



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO GRANDE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA INFORMAÇÃO - ICHI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
LINHA DE PESQUISA: ANÁLISE DOS SISTEMAS NATURAIS E AMBIENTAIS

CARACTERIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE AO PROCESSO DE PROGRADAÇÃO E
RETROGRADAÇÃO NO ENTORNO DA CIDADE DO RIO GRANDE, RS, COM USO DE
GEOTECNOLOGIAS

Thaís Ferreira da Conceição

Rio Grande, RS
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO GRANDE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA INFORMAÇÃO - ICHI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
LINHA DE PESQUISA: ANÁLISE DOS SISTEMAS NATURAIS E AMBIENTAIS

CARACTERIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE AO PROCESSO DE PROGRADAÇÃO E
RETROGRADAÇÃO NO ENTORNO DA CIDADE DO RIO GRANDE, RS, COM USO DE
GEOTECNOLOGIAS

Thaís Ferreira da Conceição

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Geografia da Universidade
Federal de Rio Grande, como requisito para a
titulação de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque

Rio Grande, RS
2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque - PPGEIO/ FURG (Orientador)

Prof^a. Dr^a. Angélica Cirolini – UFPel

Prof. Dr. Jean Marcel de Almeida Espinoza - IFRS - Rio Grande

Prof. Dr. Ulisses Rocha Oliveira - ICHI/FURG

Prof. Dr. Éder Maier – ICHI/ FURG (suplente)

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”
(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por chegar onde estou. Sou muito grata a isso.

Ao meu Orientado Miguel da Guia Albuquerque, pelos conhecimentos compartilhados durante esses dois anos de mestrado e principalmente pela dedicação à essa dissertação. À minha Banca Avaliadora. À Angélica Cirolini, minha ex-orientadora, amiga e uma das maiores incentivadoras, obrigada por acreditar em mim, me mostrar que eu sou capaz, sim, de chegar onde eu quero. Te admiro muito. Ao Jean Espinoza, queridíssimo, que se mostrou um grande amigo durante esse tempo de mestrado, obrigado por todo apoio quando eu precisei, teus ensinamentos foram essenciais para a conclusão dessa dissertação. Ao Ulisses Rocha de Oliveira, obrigada pelas colocações feitas durante a qualificação foram de grande valia, para o andamento da dissertação.

À FURG e ao IFRS – campus Rio Grande, que foram ao longo desses dois anos a extensão da minha casa.

Ao GEOMA, Laboratório do IFRS onde passei longos dias e horas vetorizando imagens, aos vários alunos do integrado do Geoprocessamento que dividiram o laboratório comigo e fizeram das minhas tardes as mais alegres.

Ao Curso superior de Tecnologia em Geoprocessamento – UFPEL, por ter feito nascer em mim um amor por essa profissão, a todos os professores que passaram pela minha vida, mais em especial ao professor Alexandre Bruch, que assim com a Angélica, foi meu incentivador, sempre acreditou em mim, obrigada por fazer parte da minha história, sou extremamente grata por todos os ensinamentos.

Aos meus queridos amigos que fiz durante esses dois anos de mestrados, amigos esses, que quero levar para o resto da vida.

As minhas amigas de infância, Karine e Bruna, que torcem por mim e vibram comigo em todas as conquistas, obrigada por fazerem parte da minha vida. Amo vocês.

À minha mãe de Coração, Élide, obrigada por estar sempre ao meu lado e vibrando por todas as minhas conquistas.

Aos meus tios Cristian Oliveira e Cristiane Troina, que são exemplos de profissionais e de pessoa, são meus incentivadores e é neles que me espelho. Obrigada pelo belo exemplo UE vocês me passam.

E por fim, aqueles que estão comigo em todas as minhas loucuras, Mãe Maria e Pai Lotti, essa é pra e por vocês, obrigada por me incentivarem, me apoiarem, vocês são meu alicerce pra que eu possa seguir em frente e conquistar o mundo, a minha irmã Giann que mesmo com seu jeito ogro, me apoia e me incentiva em tudo a vida.

Em especial ao meu filho Miguel, que mesmo pequeno é quem me dá forças pra não desistir nunca, meu filho que isso sirva como exemplo pra tua vida, me desculpa por muitas vezes ser ausente, mais faz parte do nosso crescimento. Mamãe te ama, tu és o amor da minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela concessão da bolsa de mestrado, pois sem ela seria inviável terminar o mestrado. E principalmente a mim, por não desistir, mesmo nos piores momentos.

