não estava disponível para comparação.

As imagens de satélite evidenciaram uma mudança na direção de crescimento do pontal arenoso, este fato provavelmente ocorre devido à uma variação do nível de água do canal São Gonçalo. Quando os valores de níveis d'água do canal SG experimentam decréscimo, o pontal apresenta uma maior possibilidade de desenvolver-se para sudoeste. Entretanto, quando o nível de água do canal aumenta, o pontal arenoso apresenta um crescimento para sudeste. Sugere-se a ocorrência de uma corrente litorânea atuando como um vetor, com valores maiores do que o vetor do fluxo do canal SG, em consequência disso, provavelmente o pontal arenoso passa a desenvolver-se para o interior do canal São Gonçalo. Caso contrário, o pontal arenoso apresenta uma geometria de crescimento para a direção da Lagoa dos Patos.

O crescimento do pontal arenoso para o interior da embocadura do canal São Gonçalo consistiu em cerca de 3,5 metros por ano. Assim, o pontal arenoso resultou no decréscimo da largura do canal, em consequência da deposição de sedimentos, em uma área que avança da margem para dentro do canal SG, totalizando cerca de 133 metros. Assim, o pontal arenoso resultou na migração da entrada do canal para a direção sul. Semelhantemente, observaram-se as migrações das desembocaduras nas adjacências dos rios Paraíba do Sul e Jequitinhonha documentados por Dominguez et al. (1983), segundo os autores, foram verificadas que a deriva litorânea e a deposição de sedimentos foram os principais colaboradores para os deslocamentos das desembocaduras.

4.2 BANCO ARENOSO NA MARGEM PERTENCENTE A CIDADE DE RIO GRANDE

Nas imagens de maior resolução são visíveis bancos arenosos nas proximidades da embocadura do canal São Gonçalo, continuamente acumulando sedimentos no banco e sendo erodidos. Também foram registrados bancos arenosos, em constante retrabalho, mesmo em imagens de satélite de menor resolução.

Observaram-se áreas de acreção e de erosão da margem localizada no território da cidade de Rio Grande. A análise dos pontos de acreção podem indicar um predomínio da hidrodinâmica, resultante do vento do quadrante nordeste. Proporcionando por meio destes ventos, a incidência oblíqua das ondas que favoreceram o transporte e a deposição neste local.

No banco arenoso observou-se através da série anual de imagens (coletadas entre os anos de 1984 até 2017) que as maiores áreas estimadas de deposição de sedimentos ocorreram em períodos de efeitos de La Niña. Por outro lado, nos anos marcados pela presença dos fenômenos de El Niño registraram-se a ocorrência de decréscimo de sedimentos, exceto no ano de 2004.

Nos anos de 1989, 2006 e em 2012 ocorreram o fenômeno de La Niña. Para o ano de 1989, estimou-se uma vasta área de acumulação de sedimentos. Os ventos predominantes durante este ano ocorreram nas direções leste e nordeste, favorecendo o aprisionamento das águas do canal São Gonçalo. Neste ano, os valores das médias móveis da precipitação, de níveis de água do canal e dos níveis d'água das lagoas estavam abaixo da média.

Nos anos de 1992 a 2001, não foram registradas a ocorrência de deposição de sedimentos neste local. Durante estes anos, ventos predominantes foram medidos do quadrante NE, exceto no ano de 1993. Em 1993, ocorreram ventos provenientes da direção SW e conseqüentemente foi registrada a acumulação de sedimentos nesta região.

O maior valor de área calculada ocorreu no ano de 2004, neste ano o fenômeno de El Niño atuou, em consequência disso foi registrada uma alta taxa de precipitação na estação de Capão do Leão, de aproximadamente 491 mm. Durante este ano, mediu-se um decréscimo dos níveis de água do canal SG, com registro de no máximo 1 metro. Os padrões dos ventos predominantes apresentaram uma variação, ocorreram principalmente para as direções de sudoeste, oeste e nordeste. A alteração do ciclo dos ventos somado aos baixos níveis d'água do canal, podem ter contribuído para a ocorrência de um maior escoamento das águas para a direção da Lagoa dos Patos e, portanto, uma maior taxa de erosão dos barrancos do corpo hídrico, procedendo em um elevado aporte de sedimentos disponíveis para a deposição na embocadura.

Já, no ano de 2006, os valores estimados de acumulação de sedimentos foram menores, em comparação com a estimativa do ano de 2004. Registram-se ventos predominantes dos quadrantes oeste e nordeste. E as médias móveis dos níveis de água coletados das lagoas encontravam-se abaixo da média.

Enquanto que no ano de 2012, identifica-se novo auge na acumulação de sedimentos. Neste período, ocorreu predominância dos ventos dos quadrantes nordeste e sudoeste. Já, as médias móveis de precipitação, dos níveis de água das lagoas e dos níveis d'água do canal tem patamares abaixo da média, onde o nível do canal São Gonçalo esteve em torno de 30 cm abaixo do nível médio.

No final do ano de 2014, destaca-se uma diminuição do banco arenoso, onde foi registrado o menor valor de área estimada. Este fator provavelmente foi derivado da atuação dos ventos predominantes que apresentaram valores similares dos quadrantes nordeste e sudoeste, junto com as elevações das médias móveis acima da média dos níveis d'água da Lagoa dos Patos e do nível do canal SG (este atingindo 2,02 metros).

4.3 ESPORÃO ARENOSO NA PONTA DO SILVEIRA

A avaliação em escala decadal possibilitou monitorar o desenvolvimento do esporão arenoso. Inicialmente na década de 70, a estrutura apresentava-se com múltiplas direções de crescimento, além disso, com formato recurvado. Na ponta do esporão, segundo Garrison (2010), pode apresentar uma curvatura resultante da atuação das ondas, porém, ao redor desta estrutura são refratadas. Conforme Bird (1994) as curvas podem ser preservadas, como por exemplo, ocorreu na costa oeste da África *Langue de Barbie* (o desenvolvimento da estrutura resultou no desvio da foz do *Senegal River* 30 km) (Guilcher e Nicholas, 1954 *apud* Bird, 1994), da mesma maneira, ocorrem curvas preservadas na costa oeste de *Sri Lanka* (Swan, 1982 *apud* Bird, 1994).

Posteriormente, com o passar dos anos, o esporão arenoso localizado na Ponta do Silveira não apresentou mais o formato curvilíneo. A estrutura exibiu um único padrão, com direção preferencial de desenvolvimento para sudoeste.

Em outras localidades também foram observadas a ocorrência de esporões arenosos, especialmente em lugares onde os efeitos da atuação da maré são mínimos. Segundo Taylor & Shaw (2002) na *Nova Scotia*, registraram-se por meio de fotografias aéreas e vídeos aéreos, a presença de esporões arenosos no corpo hídrico semi-fechado *Bras D'Or Lakes*, assim como tombolos e outras estruturas. Nesta região da *Nova Scotia*, a maré é de aproximadamente 0,18 metros na porção central do corpo hídrico.

Entre os anos de 1990 e em 2003, o esporão arenoso localizado na Ponta do Silveira, apresentou crescimento de cerca de 125 metros. Adicionalmente, durante os anos de 2003 a 2010, o esporão desenvolveu-se aproximadamente 133 metros. Resumidamente, foi possível constatar acreção do esporão arenoso em épocas de atuação do fenômeno La Niña. Entretanto, durante o período de El Niño, registrou-se pontos de erosão da estrutura sedimentar.

No ano de 2012, o esporão arenoso permaneceu desenvolvendo-se, crescendo preferencialmente para a direção sudoeste. Alguns fatores atuantes, como os ventos predominantes foram observados nas direções nordeste e sudoeste. Além disso, as médias móveis dos níveis de água do canal e dos níveis da laguna apresentaram valores abaixo da média, presumidamente resultantes dos efeitos prolongados da atuação do fenômeno La Niña.

Referente ao ano de 2013, o esporão apresentou uma área mais desenvolvida. A média móvel do nível do canal encontrava-se acima da média, seu valor máximo marcava 1,5 metros. Da mesma forma, o nível da laguna exibiu uma elevação em relação ao ano anterior. Os registros de ventos dos quadrantes nordeste e sudoeste mostraram incidência equivalente.

No ano de 2014, os ventos predominantes atuaram de maneira semelhante, sendo provenientes dos quadrantes nordeste e sudoeste. Os níveis de água do canal apresentaram elevação, registrando valor máximo de 2,02 metros. Do mesmo modo, os níveis d'água da laguna estiveram geralmente acima da média. Porém, neste ano ocorreu um afinamento da estrutura, principalmente na porção central do esporão arenoso, favorecendo o seu rompimento. Sugere-se que, provavelmente, o “alimentador” do esporão arenoso registrou um déficit de aporte sedimentar neste intervalo de tempo. Conforme Zenkovich (1967) o processo erosivo do esporão arenoso ocorre devido a uma diminuição ou interrupção do aporte de sedimentos, favorecendo assim na ruptura da estrutura arenosa.

Os ventos registrados preferencialmente da direção nordeste e sudoeste, juntamente com a precipitação e os níveis de água (com médias móveis acima da média), somados ao déficit de sedimentos do banco arenoso, supostamente foram os principais responsáveis pelo afinamento na parte central do esporão, resultando na sua ruptura. Diagnosticou-se com a ocorrência deste evento a formação de uma enseada. Um episódio parecido ocorreu no *Lake Erie*, de acordo com Davidson-Arnott e Fisher (1992) no ano de 1985, foi registrada a ocorrência de *overwash* no esporão arenoso *Long Point* e conseqüentemente, resultou na formação denominada pelo autor de *inlet*. Segundo os autores, da mesma maneira no ano de 1987, ocorreu uma tempestade provocando novamente a ocorrência de *overwash* na estrutura.

Em 2015, um déficit no aporte de sedimentos foi registrado, provavelmente devido aos ventos predominantes com altos valores na direção NE (80%), juntamente com o elevado nível do canal (alcançando aproximadamente 2,25 metros) resultante dos efeitos de El Niño. Da mesma forma os valores encontravam-se elevados no ano de 2016, onde o nível de água do canal atingiu o valor máximo de 1,9 metros, assim como as médias móveis dos níveis d'água da laguna com estimacões geralmente acima da média. Porém, os ventos de nordeste apresentaram uma queda da sua atuação, exibindo incidência semelhante entre as direções nordeste e sudoeste.

No ano de 2017, os ventos predominantes da direção nordeste voltam a apresentar predomínio, com 95% de incidência. O acompanhamento detalhado do desenvolvimento do lagamar mostra um estágio inicial de erosão da estrutura, principalmente na porção esquerda da feição.

Futuramente, se ocorrer um elevado aporte de sedimentos disponíveis neste local, poderá desencadear na formação de uma barreira, ou seja, eventualmente acarretará no fechamento desta feição arenosa e conseqüentemente, no isolamento de um pequeno corpo de água. Caso contrário, se

ocorrer um déficit de sedimentos, teoricamente resultará na erosão das estruturas, assim causando o desaparecimento do lagamar.

A redução da área do banco de areia não pode ser justificado como um artefato criado apenas pela subida dos níveis d'água, conseqüentemente encobrindo o banco, visto que, junto aos ciclos de acreção e erosão, é observado o deslocamento sistemático do banco de areia para a direção sul.

É possível afirmar que os esporões arenosos localizados no Pontal da Barra e na Ponta do Silveira apresentaram em um curto intervalo de tempo formas variadas. Os mesmos são influenciados diretamente pelos agentes dinâmicos, principalmente pelo vento de direção dominante do quadrante nordeste. Neste contexto, destaca-se a atuação da deriva litorânea, responsáveis por transportar os sedimentos para a direção sudoeste. Usualmente, processos erosivos são favorecidos em períodos de elevada precipitação e aumento dos níveis dos corpos d'água, enquanto que a acumulação de sedimentos, é favorecida em períodos opostos.

5 CONCLUSÃO

De acordo com as fotografias aéreas, somadas com a análise decadal de imagens dos satélites Landsat, assim como, o detalhamento anual com imagens do Google Earth Pro, resultaram na elaboração de desenhos ilustrativos, assim como mapas temáticos, que foram fundamentais para o entendimento das variações ocorridas na linha de costa. Além disso, contribuíram para a compreensão da dinâmica natural atuante na embocadura do canal São Gonçalo, na ligação com a Lagoa dos Patos, entre os anos de 1953 a 2017.

Com base nas sobreposições dos contornos da linha de costa obtidos por meio das imagens Landsat, foi possível constatar a ausência de alterações significativas ao longo do canal São Gonçalo, principalmente posteriormente a construção da barragem eclusa, ocorrida em 1977. Por outro lado, na embocadura do canal, nas adjacências da Lagoa dos Patos, foram verificadas áreas de constantes modificações. Os mapas temáticos apontaram o desenvolvimento de dois esporões arenosos nas proximidades da embocadura do canal SG, um localizado na cidade de Pelotas, no Pontal da Barra na praia do Laranjal e outro em Rio Grande, na Ponta do Silveira, salienta-se que as modificações continuam atuando constantemente. Além disso, observou-se que os eventos de El Niño e de La Niña influenciam diretamente no canal São Gonçalo.

Os principais agentes colaboradores para a formação do pontal arenoso, possivelmente, foram resultantes dos efeitos do fenômeno de El Niño. Visto que foram estimados elevados valores de erosão, principalmente em épocas com a ocorrência deste fenômeno, assim como elevadas estimativas de deposição de sedimentos avançando para dentro do canal São Gonçalo.

O pontal arenoso atua como uma barreira possivelmente influenciando a hidrodinâmica do canal São Gonçalo. Neste local, ocorre continuamente a deposição de sedimentos principalmente para o interior do canal, conseqüentemente causando a diminuição da largura do corpo hídrico. Atualmente, o pontal apresenta aproximadamente 133 metros de extensão para dentro do canal.

Com base nos mapas temáticos foram quantificadas as taxas de progradação e de erosão das unidades geomorfológicas costeiras. Entre os anos de 2014 a 2015, no Pontal da Barra foram analisados valores elevados de erosão da linha de costa, principalmente nas proximidades da estrada de acesso ao pontal arenoso, na rua Av. Dr. Antônio Augusto de Assunção. Estas informações podem ser corroboradas com as obras na estrada executadas nos últimos anos, noticiadas pelo jornal local.

Sugere-se que a atuação dos ventos de predominância NE foram os indutores dos eventos de recuo da linha de costa no Pontal da Barra. Possivelmente, os sedimentos depositados no pontal arenoso são provenientes de locais de erosão adjacentes, especificamente da via de acesso ao pontal. O elevado aporte de sedimentos disponíveis, juntamente com a atuação dos ventos do quadrante NE

favorecera a remobilização dos sedimentos, sendo transportados pela deriva litorânea, com migração preferencial para SW.

O esporão arenoso localizado na Ponta do Silveira alcançou o seu maior comprimento no ano de 2013. Porém, no ano de 2014, analisou-se o estreitamento na parte central do esporão, provavelmente pela baixa disponibilidade de sedimentos, acarretando no seu rompimento. Com este fenômeno ocasionou na formação de um lagamar na laguna.

O alto aporte sedimentar retirado da região do Pontal da Barra pode ter sido ocasionado por fatores naturais, principalmente pela ação dos ventos NE, que formam as ondas oblíquas. Estes sedimentos são transportados pela deriva litorânea com direção predominante para sudoeste. Os sedimentos acumularam-se no pontal arenoso possivelmente desde o final da década de 60 ou durante as décadas de 70 e 80, depositaram-se para dentro da embocadura do canal São Gonçalo e permanecem acumulando-se neste local.

Portanto, este trabalho auxilia no entendimento das mudanças ocorridas na praia do Laranjal. O estudo tentou buscar a compreensão da constante erosão ocorrida no Pontal da Barra. Estes dados podem fornecer informações, principalmente aos órgãos gestores, para a busca de soluções, com o objetivo de minimizar os impactos às comunidades situadas nas áreas onde ocorrem os processos erosivos. A progradação no Pontal da Barra pode representar um obstáculo a navegação, pois é causador do decréscimo da largura do canal SG, podendo proporcionar modificações ambientais.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Pesquisas mais detalhadas na área de estudo devem ser realizadas, auxiliando no completo entendimento dos processos locais. A embocadura do canal SG apresenta intensa dinâmica sedimentar variando em curtos intervalos de tempo, portanto, recomenda-se a realização de experimentos numéricos para uma maior compreensão dos fatores influenciadores.

Devem ser adquiridos dados referentes ao histórico de duração de tempo em que as comportas mantiveram-se completamente fechadas, bem como outras informações relacionadas a barragem eclusa.

Aconselha-se a aquisição de informações relacionadas a batimetria local e na foz do canal SG sugere-se a utilização de traçadores radioativos, as técnicas podem auxiliar no entendimento das direções principais de transporte de sedimentos.

Variáveis antrópicas também devem ser levadas em consideração, como por exemplo, informações sobre o histórico de dragagens no canal SG e nas áreas adjacentes, bem como se possível, a localização do despejo destes materiais. É também recomendável a busca de informações sobre a passagem de embarcações, pois os mesmos podem intensificar o processo de geração de ondas. Assim como, o impacto da urbanização progressiva nas margens do canal.

Recomenda-se a utilização de um GPS geodésico, afim de criar um banco de dados com uma escala mais precisa (em escala milimétrica). Além disso, indica-se a utilização do Método de Polígono de Mudança para uma estimativa de maior precisão dos valores de erosão e de acreção da linha de costa. Sugere-se também, a elaboração de trabalhos observando a variação da linha de costa em intervalos de 50 em 50 metros. Aconselha-se a elaboração de novos trabalhos em áreas adjacentes, intensificando as observações da variação da linha de costa.

Por fim, aconselha-se principalmente o contínuo monitoramento da área de estudo em microescala. Indica-se uma avaliação em escalas semanais e em diferentes estações do ano, bem como uma análise da intensidade e da frequência de outros fatores ambientais, com a finalidade de avaliar o recuo da linha de costa num pequeno intervalo de tempo. Considerando também a necessidade de mais observações de campo.

7 REFERÊNCIAS

ALM. Página Eletrônica da Agência da Lagoa Mirim, 2017. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/alm/bacia-da-lagoa-mirim>. Acessado em setembro de 2017.

ANA. Página Eletrônica da Agência Nacional de Águas. Página Eletrônica. 2017. Disponível em: www3.ana.gov.br/. Acessado em maio de 2018.

ANTIQUEIRA, J. A.; CALLIARI, L. J.; FONTOURA, J. A. S. Evolução Geomorfológica de um esporão arenoso na desembocadura da Lagoa dos Patos, RS, Brasil – Resultado de 85 anos de monitoramento. **II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**. 2003.

AGROMETEOROLOGIA, 2017. Página Eletrônica do Laboratório de Agrometeorologia. Disponível em: <http://agromet.cpact.embrapa.br/>. Acessado em maio de 2017.

BIRD, E. 1994. Physical Setting and Geomorphology of Coastal Lagoons. In: KJERFVE, B., 1994. **Coastal Lagoon Processes**. Elsevier Oceanography series, v. 60. 577p.

BIRD, E. **Coastal Geomorphology. An Introduction**. 2ª Edition. 411p. 2008.

CLM, 1970a. Barragem do São Gonçalo: Estudo Preliminar de Viabilidade. Volume I: Sumário, Conclusão e Recomendações. Ministério do Interior. Seção Brasileira da Comissão da Lagoa Mirim. **Relatório**. Novembro, 1970. 46p.

CLM, 1970b. Barragem do São Gonçalo: Estudo Preliminar de Viabilidade. Volume II: Generalidades e Estudos Básicos. Ministério do Interior. Seção Brasileira da Comissão da Lagoa Mirim. **Relatório**. Novembro, 1970. 107p.

CLM, 1971a. Barragem do São Gonçalo. Estudo Preliminar de Viabilidade. Volume III: Estudos Hidrológicos. Ministério do Interior. Seção Brasileira da Comissão da Lagoa Mirim. Tomo I. **Relatório**. Março, 1971. p. 94.

CLM, 1971b. Barragem do São Gonçalo: Estudo Preliminar de Viabilidade. Volume III: Estudos Hidrológicos. Ministério do Interior. Seção Brasileira da Comissão da Lagoa Mirim. Tomo II. **Relatório**. Março, 1971.

CLM, 1971c. Barragem do São Gonçalo: Estudo Preliminar de Viabilidade. Volume IV: Investigações Sócio - Econômicas. Ministério do Interior. Seção Brasileira da Comissão da Lagoa Mirim. **Relatório**. Março, 1971. 86p.

CLM, 1971d. Barragem do São Gonçalo: Estudo Preliminar de Viabilidade. Volume V: Engenharia. Ministério do Interior. Seção Brasileira da Comissão da Lagoa Mirim. **Relatório**. Maio, 1971. 85p.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br>>. Acessado em julho de 2017.

CUNHA, N. G. da. 1997. **Caracterização dos solos de São José do Norte, Tavares e Mostardas – RS. Pelotas, RS**. EMBRAPA/CPACT, Ed. UFPel, 47p. : il. Documentos CPACT; 7/94. 2ª Edição.

CUNHA, R. M. P., 2009. **Informações Oceanográficas do Estuário da Lagoa dos Patos avaliadas por Geoprocessamento**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande.

DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Cambridge University Press. Cambridge, 442p, 2010.

DAVIDSON-ARNOTT, R. & FISCHER, J. Spatial and Temporal Controls on Overwash Occurrence on a Great Lakes Barrier Spit. **Can. J.Earth.SCI**. Vol 29, 1992.

DAVIS JR., R. e FITZGERALD, D. M. 2004. **Beaches and Coasts**. Blackwell Publishing. 419 p.

DEAN, R. G. & DALRYMPLE, R. A., **Coastal Processes with Engineering Applications**. Cambridge. Cambridge University Press. 475 p. 2004.

DELANEY, P. J. V, 1962. **Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado. USP.

DOMINGUES, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. O Papel da Deriva Litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**. 13(2):98-105. 1983.

FISCHER, A. 2005. **Morfodinâmica do “Saco do Laranjal”**: Costa Noroeste do Estuário da Lagoa dos Patos – RS. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

FISCHER, A. e CALLIARI, L. J. Variações Morfodinâmicas das Praias do “Saco do Laranjal”, Costa Noroeste do Estuário da Lagoa dos Patos, RS. **Pesquisas em Geociências**. Volume 38, No. 3, p. 283-296. ISSN: 1518-2398. 2011

FLEMING, J. H. 1970. Barragem do Canal de São Gonçalo e Controle de Nível da Lagoa Mirim. Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. Relatório preparado para *food and agriculture organization* (Atuando como Agência Executiva para o Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas). Sir M. MacDonald and Partners. Londres. p. 86.

GARRISON, T. 2010. **Fundamentos de Oceanografia**. São Paulo: Cengage Learning. 4ª Ed. 426p.

GOOGLE EARTH. Página Eletrônica do programa Google Earth Pro. Disponível em: <<https://earth.google.com/download-earth.html>>. Acessado em janeiro de 2017.

HARTMANN, C.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROSA, R.; SANO, E. E. Avaliação da área de inundação do canal de São Gonçalo, através de imagens TM-LANDSAT 5. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 4. 1986.

HARTMANN, C.; SANO, E. E.; PAZ, R. S. & MOLLER JR. O. Avaliação de um período de cheia (junho de 1984) na região sul da Lagoa dos Patos, através de dados de sensoriamento remoto, meteorológicos e oceanográficos. **Simpósio Latino-americano de Sensoriamento Remoto**. Gramado, SELPER. 1: 685-694. 1986.

HARTMANN, C. e SCHETTINI, C. A. F., 1991. Aspectos Hidrológicos na Desembocadura da Lagoa dos Patos, RS. **Revista Brasileira de Geociências**. Volume 21, No 4, p. 371-377.

HAMBLIN, K. W. & CHRISTIANSEN, E. H. **Earth's Dynamics Systems**. Prentice-Hall. 10 Edição. 2004.

IBGE - Página Eletrônica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/. Acessado em junho de 2018.

INMET - Página Eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia - <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acessado em julho de 2017.

INPE – Página Eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de Imagens DGI/INPE. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acessado em maio de 2017.

JA, 2017 - Página Eletrônica do Jornal do Almoço. <G1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/jornal-do-almoco/videos/v/aceso-ao-pontal-da-barra-esta-sendo-recuperado/4612134/>. Acessado em dezembro de 2017.

KARSBURG, R. M. 2016. **Precipitação e velocidade do vento na oscilação dos níveis d'água do canal São Gonçalo-RS**. 79p. Dissertação. Mestrado em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas-RS.

KARSBURG, R. M.; COLLARES, G. L.; TERRA, V. S. S.; BONCZYNSKI, R. G.; LIMA, L.S.; BARTELS, G. K.; TEIXEIRA, H. L.; SILVEIRA, J. F., BRAGA, I. S.; POMATTI, G. V.; SAMPAIO, E. G.; DIAS, A. V. Dinâmica de Escoamento sob a Barragem Eclusa do Canal São Gonçalo no extremo Sul do Brasil. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Brasília – DF. 2015.

KJERFVE, B. **Coastal Lagoon Processes**. Elsevier Oceanography series, v. 60. 577p. 1994.

KOMAR, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. Pearson Education. 2ª Ed. 544 p. 1998.

KOMAR, P. D. & HOLMAN, R. A. Coastal Processes and the Development of Shoreline Erosion. **Ann. Rev. Earth Planet. Sci.** 1986. 14: 237-65. 1986.

LEAL, K. B.; PERES, T. C.; ALBUQUERQUE, M.; ESPINOZA, J. M. A. Quantificação do comportamento da linha de costa da Ilha da Torotama, Rio Grande – RS, a partir de geotecnologias

e técnicas de sensoriamento. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2013.

LEMKE, N. **Morfodinâmica da Embocadura do Arroio Carahá. Lagoa dos Patos, São Lourenço do Sul – RS**. 346p. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2015.

LISBOA, P. V.; FERNANDES, E. L.; ESPINOZA, J. A.; ALBUQUERQUE, M. Variações Geomorfológicas do Pontal Sul do Estuário da Lagoa dos Patos – RS – **Brasil. Scientia Plena**. Vol. 11, Num. 2. 2015.

LUDKA, B. C.; GALLIEN, T. W.; CROSBY, S. C.; GUZA, R. T. Mid-El Niño erosion at nourished and unnourished Southern California beaches. *Geophysical Research Letters*. **AGU Publications**. 2016.

MARTINS, I. R.; VILLWOCK, J. A.; MARTINS, L. R.; BEMVENUTI, C. E. The Lagoa dos Patos Estuarine Ecosystem (RS, Brazil). **Pesquisa em Geociências**, 22 (22): 5-44. 1989.

MÖLLER O. O. Jr.; CASTAING, P; SALOMON J-C; LAZURE, P. The Influence of local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. **Estuaries**. Volume 24, p. 297-311. 2001.

MORAES NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo. Blucher. 2010.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicações**. Universidade Federal de Viçosa. 4ª Edição. 2011.

NOAA, 2017. Earth System Research Laboratory. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei. Acessado em janeiro de 2018.

QGIS, 2017. Página Eletrônica do programa QGIS. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/ Acessado em outubro de 2017.

REVELL, D. L.; KOMAR, P. D. & SALLENGER, A. H., Jr. An Application of LIDAR to analyses of El Niño erosion in the Netarts litoral cell, Oregon. **Journal of Coastal Research**, 18 (4), 792-801. West Palm Beach (Florida). ISSN 0749-0208. 2002.

RODRÍGUEZ, J. F.; SACO, P. M.; SANDI, S.; SAINTILAN, N.; & RICCARDI, G. Potential Increase in Coastal Wetland Vulnerability to Sea-Level Rise Suggested by Considering Hydrodynamic Attenuation Effects. **Nature Communications**. 2017.

ROSA, M. **Geografia de Pelotas**. Editora Universidade Federal de Pelotas, 1985.

SCHOSSLER, V. 2011. **Morfodinâmica da Embocadura da Lagoa do Peixe e da linha de praia adjacente**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 89p.

TAYLOR, R. B. & SHAW, J. Coastal Character and Coastal Barrier Evolution In the Bras D'Or Lakes, Nova Scotia. **PROC. N.S. INST. SCI.** Volume 42, Part 1, p. 149-181. 2002.

TOLDO, E. E. Jr., 1991. Morfodinâmica da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisas**. Volume 18, No 1, p. 58-63. ISSN 0100-5375.

TOMAZELLI, L. 1993. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 20 (1): 18-26. ISSN 0100-5375.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; VILLWOCK, J. A., 2000. Late Quaternary Geological History of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. 30 (3):474-476.

TRUJILLO, A. P. e THURMAN, H. V. **Essential of Oceanography**. 3ªEd. Prentice Hall. 2011.

VAZ, A. C.; MÖLLER JR, O. O.; ALMEIDA, T. L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, Rio Grande, 28(1): 13-23. 2006.

VIEIRA, H. 1982. **Aspectos Sedimentológicos do Canal de São Gonçalo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 132 p.

VIEIRA, E. F. e RANGEL, S. S. **Rio Grande do sul. Geografia Física e Vegetação**. Editora Sagra. 183 p. 1984.

VILLWOCK, J. A. e TOMAZELLI, L. J., 2007. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Gênese e paisagem atual. In: Becker, F. G.; Ramos, R. A.; Moura, L. A. (Org.). **Biodiversidade Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. 1ª Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, p. 1-388.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, CUNHA, R. C., IGLESISAS, C. M. F. 2006. **Mapa Geológico do RS**. Página Eletrônica do Mapa Geológico do RS. Disponível em: CPRM. [://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf). Acessado em agosto de 2017.

WRIGHT, L. D. e THOM, B. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography**, v.1, p. 412-459. 1977.

WRPLOT. 2018. Página eletrônica do programa WRPLOT. Disponível em: <https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>. Acessado em janeiro de 2018.

YAKUSHOVA, A. F. **Geology with the Elements of Geomorphology**. Mir Publishers Moscou. 400 p. 1986.

ZENKOVICH, V. P. **Processes of Coastal Development**. J. A. STEERS, Ed., 738 p. 1967.

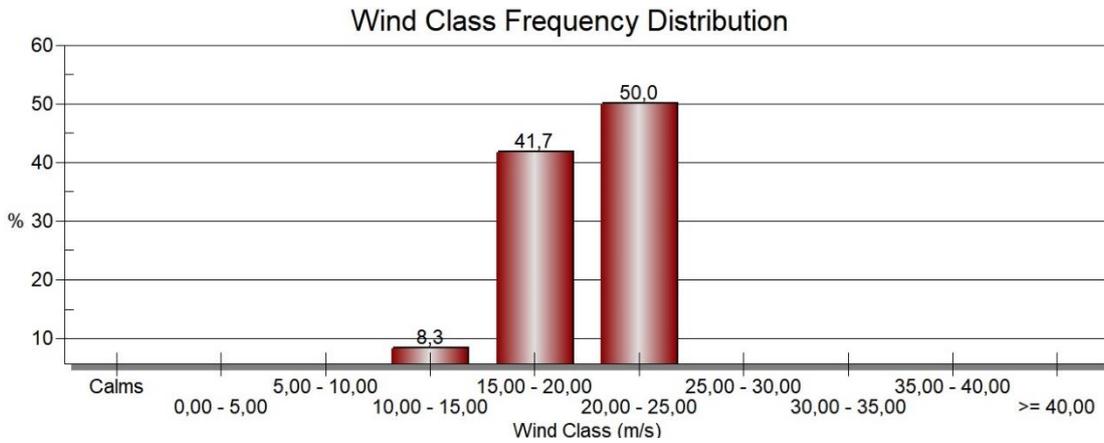
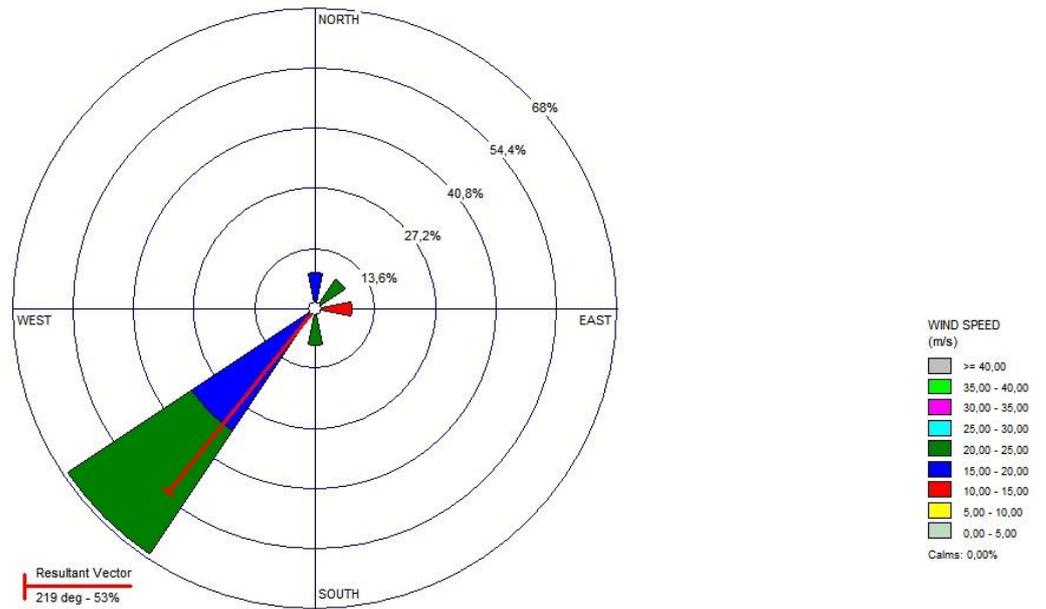
APÊNDICES 8.0 - Coordenadas dos pontos de controle.