RESUMO

O presente estudo visa caracterizar, através do uso do sensoriamento remoto e das geotecnologias, as modificações ocorridas na orla península da cidade do Rio Grande, Rio Grande do Sul, entre os anos de 2004 a 2018. A partir dos dados de deslocamento das margens do entorno da cidade, obtidos através de sensores orbitais compreendendo o período de interesse, foi possível caracterizar quais localidades estão suscetíveis a processos de retrogradação e progradação. Utilizando o método de detecção de mudança por imagens e análises multicriteriais foi possível elaborar mapas temáticos onde são apresentadas as informações referentes ao deslocamento linear da orla da cidade do Rio Grande em mesoescala. Como resultados se têm que as maiores taxas de retrogradação nos últimos 14 anos têm sido evidenciadas na porção da orla situada ao norte da cidade. Nas localidades abrigadas pelo Saco da Mangueira tem se observado uma predominância nos processos de deposição. Através das análises feitas utilizando o Método de Kernel e a Distância Euclideana, foi possível observar que a distância de canais não é tão importante quanto à densidade entre os pontos de erosões e os canaletes de drenagem. Um conhecimento das localidades mais suscetíveis a retrogradação da orla da cidade do Rio Grande, além de ser um indicativo para as avaliações das áreas com maior potencial a inundação na cidade pode contribuir para um futuro planejamento e ocupação da orla da cidade. Informações referentes às localidades suscetíveis a movimentação linear, bem como as regiões que apresentam uma maior ou menor suscetibilidade a inundações ocasionadas por elevação de nível da Lagoa dos Patos, poderão servir de subsídio e ferramenta estratégica para os gestores municipais, no planejamento de ações de mitigações relacionadas a eventos de inundação.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, gestão municipal de orlas, geotecnologias.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Mapa de Localização.....	18
FIGURA 2:	Modelo Litoestratigráfico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.....	20
FIGURA 3:	Modelo esquemático atualizado da estruturação da PCRS.....	21
FIGURA 4:	Estruturação Geomorfológica da Planície Costeira do RGS.....	22
FIGURA 5:	Tabela de tipos de Riscos	27
FIGURA 6:	Croqui do Método DSAS para diferentes linhas de costa	30
FIGURA 7:	Caracterização do Método do Polígono de Mudança	31
FIGURA 8:	AHP- Árvore Hierárquica.....	35
FIGURA 9:	Método de Kernel.....	36
FIGURA 10:	Esquema do método de classificação supervisionada – Distância Euclideana.....	37
FIGURA 11:	Fluxograma Referente à preparação do Banco de Dados.....	37
FIGURA 12:	Fluxograma Referente à aplicação do Método do Polígono de Mudança.....	39
FIGURA 13:	Fluxograma Referente à elaboração dos resultados de correlação entre a Drenagem e a Retrogradação.....	41
FIGURA 14:	Fluxograma Referente à aplicação do Método da Análise Multicriterial.....	42
FIGURA 15:	Esboço do processo de vetorização e criação do Polígono.....	43
FIGURA 16:	Esquema de subtração dos Polígonos.....	44
FIGURA 17:	Subtração dos Polígonos e imagem diferença.....	45
FIGURA 18:	Transformação de vetores em pontos.....	47
FIGURA 19:	Subtração do resultado gerado e a máscara de recorte..	48
FIGURA 20:	Variação da orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos de 2004-2006.....	51
FIGURA 21:	Variação da orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos de 2009-2011.....	52
FIGURA 22:	Aterros implementados pela população.....	53

FIGURA 23:	Variação da orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos de 2011-2013.....	54
FIGURA 24:	Variação da orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos de 2006-2009.....	56
FIGURA 25:	Variação da orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos de 2013-2016.....	58
FIGURA 26:	Variação da orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos de 2016-2018.....	60
FIGURA 27:	Gráfico da taxa de modificação da costa.....	61
FIGURA 28:	Percentual das áreas mais atingidas pela retrogradação na orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos de 2004-2018	63
FIGURA 29:	Mapa de correlação entre a distância à drenagem versus Recuo da Costa.....	65
FIGURA 30:	Mapa de correlação entre a densidade à drenagem versus Recuo da Costa.....	66
FIGURA 31:	Histograma de correlação entre a densidade à drenagem versus Recuo da Costa.....	67
FIGURA 32:	Histograma de correlação entre a distância à drenagem versus Recuo da Costa.....	67
FIGURA 33:	Resultados da Análise Multicriterial para o Cenário 1.....	69
FIGURA 34:	Resultados da Análise Multicriterial para o Cenário 2.....	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1:	Escala de relativa importância de Saaty.....	35
TABELA 2:	Banco de imagens utilizado no estudo.....	40
TABELA 3:	Valores de acreção e recuo, em metros, para o período de 2004 a 2018.....	62
TABELA 4:	Tabela Saaty gerada para o cenário 1.....	68
TABELA 5:	Tabela Saaty gerada para o cenário 2.....	70

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1:	Progradação Total.....	44
EQUAÇÃO 2:	Retrogradação Total.....	44
EQUAÇÃO 3:	Saldo Final.....	44
EQUAÇÃO 4:	Determinação da Constante de Suavização.....	49
EQUAÇÃO 5:	Distribuição de Probabilidade.....	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

AHP	<i>Analystic Herarchy Process</i>
ANA	<i>Agência Nacional de Águas</i>
DBF	<i>Extensão de arquivo</i>
DSAS	<i>Digital Shoreline Analyses System</i>
DEM	<i>Modelo digital de elevação do terreno</i>
EPR	<i>End Point Rat</i>
FURG	<i>Universidade Federal do Rio Grande</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems (Sistema Global de Navegação por Satélite)</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
IFRS	<i>Instituto Federal do Rio Grande do Sul</i>
IOC	<i>Intergovernmental Oceanographic Commission</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Painel on Climate Change</i>
KDE	<i>Estimativa de densidade por Kernel</i>
MNT	<i>Modelo Numérico do terreno</i>
NE	<i>Nordeste</i>
RMS	<i>Root mean square (Valor Quadrático Médio)</i>
SW	<i>Sudoeste</i>
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator coordinate system (sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator)</i>
USGS	<i>Centro de Pesquisa em Geologia dos Estados Unidos</i>
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>

SUMÁRIO

	AGRADECIMENTOS.....	v
	RESUMO.....	vii
	LISTA DE FIGURAS.....	viii
	LISTA DE TABELAS.....	x
	LISTA DE EQUAÇÕES.....	xi
	LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS.....	xii
1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	OBJETIVO.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
3.	JUSTIFICATIVA.....	16
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	17
4.1	Caracterização da península do Rio Grande.....	18
4.2	Geomorfologia da área de estudo.....	19
4.3	Sistema deposicionais do tipo Leques aluviais.....	22
4.4	Sistema deposicional do tipo laguna-barreira.....	22
4.5	Geomorfologia da península do Rio Grande.....	24
5.	REFERENCIAL TEORICO.....	26
5.1	Desastres Naturais.....	26
5.2	Diferenciação entre risco e perigo.....	26
5.3	Vulnerabilidade, suscetibilidade e resiliência.....	28
5.4	Técnicas de detecção de mudança aplicada a ambientes costeiros e estuarinos.....	30
5.5	Retrogradação em regiões costeiras.....	32
5.6	Análise Multicriterial.....	33
5.6.1	Modelo AHP.....	34
5.7	Análise de Kernel e Distância Euclidean.....	35
5.8	Modelos digitais de elevação (MDE).....	37
6.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
6.1	Pré-processamento e preparação da base cartográfica.....	39
6.2	Processo de vetorização da orla da cidade do Rio Grande.....	41
6.3	Aplicação do Método do Polígono da Mudança para a obtenção das imagens diferença e estimativa de retrogradação.....	42
6.4	Geração dos dados utilizando o Método de Kernel e Distância Euclidean.....	45
6.5	Aquisição dos dados de vento, nível da lagoa e altimetria do terreno.....	47
6.6	Determinação das áreas suscetíveis ao processo de retrogradação através da Análise Multicritério.....	48