Pontos	W	S
1	52° 26'17.2"	31° 45'35.4"
2	52° 28'37.3"	31° 44'26.0"
3	52° 26'26.2"	31° 42'09.6"
4	52° 22'09.1"	31° 42'18.1"
5	52° 20'24.3"	31° 39'59.8"
6	52° 09'25.0"	31° 41'51.6"
7	52° 13'20.4"	31° 44'11.1"
8	52° 12'40.3"	31° 44'14.7"
9	52° 13'20.4"	31° 44'11.1"
10	52° 21'04.7"	31° 47'13.2"
11	52° 14'32.4"	31° 45'58.9"
12	52° 15'05.1"	31° 45'33.0"
13	52° 20'24.3"	31° 39'59.8"
14	52° 19'22.5"	31° 48'43.9"
15	52° 09'25.0"	31° 41'51.6"
16	52° 11'33.7"	31° 40'04.6"
17	52° 11'57.1"	31° 38'22.4"

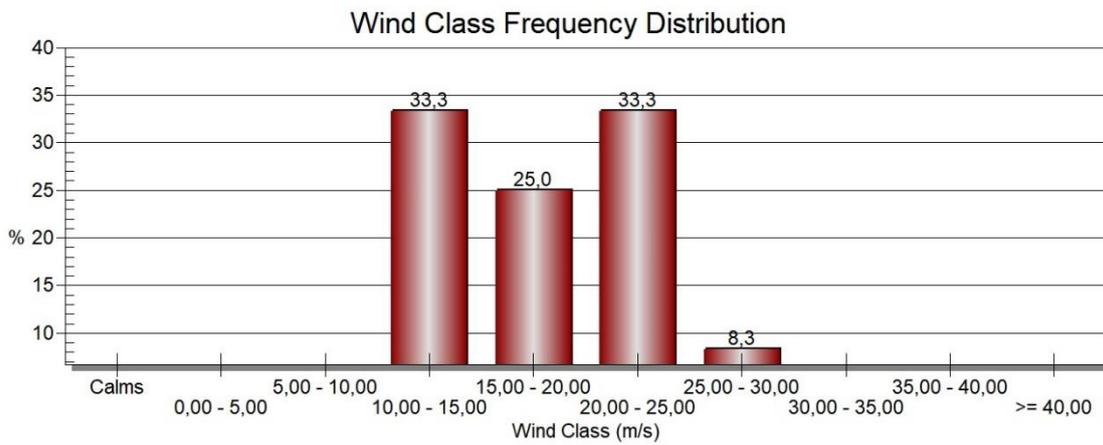
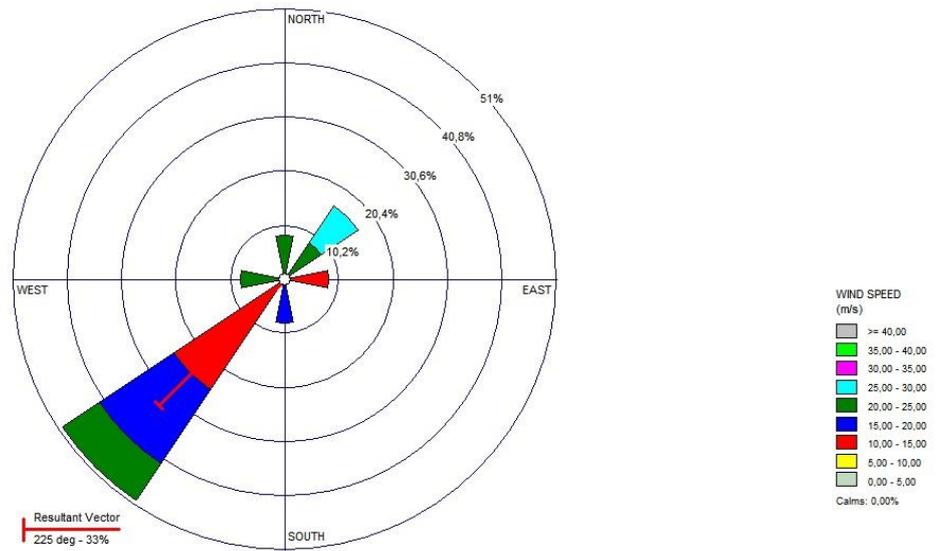
APÊNDICES 8.1 - As fotografias aéreas e imagens de satélites utilizados para a elaboração da dissertação, com informações de datas, resoluções e outras informações.

Material	Data	Escala	Resolução
Fotografia aérea	1953	1:40.000	-
Fotografia aérea	1964	1:60.000	-
Fotografia aérea	1974	1:20.000	-
Imagem de Satélite - L	06/09/1973	-	79 m
Imagem de Satélite - L	25/11/1975	-	79 m
Imagem de Satélite - L	09/08/1980	-	79 m
Imagem de Satélite - L	11/05/1990	-	30 m
Imagem de Satélite - L	31/01/2003	-	30 m
Imagem de Satélite - L	02/05/2010	-	30 m
Imagem de Satélite - L	09/08/2017	-	30 m
Imagem de Satélite - G	2011	-	1 m
Imagem de Satélite - G	2012	-	1 m
Imagem de Satélite - G	2013	-	1 m
Imagem de Satélite - G	2014	-	1 m
Imagem de Satélite - G	2015	-	1 m
Imagem de Satélite - G	2016	-	1 m
Imagem de Satélite - G	2017	-	1 m
Imagem de Satélite - G	1984-2017	-	1 m

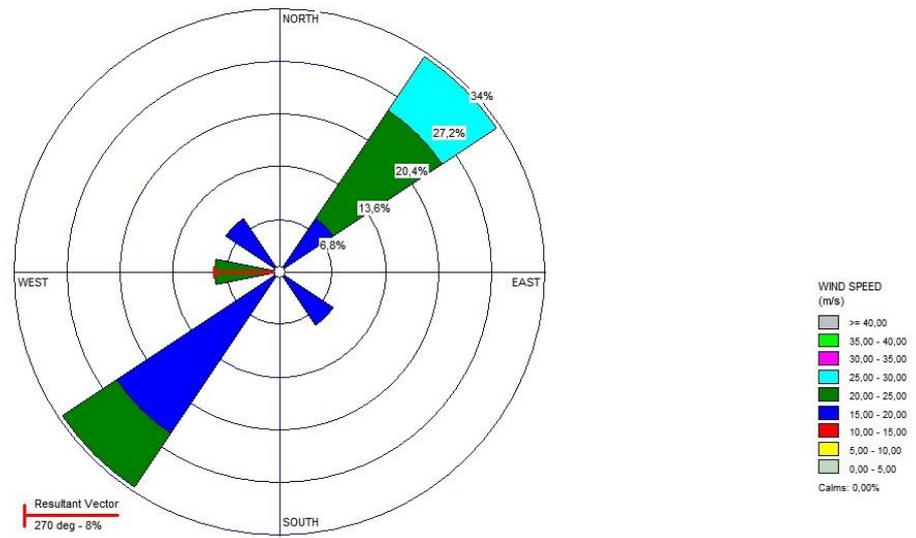
APÊNDICES 8.2.0 – Velocidade Máxima do vento (2000)



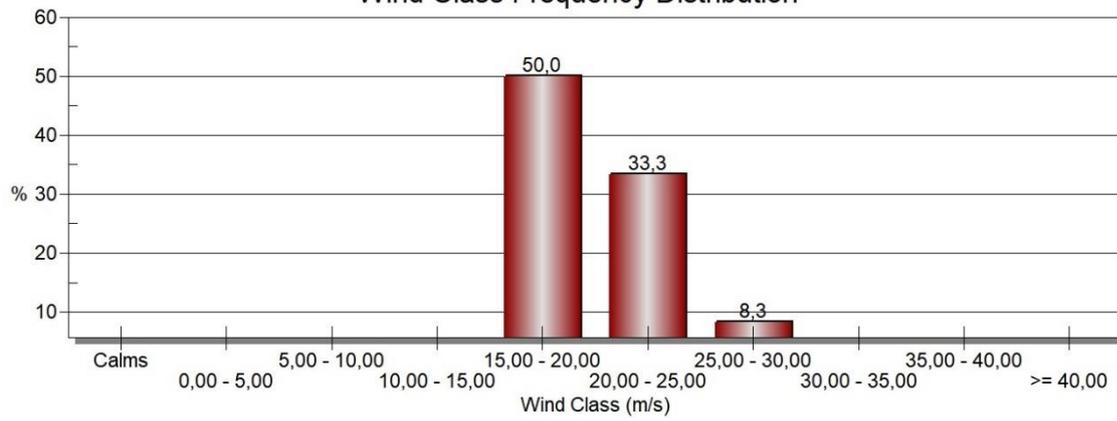
APÊNDICES 8.2.1 - Velocidade Máxima do vento (2001)



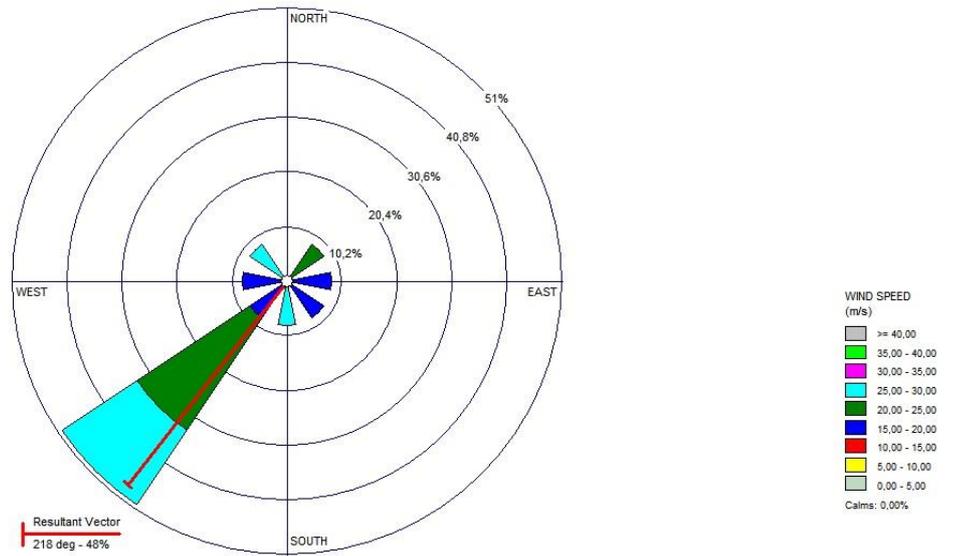
APÊNDICES 8.2.2 -Velocidade Máxima do vento (2002)



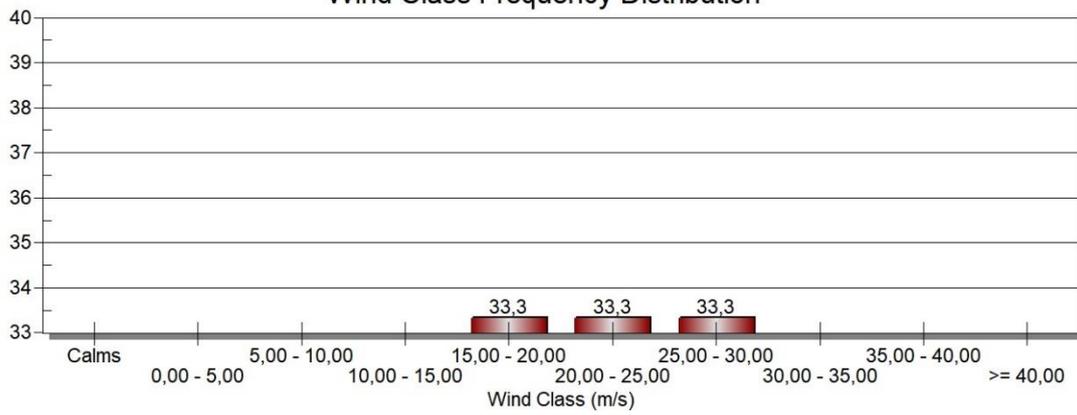
Wind Class Frequency Distribution



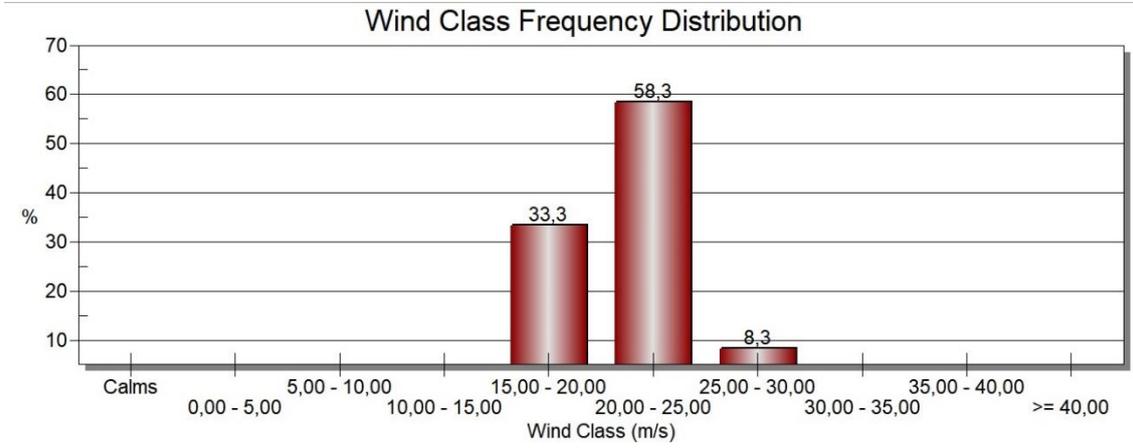
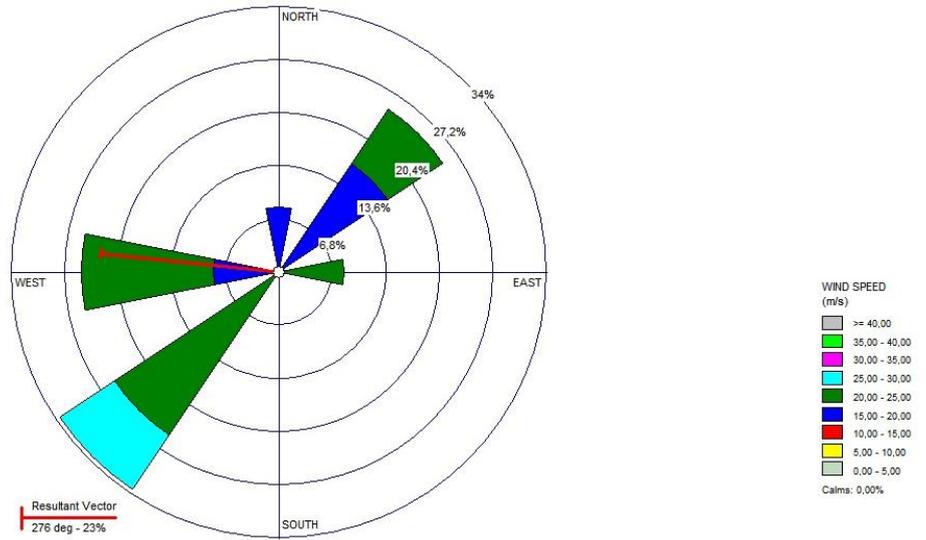
APÊNDICES 8.2.3 - Velocidade Máxima do vento (2003)



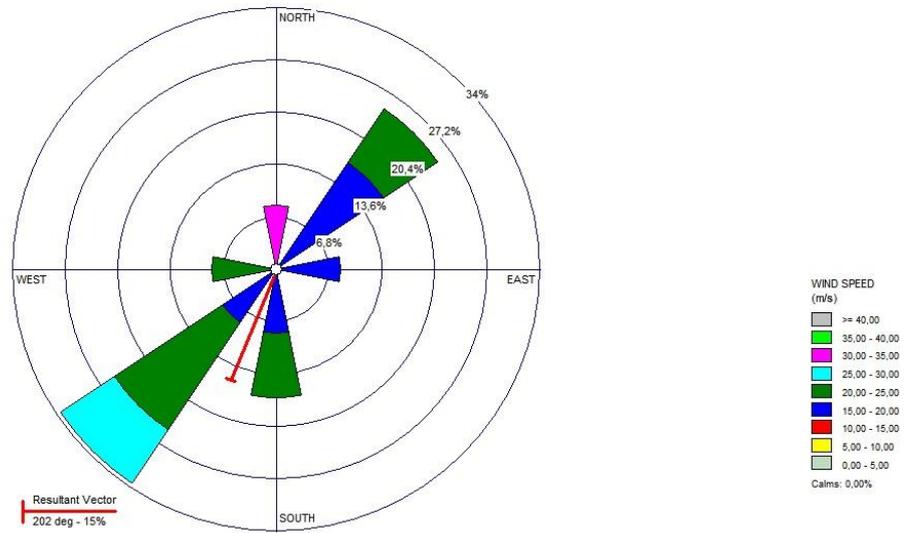
Wind Class Frequency Distribution



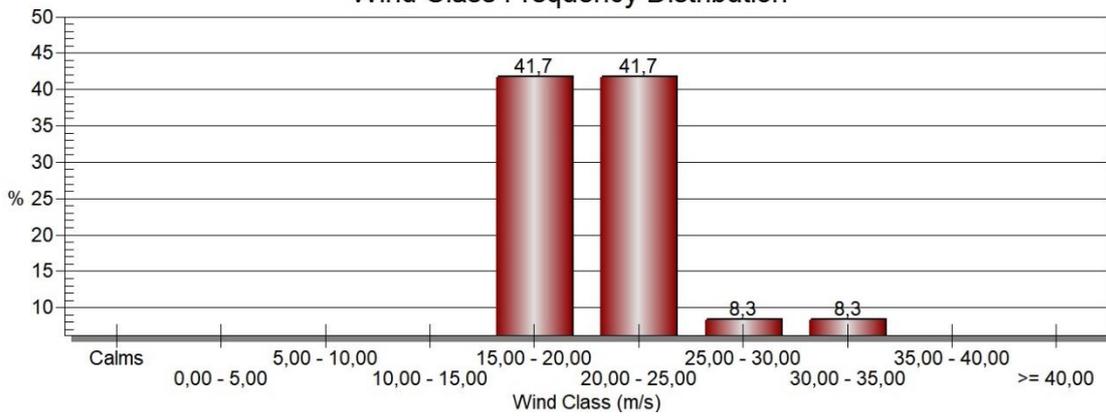
APÊNDICES 8.2.4 -Velocidade Máxima do vento (2004)



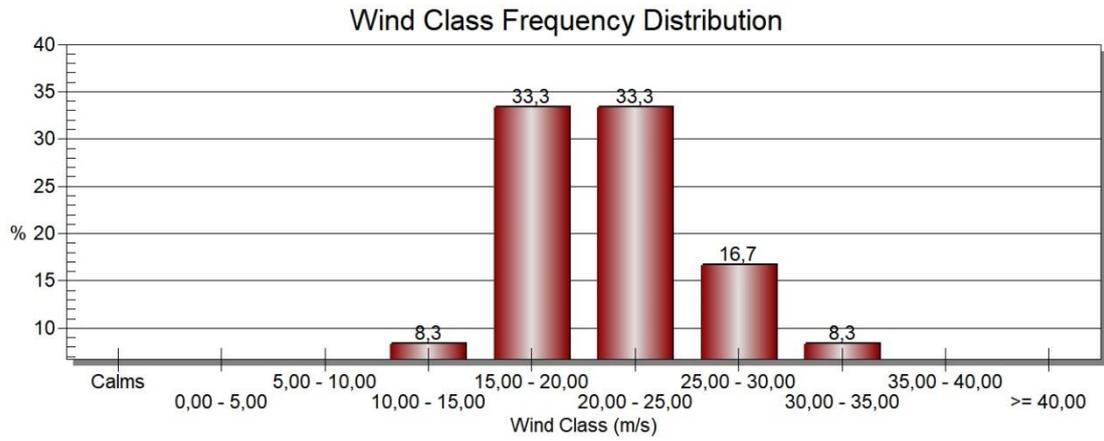
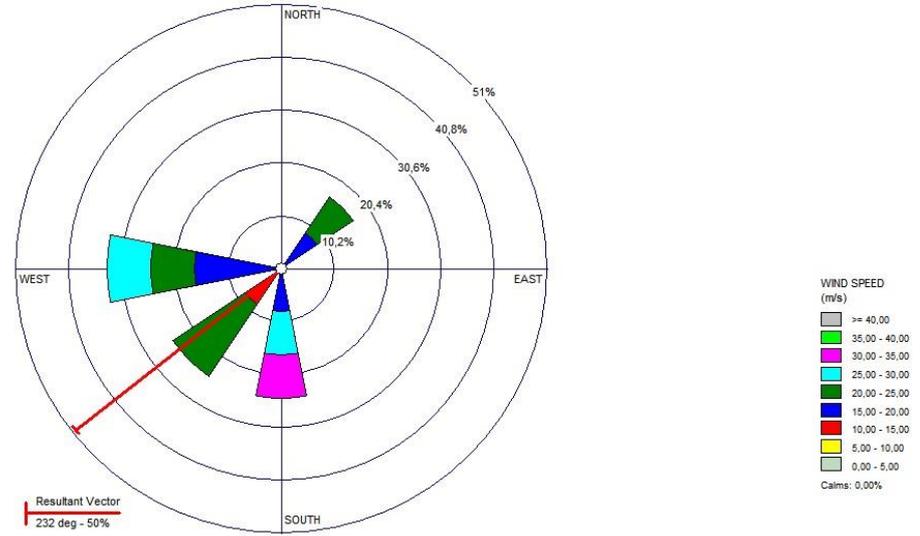
APÊNDICES 8.2.5 - Velocidade Máxima do vento (2005)



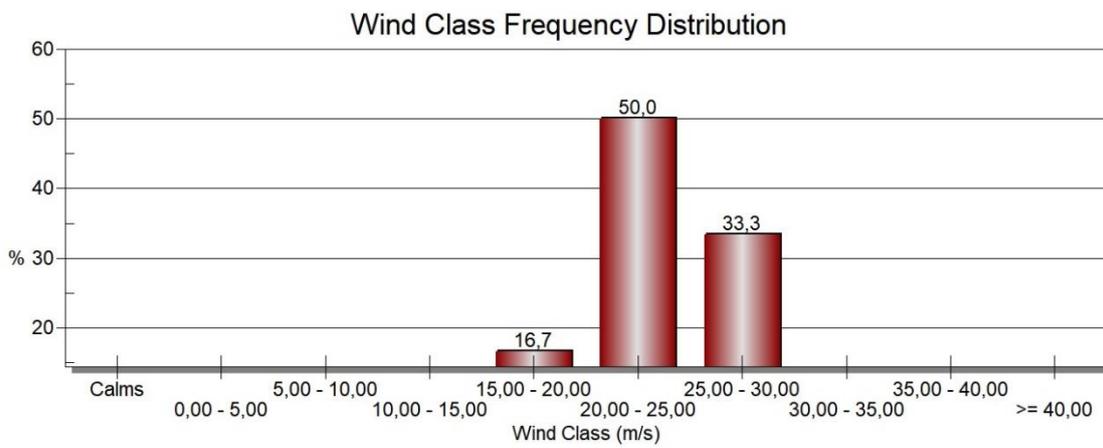
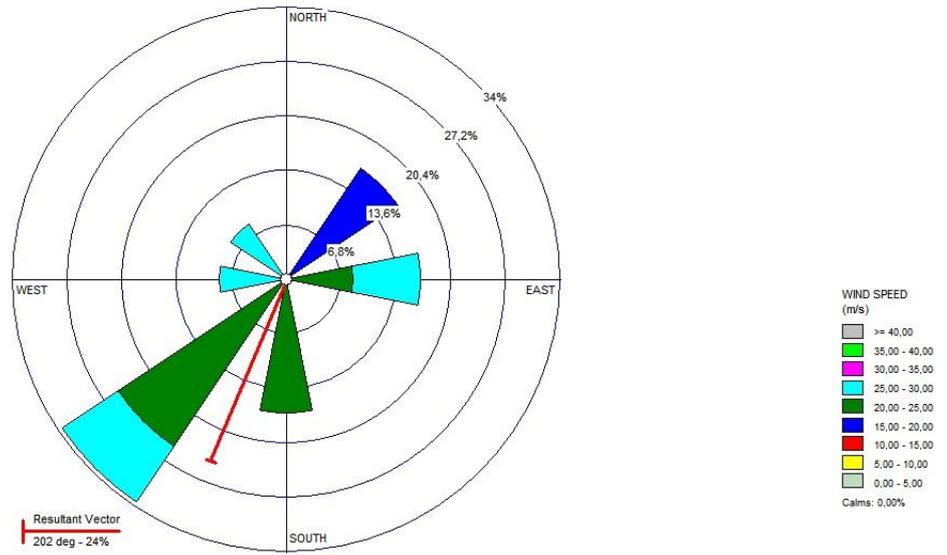
Wind Class Frequency Distribution



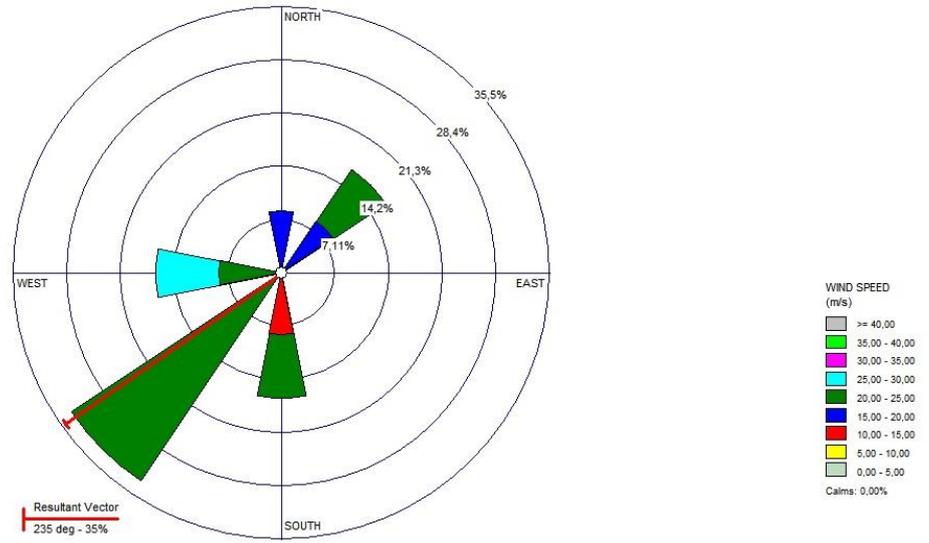
APÊNDICES 8.2.6 - Velocidade Máxima do vento (2006)



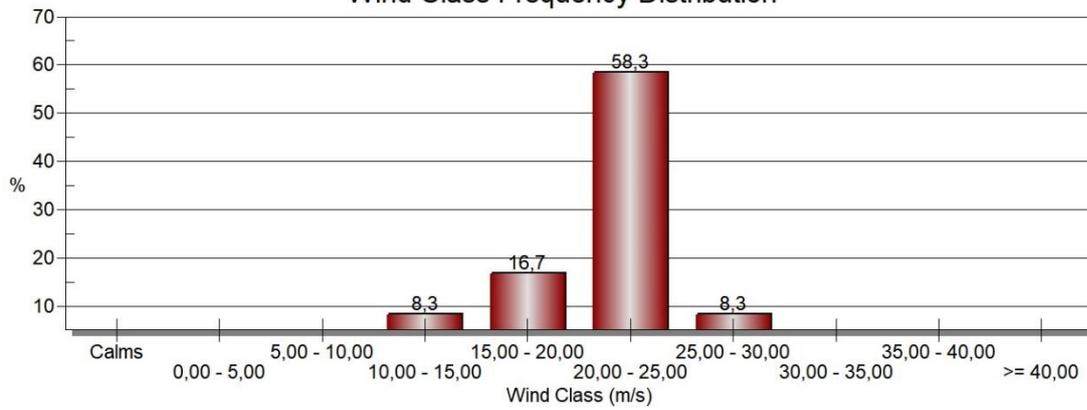
APÊNDICES 8.2.7 - Velocidade Máxima do vento (2007)



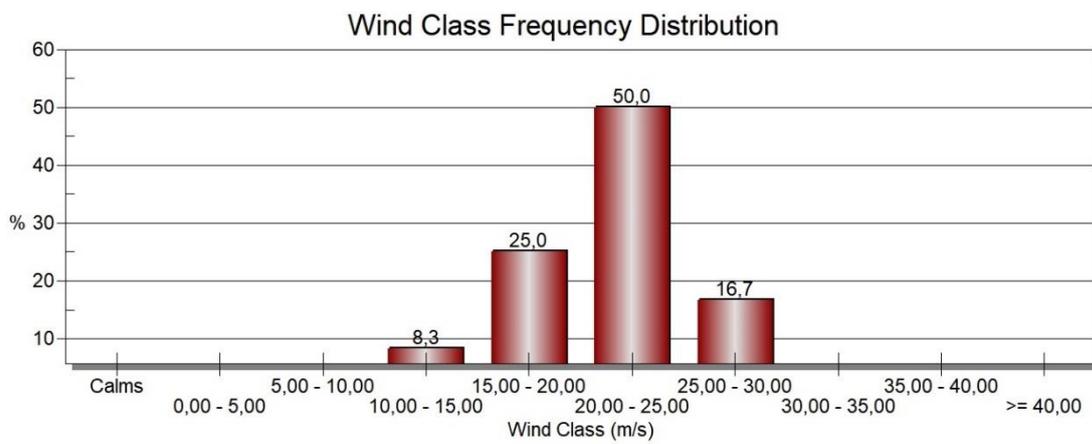
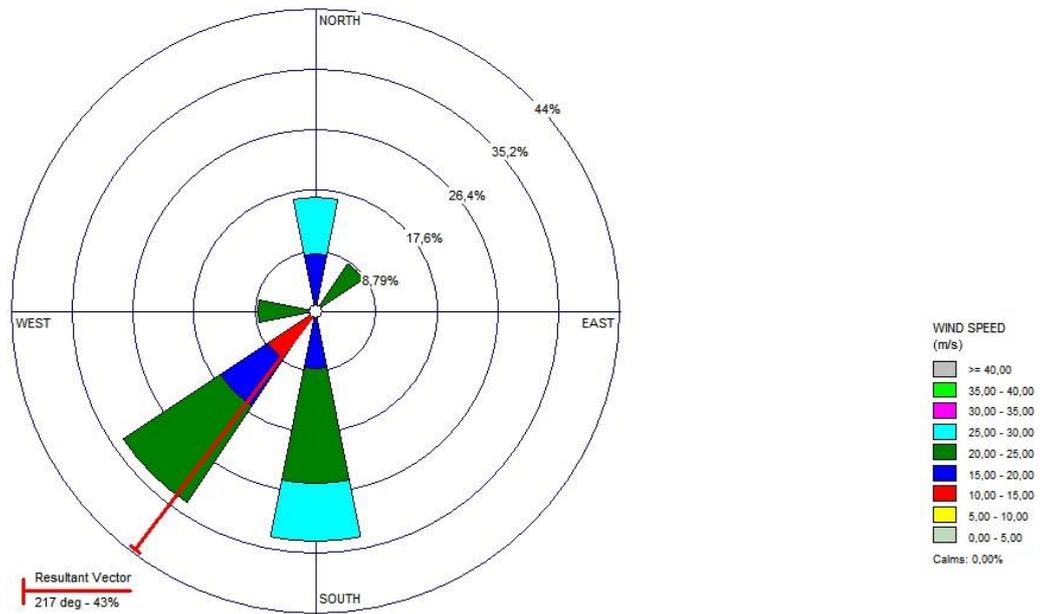
APÊNDICES 8.2.8 - Velocidade Máxima do vento (2008)