7.	RESULTADOS	50
7.1	Períodos de progradação da orla da Península da cidade do Rio Grande.....	50
7.2	Períodos de retrogradação da orla da Península da cidade do Rio Grande.....	55
7.3	Balanço final dos processos de progradação e retrogradação...	61
7.4	Relação entre canaletes de drenagem e retrogradação.....	64
7.5	Resultado da Análise multicriterial.....	68
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
8.1	Limitações e avanços.....	72
8.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	72
9.	REFERÊNCIAS.....	73

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras e estuarinas são regiões submetidas a um processo intenso de ocupação, o que precisa ser analisado e monitorado para subsidiar os planos de Gestão Pública. Visto como áreas peculiares entre dinâmicas sócio-econômicas e elementos naturais, esses ambientes foram às primeiras regiões a serem densamente habitadas considerando a facilidade de obtenção de alimentos através da pesca, questões ligadas a proteção de território e facilidade na movimentação e escoamento de cargas (TESSLER & MAHIQUES, 2007).

No que diz respeito ao litoral brasileiro, o comércio, o turismo, outras atividades e ambientes costeiros servem como suporte econômico de um número crescente de comunidades. Esse crescimento econômico, impulsionado pelo setor turístico e ocupação costeira cresceu muito rápido sem os devidos cuidados (ALBUQUERQUE, 2013). Isso faz com que a costa e suas regiões adjacentes se tornem mais suscetíveis a processos como, por exemplo, erosão, alagamentos e inundações devido a ocupações irregulares.

Para Neves & Muehe (2008), a falta de dados de monitoramento ambiental de longo prazo, o processo de ocupação territorial desordenado e a construção de obras de proteção e contenção, sem critérios técnicos de engenharia, tornam muitas vezes difícil distinguir o que são resultados de intervenções antrópicas ou resultados de fenômenos naturais. Soma-se a isso o fato de que grande parte dos municípios brasileiros apresentou uma carência de informações atualizadas e sistematizadas sobre o território urbano, principalmente no que se refere à topografia e suas relações com a drenagem das águas decorrentes da precipitação. Em relação aos municípios brasileiros suscetíveis a inundações, intervenções antrópicas através da modificação de áreas de drenagem têm contribuído para o aumento da frequência das inundações em diversas regiões do Brasil.

A partir do exposto, o presente estudo visa realizar o mapeamento em mesoescala das localidades suscetíveis aos processos de retrogradação e progradação na orla da península da cidade do Rio Grande, estado do Rio Grande do Sul (RS). Os dados referentes à variação da linha de costa em escala multitemporal (2004 a 2018) e ventos possibilitaram a geração de um produto cartográfico com o panorama de quais áreas do entorno da cidade do Rio Grande apresentam um maior risco à retrogradação.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo visa identificar as variações espaço-temporais ocorridas na orla da cidade do Rio Grande (RS), com intuito de elaborar documentos cartográficos para identificar áreas de retrogradação e progradação através da análise de multicritério.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as áreas de retrogradação na orla da cidade do Rio Grande entre os anos de 2004 a 2016;
- Executar uma análise multicriterial AHP para determinação de um mapa de vulnerabilidade de áreas com tendências a retrogradação;
- Utilizar o Método de Kernel e da Distância Euclidiana para caracterizar a relação entre os canais de drenagem com as áreas de retrogradação;
- Elaborar documentos cartográficos para identificar áreas de suscetibilidade à retrogradação da orla da península da cidade do Rio Grande;

3. JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que o processo de urbanização na cidade do Rio Grande iniciou com uma forte tendência de impermeabilização do solo e ocupação desordenada de suas margens de lâminas d'água. Levando em conta seu baixo gradiente topográfico, e sua localização na planície costeira do estado do RS, entre a Laguna Mirim, Lagoa dos Patos e Oceano Atlântico, tais características propiciam o surgimento de áreas suscetíveis ao risco de retrogradação na península.

A justificativa para realização do presente estudo se fundamenta no fato do desconhecimento, por parte dos gestores do município, de qual a situação da cidade do Rio Grande em termos de impactos relacionados a intervenções naturais e/ ou antrópicas, que podem resultar em episódios de retrogradação da orla. Essas informações, associadas a um mapeamento das condicionantes desses processos de retrogradação e progradação, são de grande importância para que o poder público possa ter subsídios para traçar ações de mitigação junto a essas localidades mais suscetíveis.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Rio Grande se situa no sul do estado do Rio Grande do Sul (RS), nas coordenadas geográficas 31°47'02" a 32°39'45" de latitude Sul e 52°03'50" a 52°41'50" de longitude Oeste, possuindo cerca de 2,709 km² de área, e 208.641 habitantes, de acordo com o IBGE (2017). O município está compreendido na planície costeira do Estado, sobre uma porção superficial sedimentar quaternária exposta na unidade geomorfológica dessa planície, na sua porção média, entre a Lagoa Mirim, Laguna dos Patos e o Oceano Atlântico.