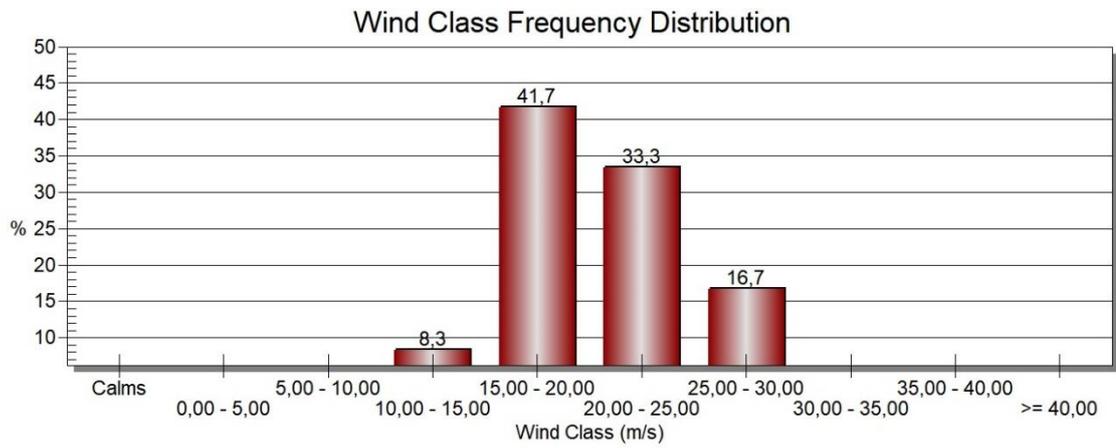
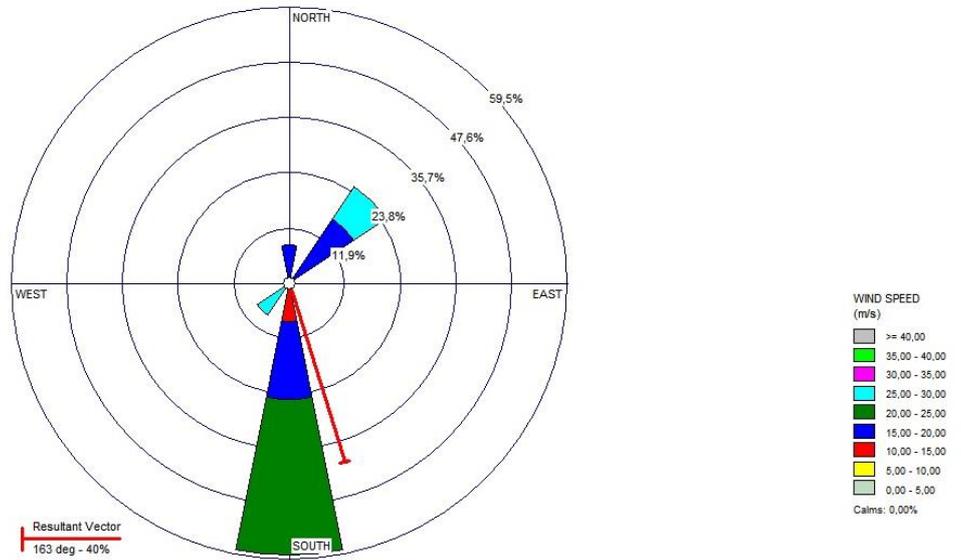
Wind Class Frequency Distribution



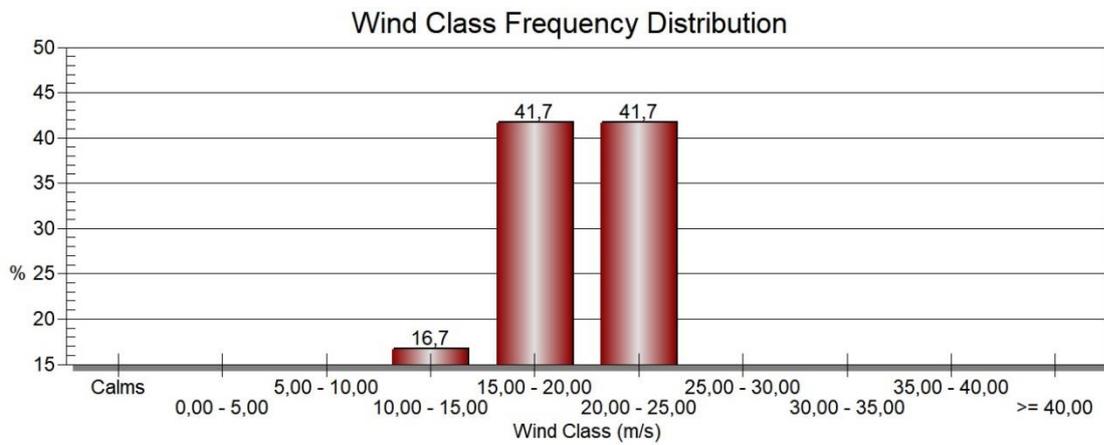
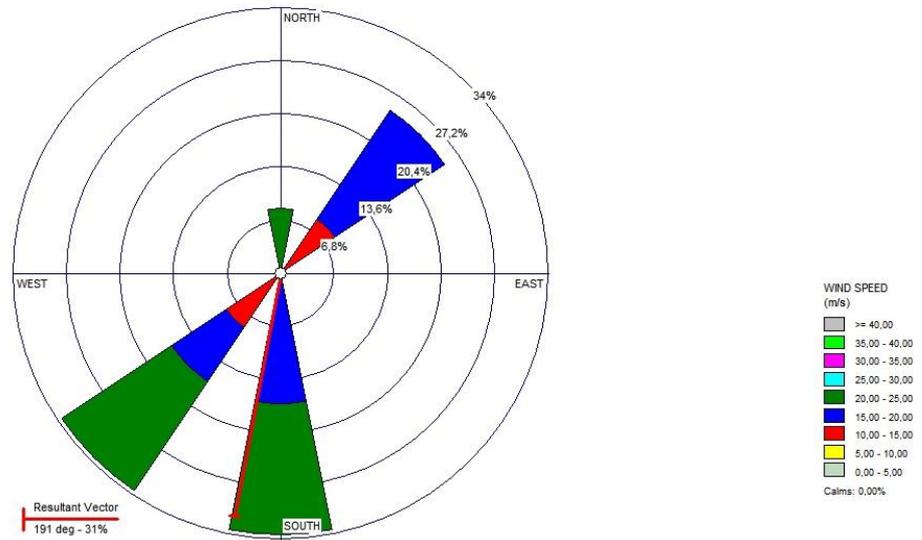
APÊNDICES 8.2.9 - Velocidade Máxima do vento (2009)



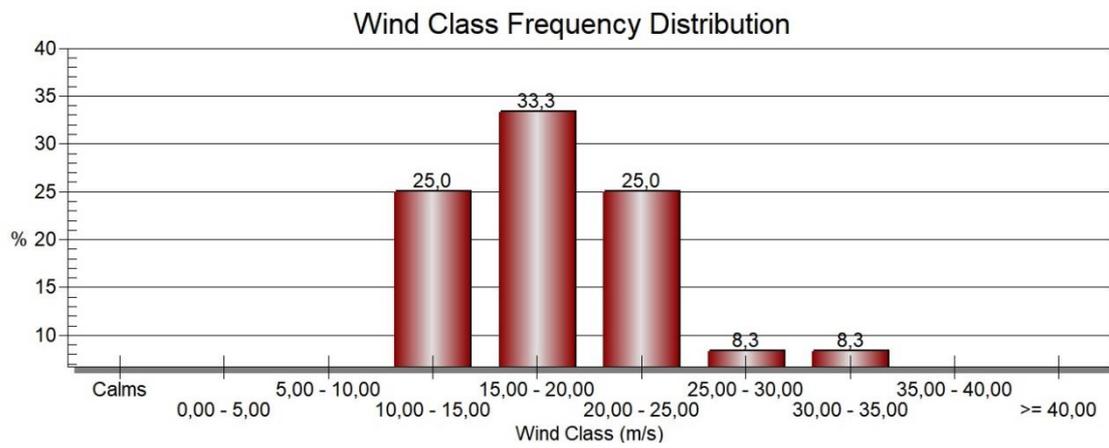
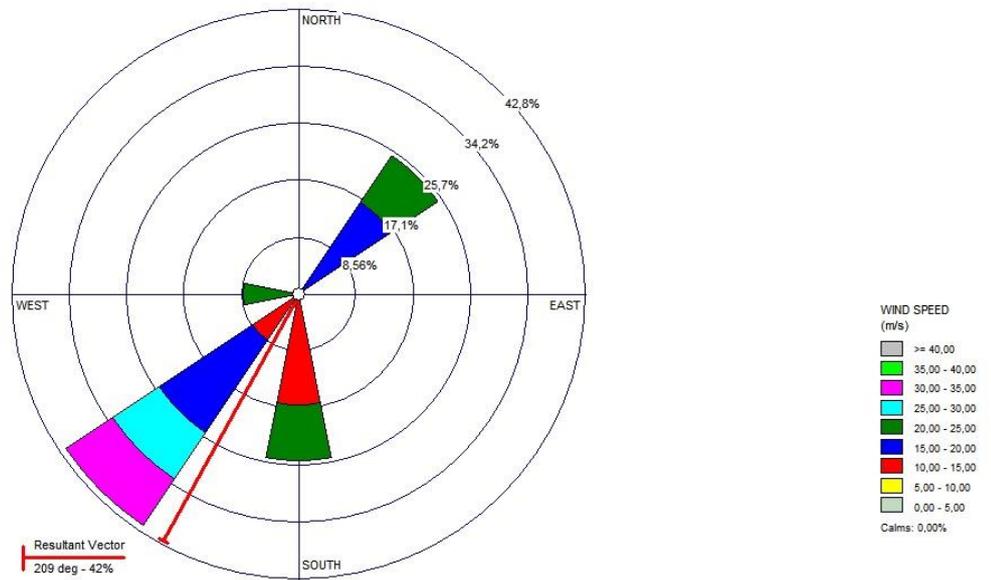
APÊNDICES 8.2.10 - Velocidade Máxima do vento (2010)



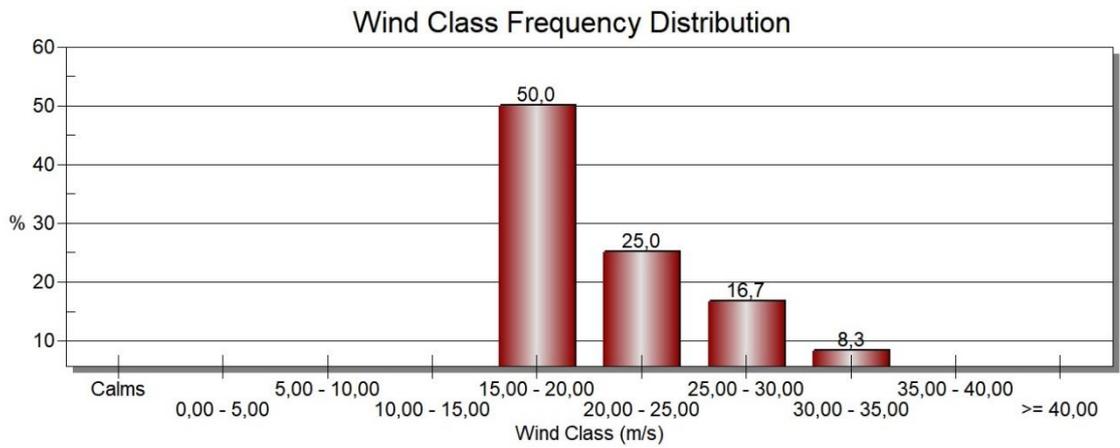
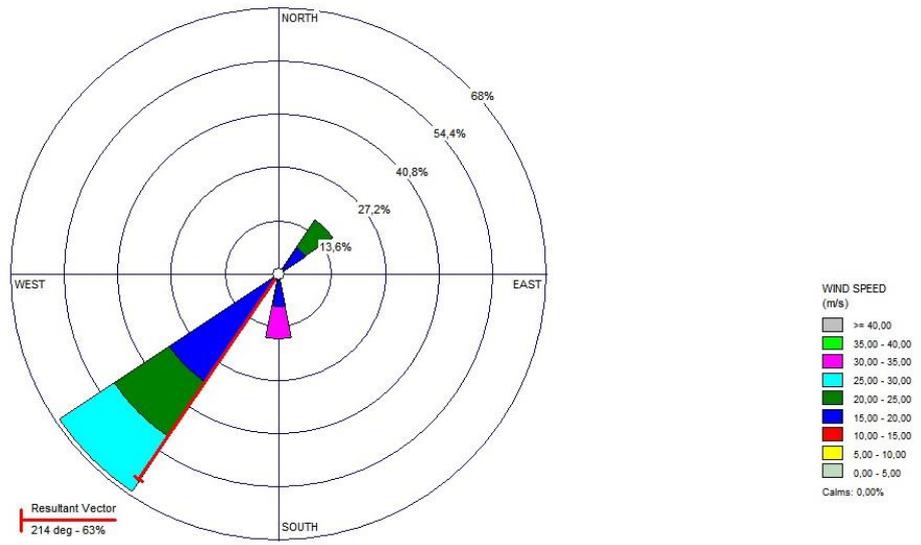
APÊNDICES 8.2.11 - Velocidade Máxima do vento (2011)



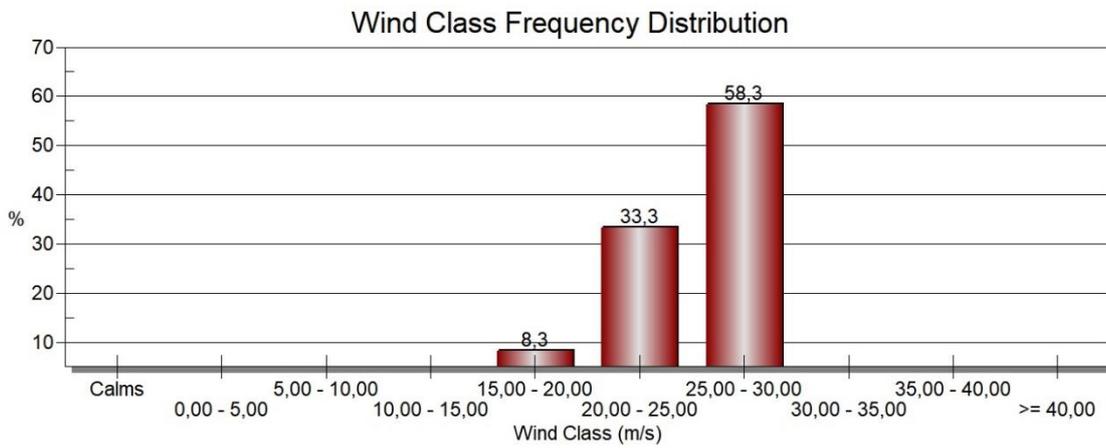
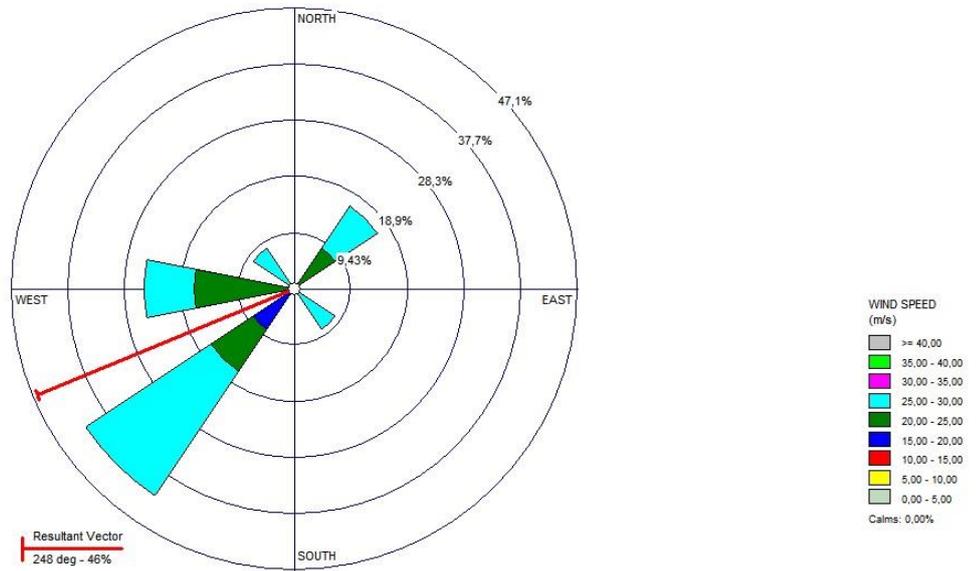
APÊNDICES 8.2.12 - Velocidade Máxima do vento (2012)



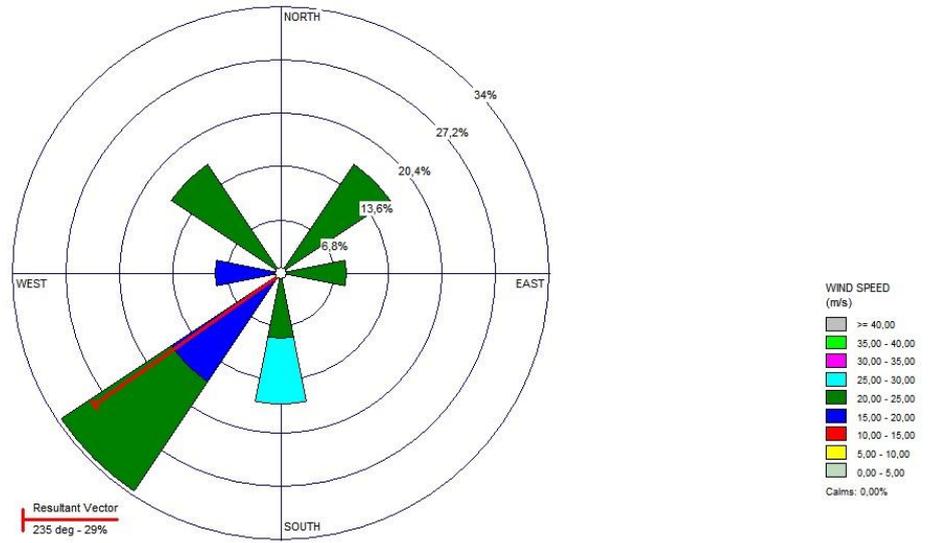
APÊNDICES 8.2.13 - Velocidade Máxima do vento (2013)



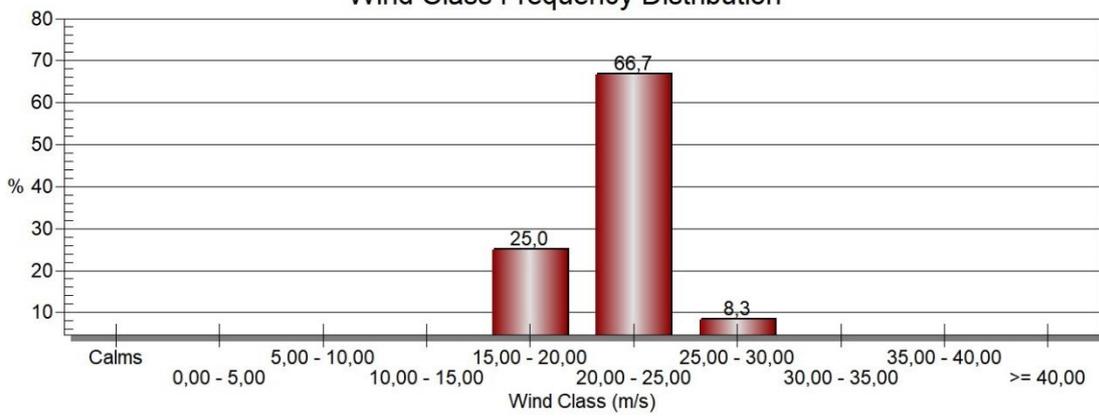
APÊNDICES 8.2.14 - Velocidade Máxima do vento (2014)



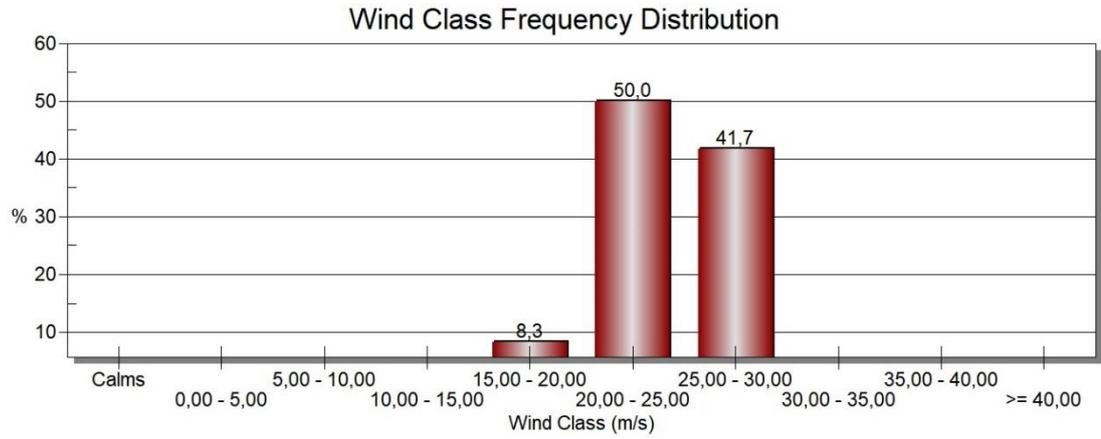
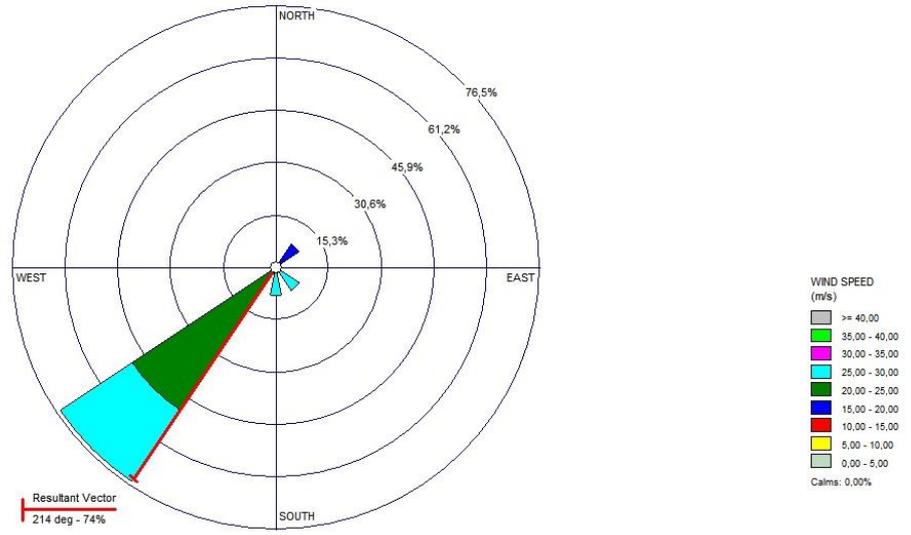
APÊNDICES 8.2.15 - Velocidade Máxima do vento (2015)



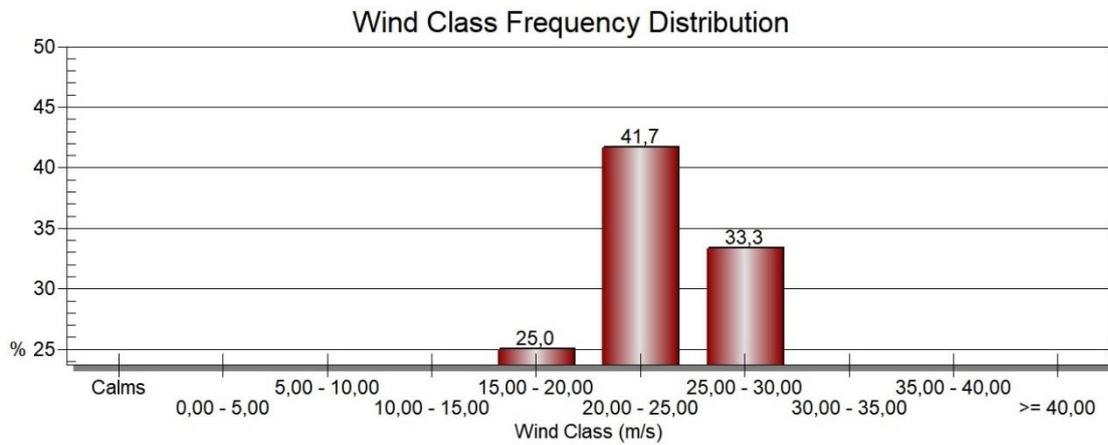
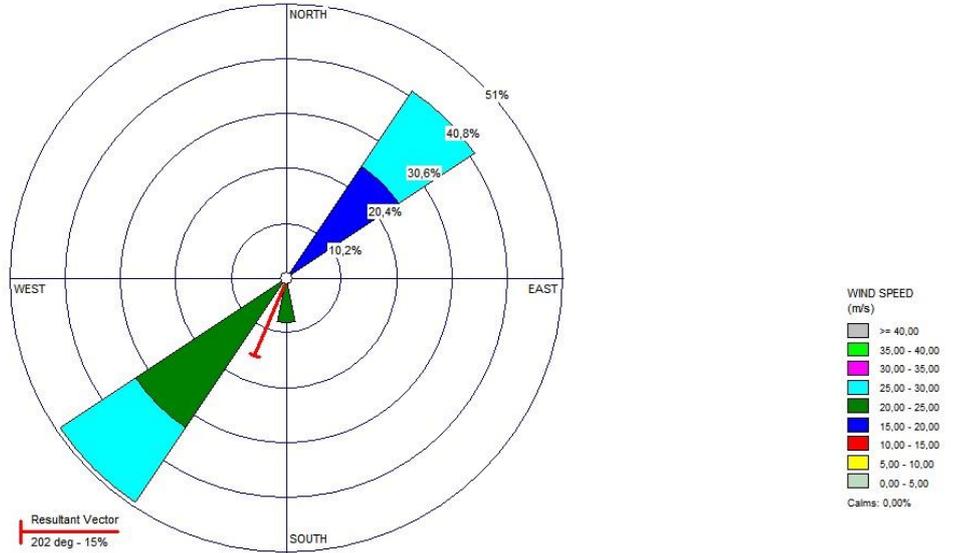
Wind Class Frequency Distribution



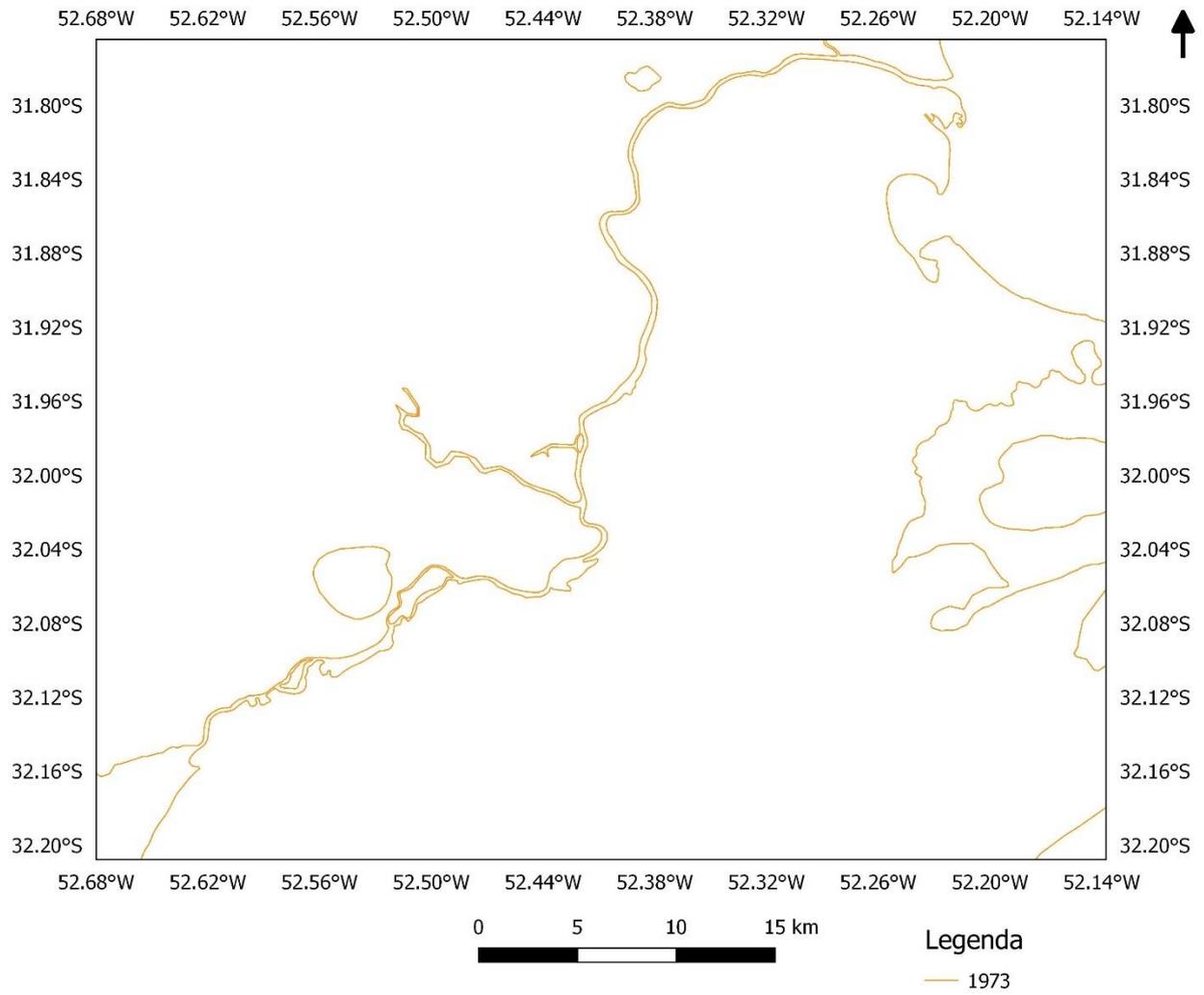
APÊNDICES 8.2.16 - Velocidade Máxima do vento (2016)