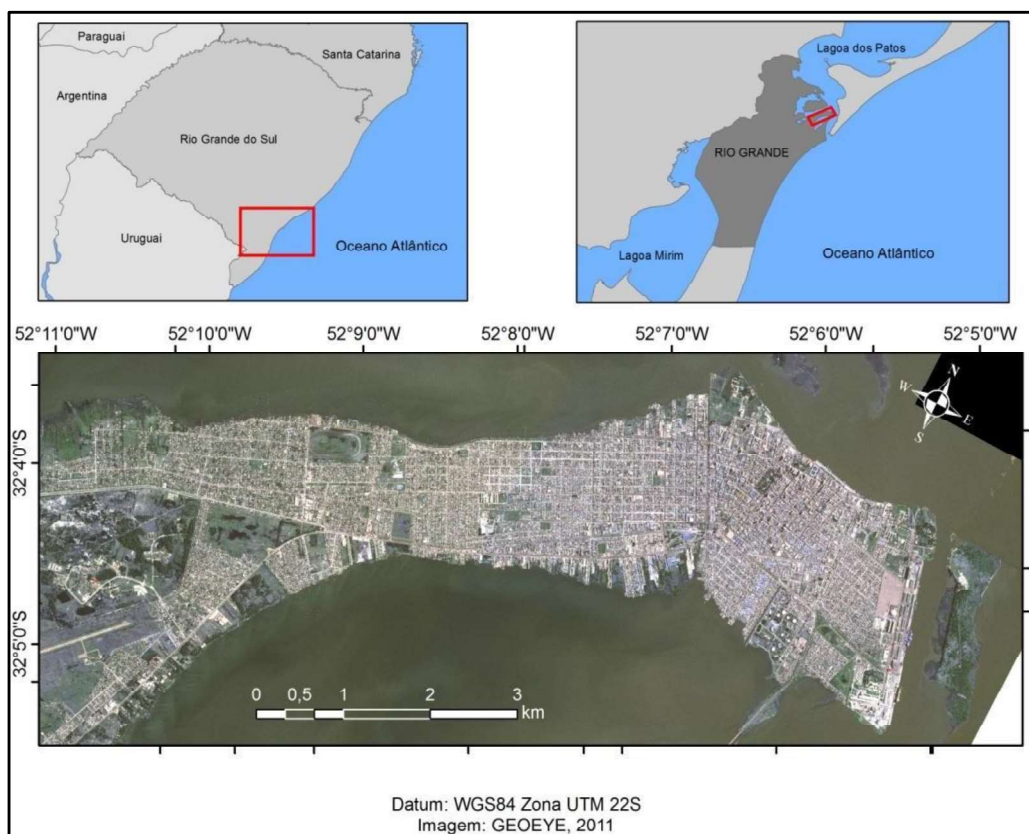
O estuário da Lagoa dos Patos apresenta uma descarga de água doce dos rios em seu corpo hídrico de 2400 m³/s (VAZ *et al.*, 2006). Os principais rios tributários são os rios Jacuí e Taquari, os quais descarregam suas águas através do rio Guaíba, com uma vazão média anual de 2000 m³/s (MARQUES, 2005; MARQUES & MÖLLER, 2008) e o Rio Camaquã, que deságua na região central da laguna, com uma vazão média anual de 400 m³/s (VAZ, 2003).

Os excedentes pluviométricos são registrados nos meses de inverno, o que leva a inúmeras ocorrências ocasionadas por alagamentos e/ ou inundações nas cidades no entorno da Lagoa dos Patos (DIAS *et al.*, 2017). Os ventos predominantes no estuário são de NE os quais, segundo Villwock & Tomazelli (2007), formam ondas que afetam as margens lagunares, resultando em processos de recuo e/ ou acumulação de sedimentos. A porção estuarina tem uma topografia mais acidentada, com gradientes batimétricos mais intensos, os quais são passíveis da ação do vento e das ondas.

4.1. Caracterização da Península do Rio Grande

A Península do Rio Grande (Figura 1) situa-se sobre um estreito pontal arenoso de orientação geral NE-SW que se estende para o interior do estuário da Lagoa dos Patos, com cota altimétrica da ordem de 5 metros (VIEIRA & RANGEL, 1988), nas coordenadas geográficas 32°05'00" a 32°04'00" de latitude Sul e 52°04'00" a 52°05'00" de longitude Oeste. A cidade do Rio Grande possui uma grande importância econômica para o estado do Rio Grande do Sul, com destaque para o complexo portuário, o qual é considerado o maior do sul do Brasil, além da sua importância estratégica para o desenvolvimento do comércio internacional.

Figura 1: Mapa de Localização.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A área urbana do município, foco desse estudo, está situada sobre um estreito pontal arenoso de orientação NE-SW, que se projeta para o interior da região estuarina da Laguna dos Patos (VIEIRA & RANGEL, 1988).

O estuário da Lagoa dos Patos apresenta uma descarga de água doce dos rios em seu corpo hídrico de 2400 m³/s (VAZ et al., 2006). Os principais rios tributários são os rios Jacuí e Taquari, quais descarregam suas águas através do rio Guaíba, com uma vazão média anual de 2000 m³/s (MARQUES,

2005; MARQUES & MÖLLER, 2008) e o Rio Camaquã, que deságua na região central da laguna, com uma vazão média anual de 400 m³/s (VAZ, 2003).

Os excedentes pluviométricos são registrados nos meses de inverno, o que leva a inúmeras ocorrências ocasionadas por alagamentos e/ ou inundações nas cidades no entorno da Lagoa dos Patos (DIAS et al., 2017). Os ventos predominantes no estuário são de NE os quais, segundo Villwock & Tomazelli (2007), formam ondas que afetam as margens lagunares, resultando em processos de recuo e/ ou acumulação de sedimentos. A porção estuarina tem uma topografia mais acidentada, com gradientes batimétricos mais intensos, os quais são passíveis da ação do vento e das ondas.

A cidade do Rio Grande passou por um acelerado processo de crescimento de sua área urbana, a partir da inserção de novos loteamentos e expansão de localidades já consolidadas durante o período de fomento à indústria naval e offshore (LEAL ALVES et al., 2015). Esse processo, ocorrido sem o devido planejamento, tem inviabilizado um melhor conhecimento das localidades suscetíveis a inundações por parte dos gestores municipais.

4.2. Geomorfologia da área de estudo

Em termos geomorfológicos, um estudo conduzido por Delaney (1965) contribuiu para o mapeamento do município do Rio Grande a partir de métodos de estratigráfica tradicional, seguindo as normas do código de nomenclatura estratigráfica (Figura 2). As unidades descritas por Delaney (Op cit.) foram modificadas por vários autores posteriormente de forma que, o baixo conteúdo fóssilífero de depósitos deixou o quadro estratigráfico muito confuso, dificultando as correlações espaciais e posicionamento temporais, consequentemente embarçando a compreensão da história evolutiva da região (VILLWOCK, 1984).

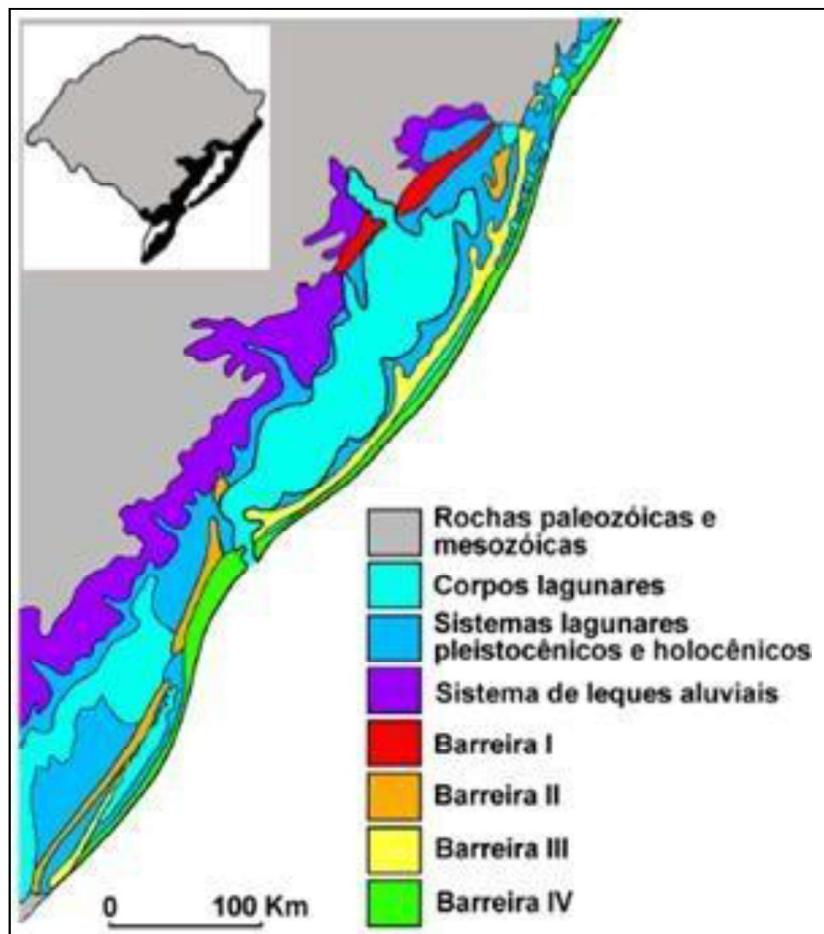
Figura 2: Modelo litoestratigráfico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.



Fonte: Delaney (1965).

Um novo método foi utilizado por um grupo de pesquisadores do CECO-IG-UFRGS, onde foi feita uma pesquisa sistemática de região utilizando uma metodologia baseada na identificação, correlação e reconhecimento de associação de fácies e a integração em sistemas deposicionais, com ênfase na Clinoestratigrafia, este estudo mostrou que o depósito de afloramento da planície Costeira do Rio Grande do Sul acumulou-se em sistemas deposicionais específicos desenvolvidos a região durante o quaternário: (1) um sistemas de leques aluviais ocupando uma faixa contínua ao longo da parte mais interna da planície costeira e (2) quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo Laguna-Barreira (TOMAZELLI e VILLWOK, 2003), conforme mostra a figura 3.

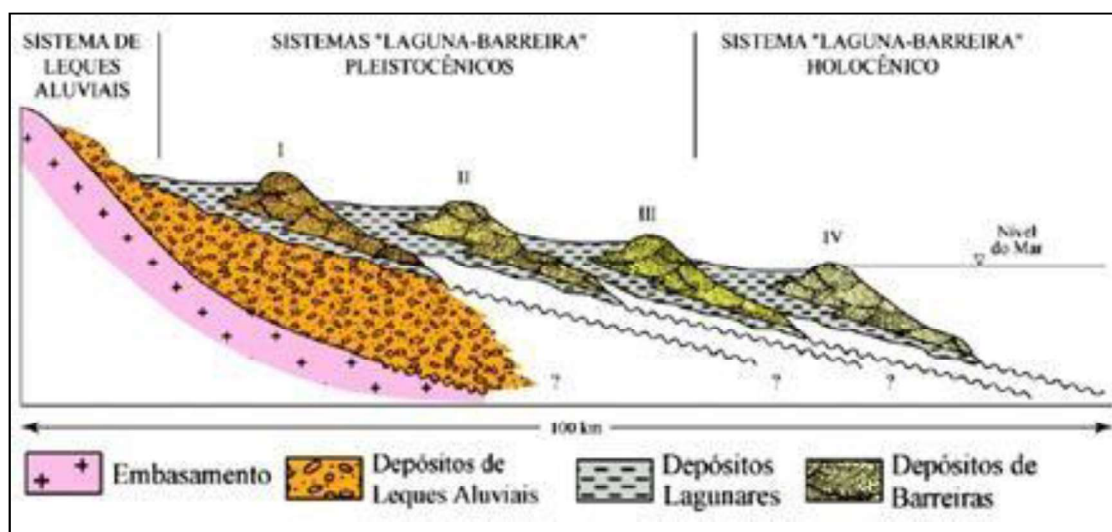
Figura 3: Modelo esquemático atualizado da estruturação da PCRS.



Fonte: Villwock & Tomazelli (2003).

Devido à estruturação geológica descrita anteriormente, podemos dizer que dois grandes compartimentos geomorfológicos agregam a Província Costeira, as terras altas e as terras baixas. As Terras Altas agrupam o Escudo Sul Riograndense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias e as Terras Baixas são constituídas pela Planície Costeira e a Plataforma Continental. Na figura 4 podemos observar a estruturação geomorfológica da planície costeira do Rio Grande do Sul.

Figura 4: Estruturação geomorfológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.



Fonte: Tomazelliet *al.* (2000).

De acordo com os estudos feitos por Villwock (1984) e Villwocket *al* (1986) foi determinada uma subdivisão da Planície que são compostas por dois grandes conjuntos deposicionais: O Sistema de Leques Aluviais e o Sistema Laguna-Barreira.

4.3. Sistemas Depositionais do Tipo Leques Aluviais

O Sistema de Leques Aluviais é um conjunto de fácies sedimentares resultantes de um processo de transporte associado aos ambientes das encostas das terras altas. De acordo com Villwock & Tomazelli (1995), na sua parte mais proximal são incluídos depósitos resultantes de processos dominantes gravitacionais em queda livre de bloco, o rastejo e o fluxo de detritos e que grudam na sua porção dista, para depósitos transportados e depositados em meio aquoso (aluviões).

4.4. Sistema Depositionais do Tipo Laguna-Barreira

Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul os fatores físicos combinados como o contexto geomorfológico, a disponibilidade de sedimentos e os processos de retrabalhamento costeiro, resultantes das oscilações glácio-eustáticas, decorreram na formação dos grandes sistemas deposicionais do

tipo laguna-barreira. Segundo Davis Jr (1983) este tipo de sistema ocorre em costas que estiveram ou estão sob efeito de regime transgressivo do nível do mar. Tem como características a presença de extensos depósitos arenosos dispostos paralelos à linha de costa, que isolam, rumo ao continente (espaço de retrobarreira), corpos lagunares que se conectam ao mar por um ou mais canais de ligação.

Esses sistemas são divididos em quatro subsistemas, mencionados do mais antigo para o mais recente, como sistemas Laguna-Barreira I, II, III e IV, essa divisão é o resultado de processos de transgressão e regressão do NRM ao longo do Quaternário. Cada um dos sistemas laguna-barreira da costa gaúcha representa uma fase de máxima transgressão marinha, correlacionada a um estágio interglacial. Os sistemas III e IV estão mais conservados em relação aos dois mais antigos, e preservam importantes registros dos processos físicos relacionados à gênese da planície, além de restos de organismos marinhos e terrestres.

O Sistema Laguna-Barreira I é considerado o sistema deposicional mais antigo na Província costeira do Rio Grande do Sul, tendo se desenvolvido a partir do resultado de um primeiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico. O sistema encontra-se bem preservado na porção Noroeste da planície Costeira nos dias de hoje.

O Sistema deposicional Laguna-Barreira II evoluiu do resultado do segundo evento de transgressivo-regressivo pleistocênico. Esse sistema representa o primeiro estágio na evolução “Barreira Múltipla Complexa” (VILLWOCK, 1984) cuja individualização foi responsável pelo isolamento de um gigantesco corpo lagunar representado pela laguna dos Patos e Lagoa Mirim.

O Sistema deposicional Laguna-Barreira III está relacionado ao terceiro evento de transgressivo-regressivo pleistocênico. Esse sistema se encontra preservado e seu desenvolvimento, responsável pela implantação final do sistema lagunar. Os depósitos correlacionados à Barreira III vão de maneira contínua de Torres até o Chuí, são barreiras bem preservadas ao longo de toda planície costeira. As fácies sedimentares conservadas na Barreira III permitem observar um processo de progradação sob regime hidrodinâmico e geometria da linha de costa iguais às condições atuais (TOMAZELLI & DILLENBURG, 2007).

De acordo com Delaney (1965) o Sistema Lagunar III, desenvolveu-se na área topograficamente mais baixa entre as Barreiras II e III. É constituído por fácies arenosas compostas por areias finas, de coloração creme, síltico-argilosas pouco selecionadas e proporcionando uma laminação plano-paralela. Entre Osório e Rio Grande, os depósitos associados a este evento, agiram como uma barreira, isolando do lado do continente, na região retrobarreira, um importante sistema lagunar (Sistema Lagunar III) ocupado em sua maior parte, pela Laguna dos Patos.

A Laguna-Barreira IV é o mais recente sistema deposicional. Este sistema junta a linha de costa atual e algumas lagoas costeiras, sendo a mais expressiva a lagoa Mangueira, ao sul da planície, com cerca de 100 km de extensão. Esta barreira se instalou no máximo transgressivo por causa da elevada disponibilidade de sedimentos arenosos existentes na plataforma continental interna, progradou lateralmente durante a fase regressiva que se seguiu. Esta progradação aumentou principalmente através da construção de cordões litorâneos regressivos cujas características ainda podem ser observadas ao norte de Tramandaí e ao sul da cidade de Rio Grande (GODOLPHIM, 1976).

Situado entre a Barreira IV e os sedimentos pleistocênicos da Barreira III, o espaço retrobarreira foi ocupado por grandes corpos lagunares no pico transgressivo holocênico, posteriormente acompanhado pela progradação da barreira, evoluindo para um complexo de ambientes deposicionais. Destacam-se nesse conjunto a lagoa Mangueira, na região sul da planície costeira, a lagoa do Peixe, na parte média, e o rosário de lagoas interligadas existentes no litoral norte do Estado. A ingressão marinha, no máximo transgressivo, também se estendeu pelos terrenos baixos localizados entre os depósitos das barreiras pleistocênicas e o sistema de leques aluviais restabelecendo mais uma vez o Sistema Lagunar Patos-Mirim.

4.5. Geomorfologia da Península do Rio Grande

A geomorfologia da península do Rio Grande é caracterizada pelos processos e estruturas da Província Costeira do Rio Grande do Sul. A mesma representa a parte emersa da Bacia sedimentar de Pelotas, que se formou pela estruturação geológica de dois grandes compartimentos geomorfológicos: o das Terras Altas – que agrupam o Escudo Sul Rio-grandense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias e o das Terras Baixas – composto

pela Planície Costeira e a Plataforma Continental.

Para Vilcock e Tomazelli (1995) as variações do clima e do nível do mar no Quaternário regularam os processos de retrogradação e sedimentares. Os sedimentos gerados pelo processo de retrogradação das terras altas se acumularam em dois tipos principais de sistemas deposicionais: Sistema de leques aluviais e sistema laguna-barreira, os mesmos foram descritos no capítulo anterior.

De acordo com Oliveira *et al* (2009) o ecossistema estuarino do município do Rio Grande apresenta importantes habitats tais como: marismas, dunas, campos litorâneos, banhados, planos de lama e coberturas vegetais variadas, que constituem local de abrigo para uma grande diversidade de animais. As marismas são habitats costeiros intermareais dominados por vegetação herbácea halófitas (vivem em ambientes salgados), com desenvolvimentos anuais e permanentes, providas de estruturas anatômicas e adaptações fisiológicas para suportarem o alagamento e a variação de salinidade. Esta vegetação ocupa áreas protegidas de estuários, baías e lagunas, particularmente nas regiões temperadas e subtropicais, onde ocorre uma maior deposição de sedimentos aluviais ou marinhos.

A origem do município deve-se à evolução costeira ocorrida há 4500 anos (GODOLPHIM, 1976), onde a ação antrópica contribuiu também de forma expressiva. As mudanças na fisiografia da península permitiram o estabelecimento do núcleo urbano, visto a necessidade de criação de áreas para o seu desenvolvimento. O Porto Novo e os aterros da zona leste do centro histórico são exemplos desse desenvolvimento.

Ao longo do tempo a cidade do Rio Grande vivenciou diversos ciclos econômicos que refletiram em sua configuração espacial urbana. Nos primórdios a cidade se desenvolveu junto ao porto velho, nas áreas mais propícias devido as limitações do ambiente físico do sítio. Os períodos que se sucederam de pujança comercial e industrial juntamente com a ampliação da área portuária favoreceram o crescimento das áreas habitadas, a urbanidade foi vencendo. Segundo IBGE (2010), Rio Grande, é o município com maior taxa de urbanização (96,07%) da metade sul do Estado. A feição estreita da península favoreceu o crescimento da cidade sobre os corpos hídricos, através de grandes quantidades de aterros, desta forma, terrenos alagáveis foram transformados em terras urbanas (OLIVEIRA *et al*, 2009).

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Desastres Naturais

Desastres naturais, segundo Tomiagaet al. (2009), ocorrem devido a vários fenômenos (i.e. erosão costeira, inundações, alagamentos, deslizamentos de terra, entre outros) associados ao crescimento acelerado e desordenado da população, que muitas vezes se instalam em lugares inapropriados e se colocando em situações de risco e vulnerabilidade. Dessa forma pode-se dizer que desastre é o resultado de eventos adversos que causam grandes consequências à sociedade, sendo diferenciados principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que o desencadeia (TOBIN & MONTZ, 1997). Castro (2003), afirma que os desastres naturais são ocasionados pelo impacto de um fenômeno natural de grande intensidade sobre uma área ou região habitada, podendo ou não ser agravado pelas atividades antrópicas, trazendo riscos à população.

No Brasil, a ocorrência de desastres naturais tem exigido permanente ação dos órgãos de defesa civil (NEDEL et al., 2012). O resultado desse descompasso é que entre os anos de 2008 a 2010, o Governo Federal repassou aproximadamente um bilhão e oitocentos milhões de reais (R\$ 1,8 bilhões) para auxiliar os municípios brasileiros que decretaram situação de emergência ou calamidade pública (MIN, 2013) em virtude de problemas relacionados a alagamentos e/ ou inundações, agindo assim de forma corretiva e não preventiva. Na zona costeira do Rio Grande do Sul, uma grande parcela dos estudos realizados tem associado o termo desastre a questões relacionadas ao processo erosivo de áreas litorâneas ocasionadas por eventos extremos de alta energia.

5.2. Diferenciação Entre os Termos Risco e Perigo

Discussões relacionadas ao tipo de risco ou perigo que uma determinada população é submetida tem sido foco de diversos debates. Os termos risco e perigo podem ser muitas vezes confundidos, por estarem diretamente ligados, porém não são sinônimos (GIDDENS, 1991). De acordo

com Castro (2000) o termo risco está relacionado ao latim (*reseacare*) que significa cortar, Veyret (2015) também relaciona a palavra em latim e afirma que o termo tem como significado extirpar ou suprimir.

Short (1999) define risco como sendo os elementos de um ambiente que expõem o público a perigos ou danos. Para se considerar uma localidade em risco, Crichton (1999) destaca que são necessários três elementos básicos: os tipos de perigo existentes, o grau de vulnerabilidade e o quanto a população está submetida. Segundo IOC (2009) existem dois tipos de classificação para Risco relacionadas à mudanças climáticas para as zona costeira (Figura 5).

Figura 5: Tipos de Risco.

TIPO DE RISCO	PERIGO NATURAL	DEFINIÇÃO
Risco de início rápido	Sobrelevação do NMM e ressaca do mar (storm surge)	Elevação temporária do NMM (maré meteorológica positiva) e forte agitação marítima causada por tempestades intensas, associadas a sistemas de baixa pressão atmosférica e fortes ventos (tempestades tropicais e extratropicais).
	Ondas geradas por ventos extremos	Ondas extremas geradas por ventos locais ou no oceano.
Risco cumulativo ou progresso	Elevação do NRM de longo período	Elevação global do NRM devido à expansão térmica dos oceanos e ao derretimento de geleiras.
	Erosão costeira	Perda de terras costeiras causada pela ação de ondas, marés e correntes associadas, potencializadas ou não por intervenções antrópicas.

Fonte: IOC (2009).

No contexto do Painel intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) tem-se que:

“Risco: é o potencial para consequências onde algum valor humano (incluindo os próprios seres humanos) está ameaçado e onde o resultado é incerto; é geralmente representado como a probabilidade de ocorrência de eventos perigosos, multiplicada pelas consequências da ocorrência desses eventos (IPCC, 2014)”. É a combinação da probabilidade de ocorrência de um

evento perigoso e suas consequências, as quais resultam da interação entre a ameaça (perigo), a vulnerabilidade, a exposição e a capacidade de resposta (VASRNES, 1984; UNISDR, 2015a).” (PBMC, 2016)

O perigo está associado diretamente ao ambiente em si. Ele restringe-se às características físicas do ambiente, sem envolver os usuários. Veyret (2015) tem dois significados para perigo: um denomina o termo como consequência objetiva de uma área sobre o indivíduo, organização do território ou meio ambiente; e o outro está relacionado ao termo *hazard*, embora essa tradução tenha umas divergências na literatura, Veyret (Op.cit.) relaciona ao um acontecimento possível, o qual pode ser um processo natural, tecnológico, social, econômico, e sua probabilidade de realização.

De certa forma, o termo perigo está ligado ao termo risco. Short & Hogan (1993) destacam que quando se parte do princípio de que os perigos fazem parte de qualquer sistema natural, os mesmos tornam-se realmente um risco a partir do momento que uma determinada região passa a ser utilizada pela população.

5.3. Vulnerabilidade, Suscetibilidade e Resiliência

A vulnerabilidade apresenta-se como o nível de exposição que uma dada população apresenta diante de um evento de caráter perigoso (VEYRET, 2015). Sendo assim, pode-se afirmar que uma população se apresenta como vulnerável ao fenômeno das inundações, por exemplo, ou possui certo nível de suscetibilidade diante de seus efeitos. Para Freitas *et al.* (2012), a vulnerabilidade está ligada a processos sociais e mudanças ambientais:

As condições de vulnerabilidade são ocasionadas devido a processos sociais e mudanças ambientais que é denominada de vulnerabilidade socioambiental, pois combinam: os processos sociais relacionados à precariedade das condições de vida e proteção social (trabalho, renda, saúde e educação, assim como aspectos ligados à infraestrutura, como habitações saudáveis e seguras, estradas, saneamento, por exemplo) que tornam determinados grupos

populacionais, principalmente entre os mais pobres, vulneráveis aos desastres e as mudanças ambientais resultantes da degradação ambiental (áreas de proteção ambiental ocupadas, desmatamento de encostas e leitos de rios, poluição de águas, solos e atmosfera, por exemplo) que tornam determinadas áreas mais vulneráveis quando da ocorrência de uma *ameaça* e seus eventos subsequentes. Em síntese, a *vulnerabilidade socioambiental* resulta de estruturas socioeconômicas que produzem simultaneamente condições de vida precárias e ambientes deteriorados, se expressando também como menor capacidade de *redução de riscos* e *baixa resiliência*.

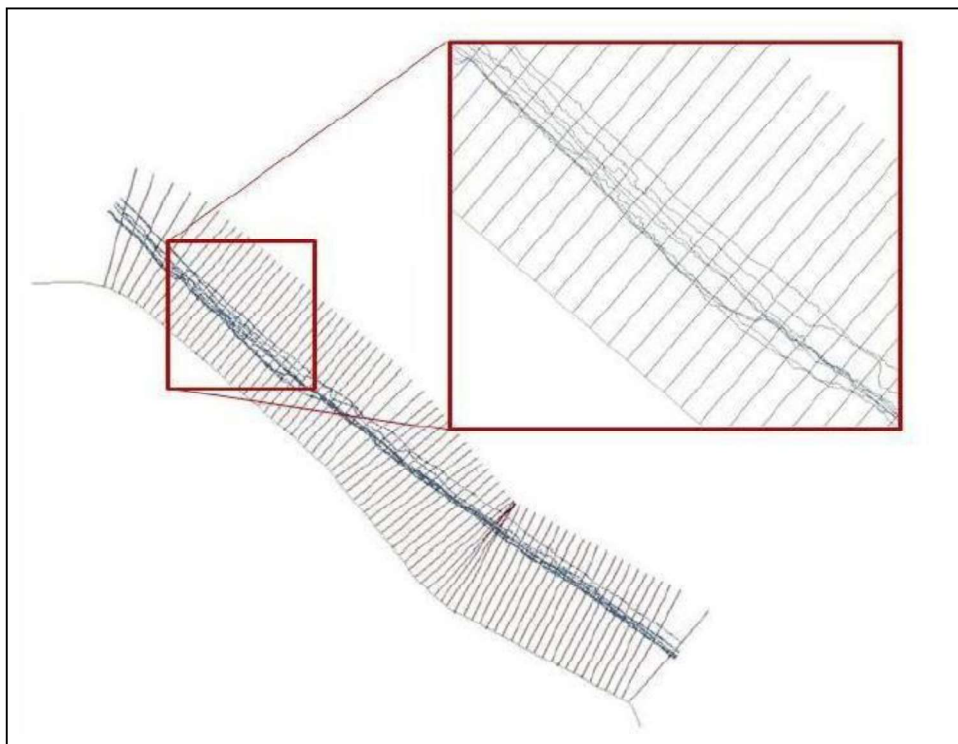
A suscetibilidade é definida como sendo o potencial de uma região ser afetada por um determinado fenômeno, ou seja, a tendência do território sucumbir e/ ou resistir a fenômenos potencialmente destrutivos (MAZZER, 2007). Em relação ao termo suscetibilidade, Lima (2010) destaca que esta se caracteriza por um ou mais atributos físicos que uma área possui e a que a torna sujeita a um evento de desastres relacionados à dinâmica hídrica. Para Muller (2012), suscetibilidade trata-se somente das condições físicas do meio, ou seja, da intensidade ou probabilidade de um determinado ambiente sofrer impacto devido a um perigo natural, tendo como fatores as características físicas e sendo independente da presença humana.

O termo resiliência, segundo Arciniega (2013), é caracterizado pela possibilidade de uma área voltar ao seu estado original após alguma alteração em virtude do estabelecimento de alguma situação adversa. A resiliência pode ser aplicada tanto no contexto das zonas costeiras quanto nas estuarinas, e é associada à estabilidade/resistência, como recuperação e como transformação. A resiliência como resistência significa a capacidade de um ambiente permanecer inteiro e suportar uma situação difícil que afeta a normalidade e pode ocasionar danos materiais. A resiliência como transformação resulta em uma situação mais complexa, onde as pessoas são capazes de enfrentar uma situação, preservar sua integridade e apesar dos riscos, saírem fortalecidas e transformarem a experiência em algo positivo.

5.4. Técnicas de Detecção de Mudança Aplicadas a Ambientes Costeiros

Dentre os métodos utilizados para detecção de mudanças em linhas costeiras e estuarinas, duas técnicas têm sido bastante difundidas nos últimos anos: o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) e o Polígono de Mudança. O DSAS (Figura 6) é um método que foi elaborado pelo Centro de Pesquisa em Geologia