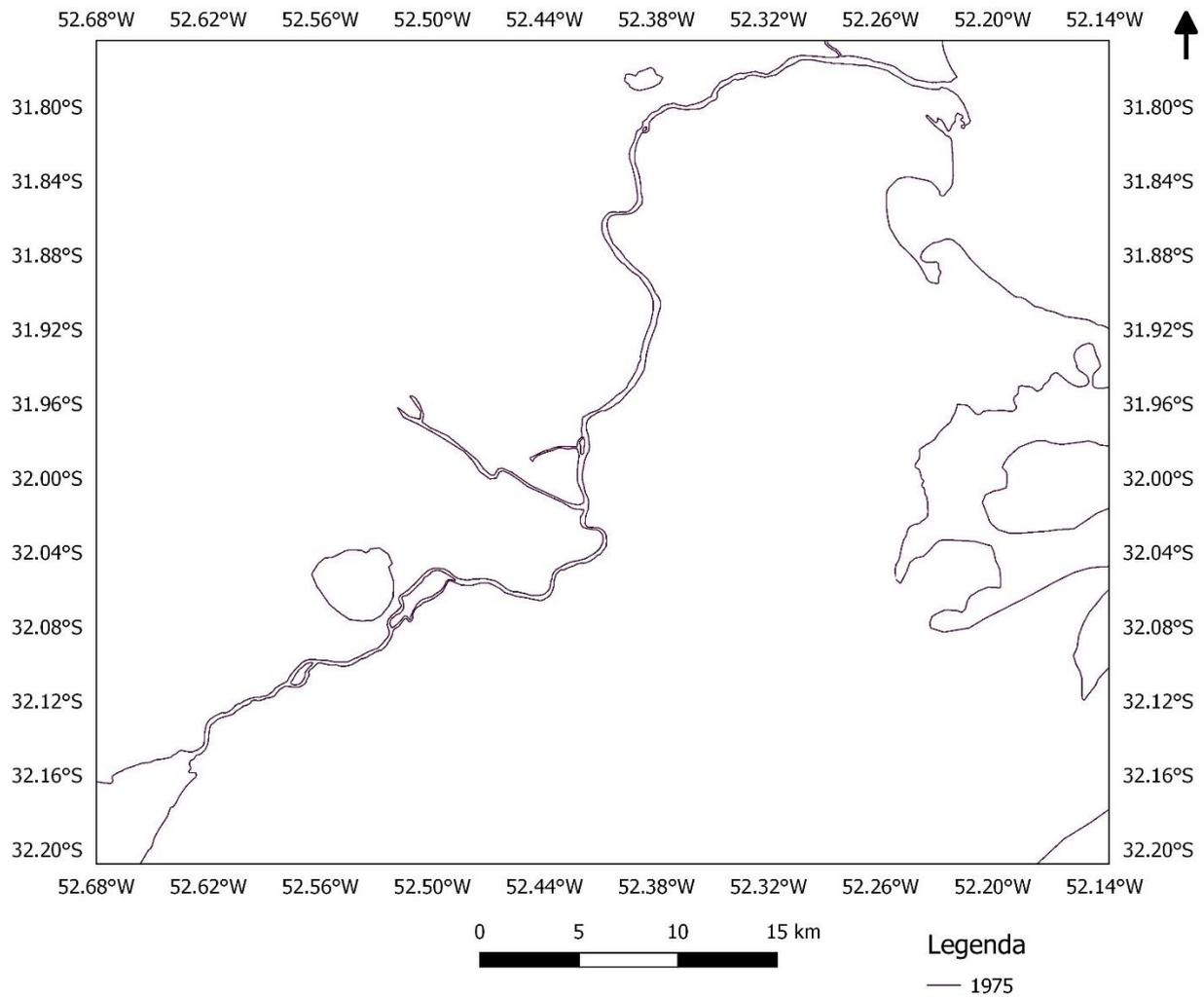


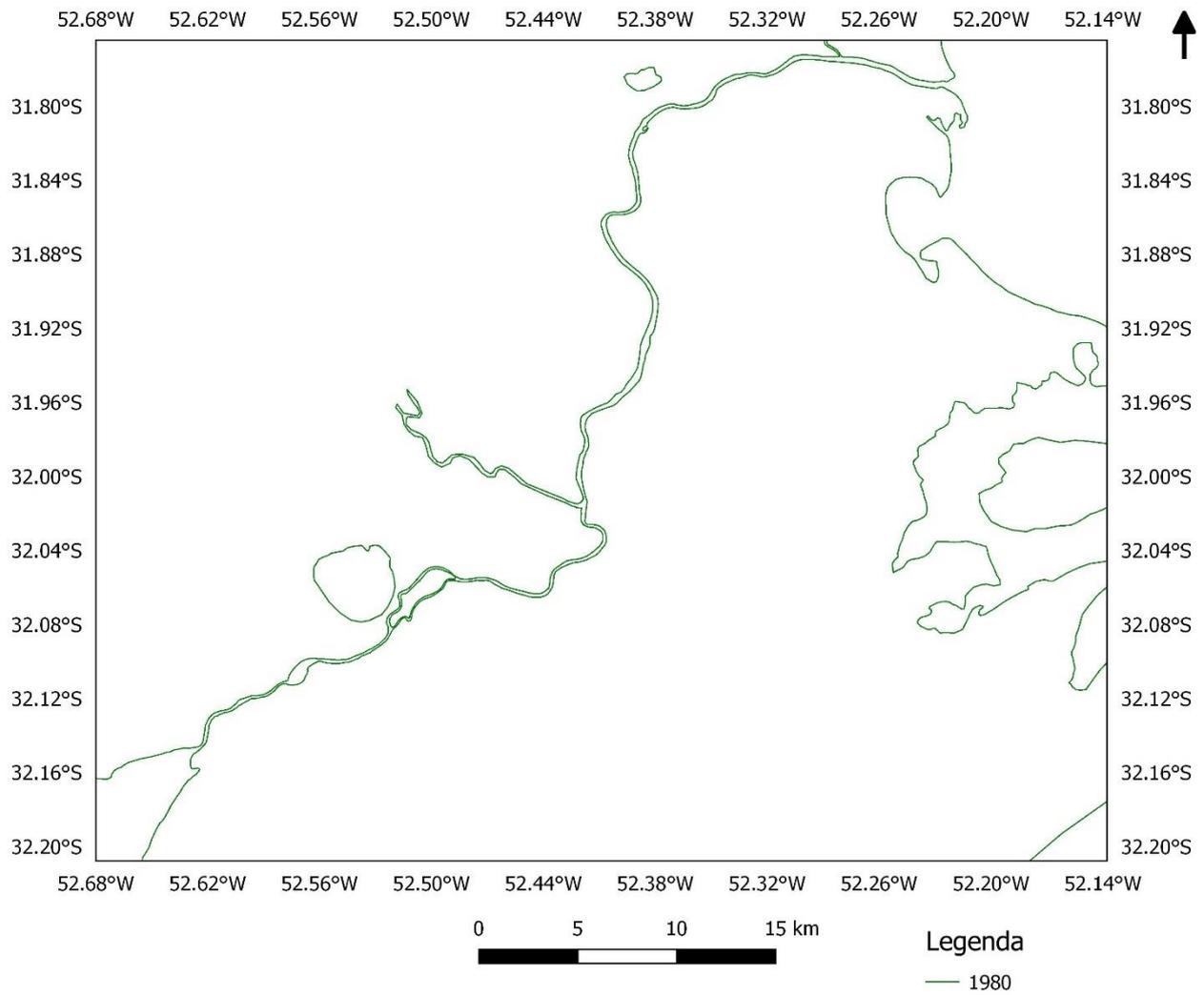
APÊNDICES 8.2.17 - Velocidade Máxima do vento (2017)

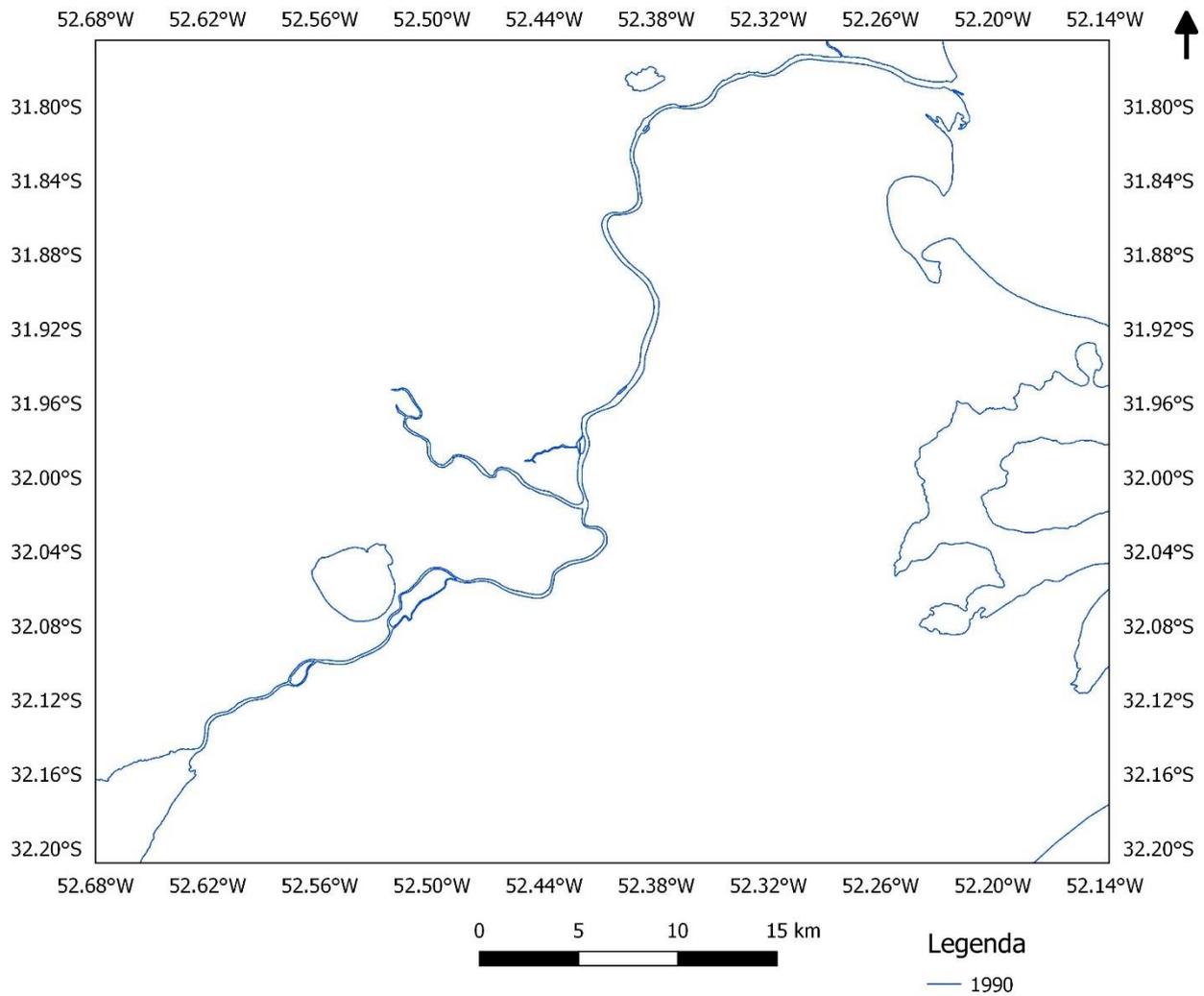


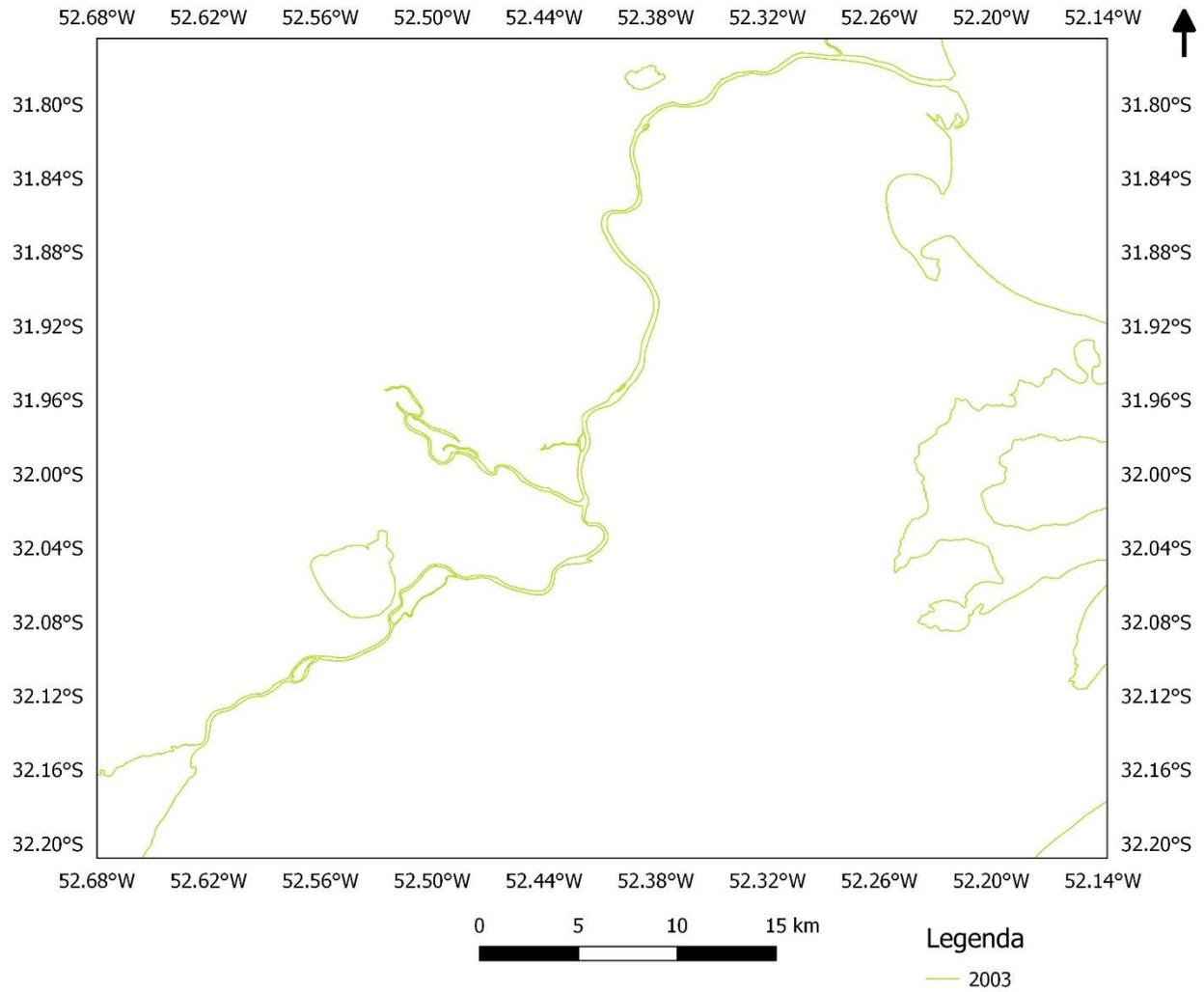
APÊNDICES 8.3.1 – Desenho ilustrativo do canal São Gonçalo referente ao ano de 1973, destacam-se as áreas alagadas.

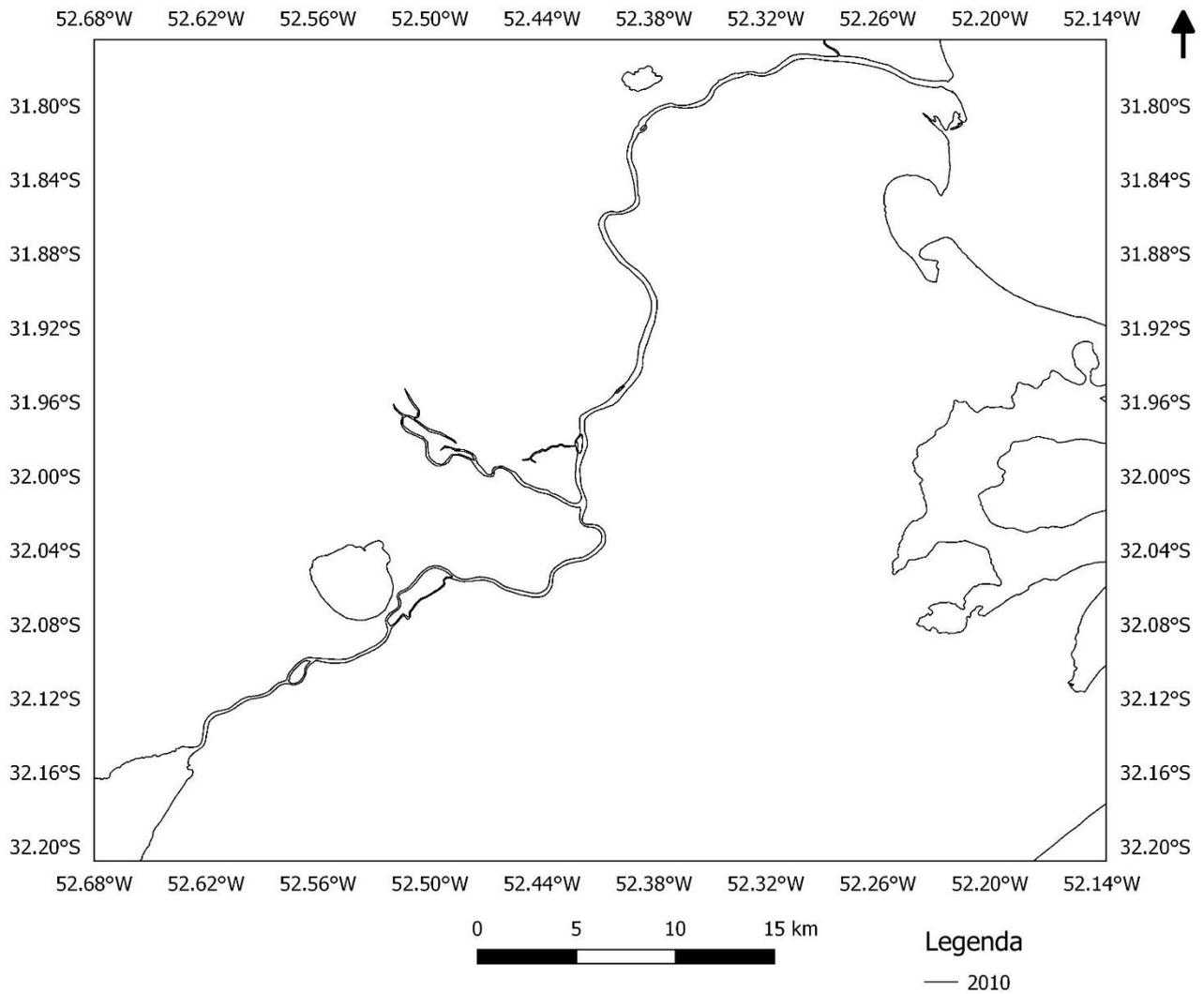


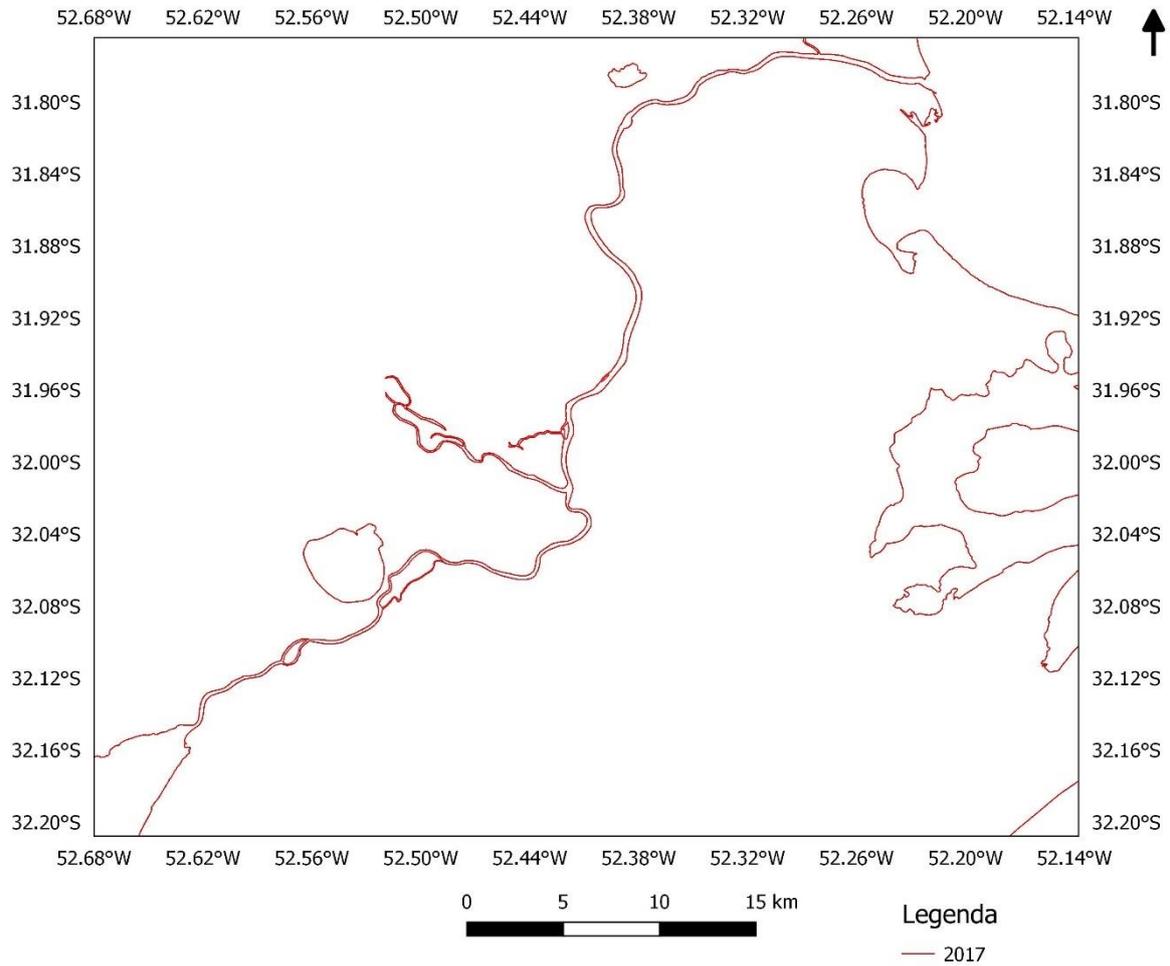
APÊNDICES 8.3.2 – Desenho ilustrativo do canal São Gonçalo referente ao ano de 1975.

APÊNDICES 8. 3.3 – Desenho ilustrativo do canal São Gonçalo referente ao ano de 1980.

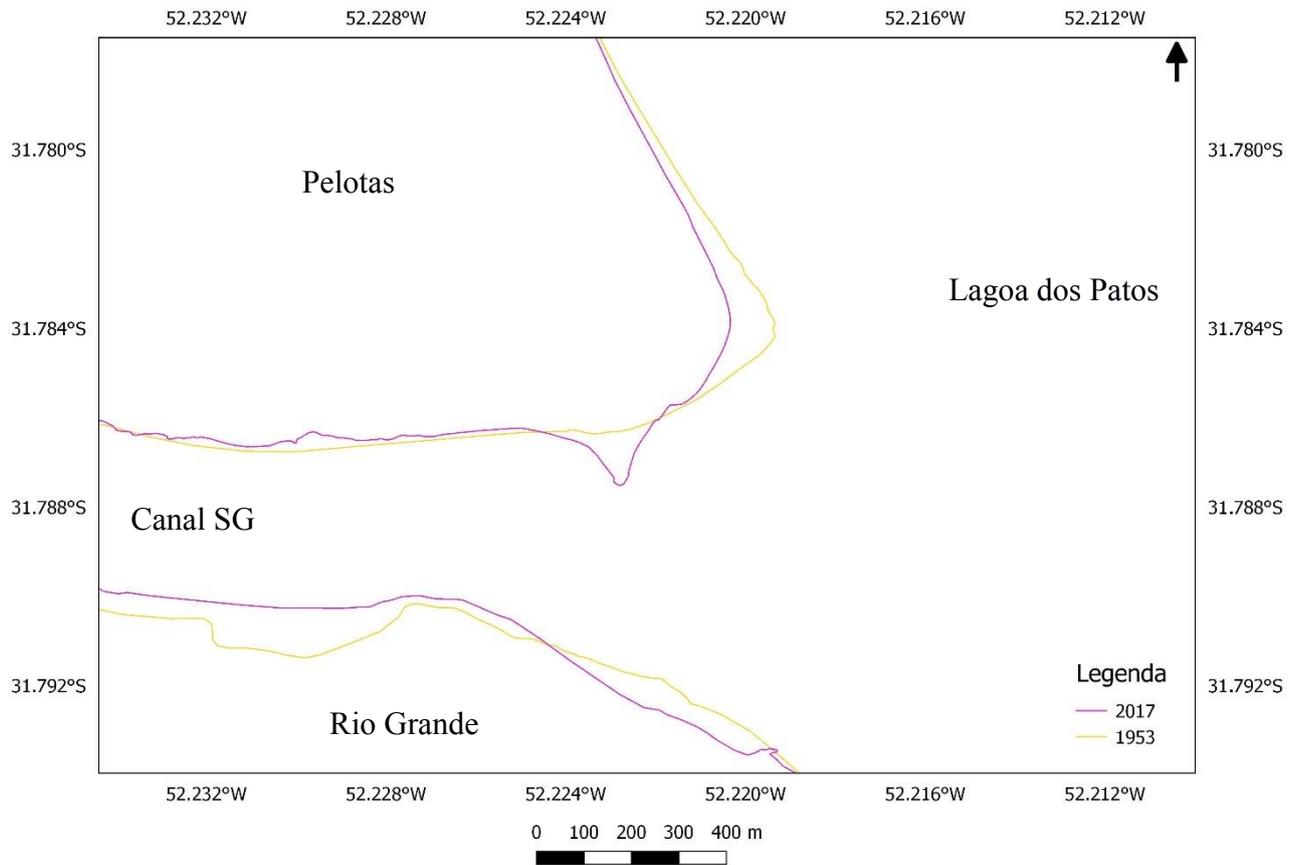
APÊNDICES 8.3.4 – Desenho ilustrativo do canal São Gonçalo referente ao ano de 1990.

APÊNDICES 8.3.5 – Desenho ilustrativo do canal São Gonçalo referente ao ano de 2003.

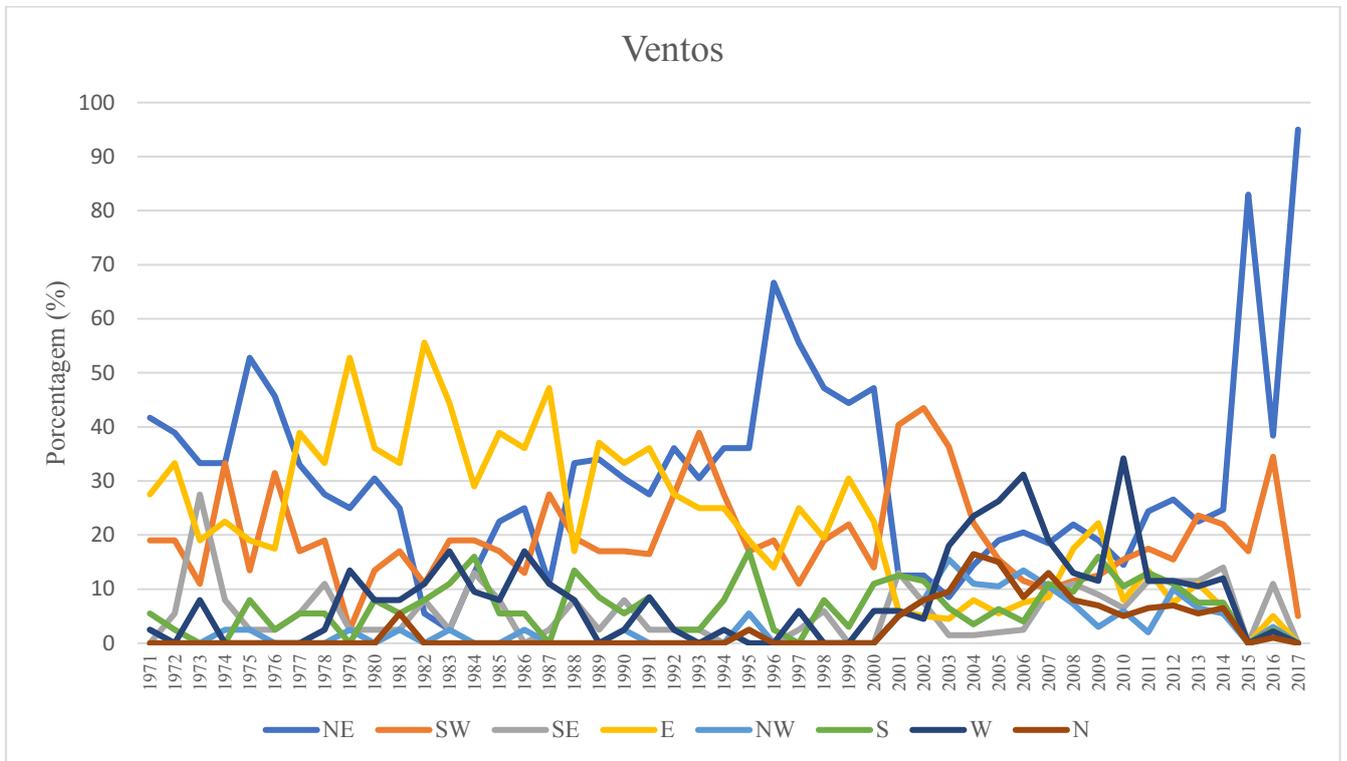
APÊNDICES 8.3.6 – Desenho ilustrativo do canal São Gonçalo referente ao ano de 2010.

APÊNDICES 8.3.7 – Desenho ilustrativo do canal São Gonçalo referente ao ano de 2017.

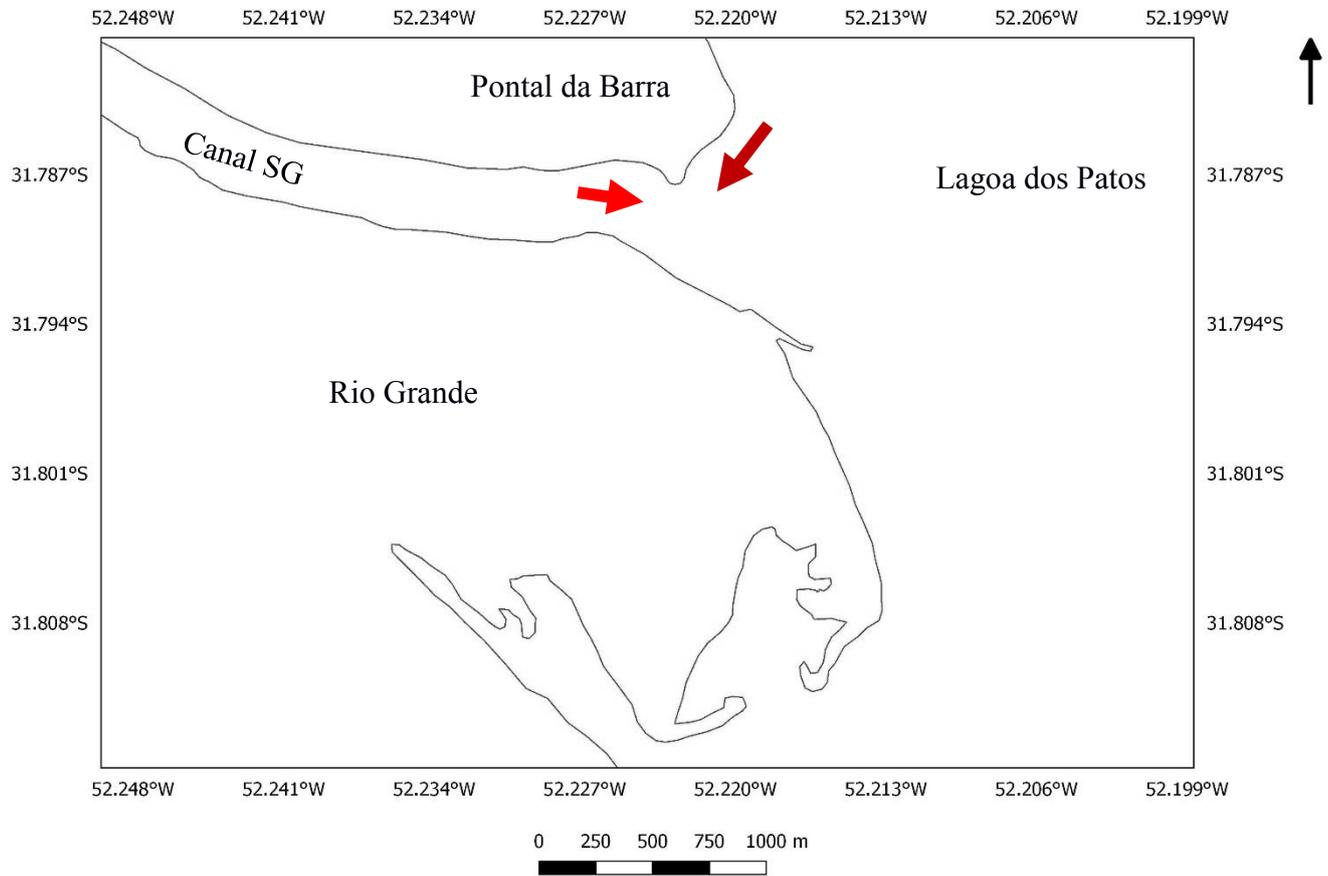
APÊNDICES 8.4 – Desenho ilustrativo da variação ocorrida na foz do canal São Gonçalo referente aos anos de 1953 - 2017.



APÊNDICES 8.5 – Percentagens dos ventos registrados entre os anos de 1971 até 2017.

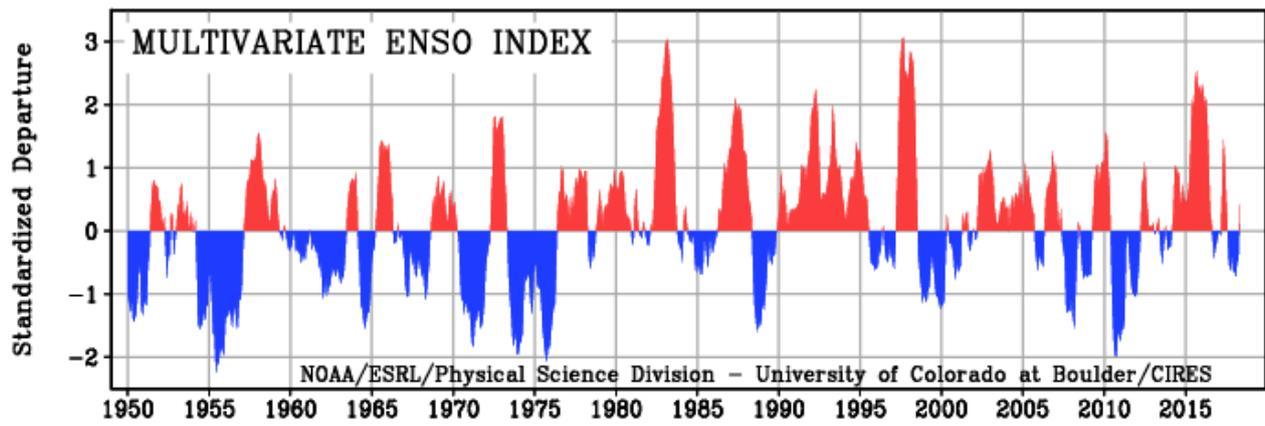


APÊNDICES 8.6 – Mapa ilustrativo representando os vetores da deriva litorânea e do fluxo do canal São Gonçalo em um período de El Niño, quando os níveis de água de ambos corpos apresentam valores elevados, assim ocorrendo deposição no Pontal da Barra (imagem referente ao ano de 2017).



Anexo 1:

El Niño (Vermelho) e La Niña (Azul)



Disponível em: <www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei>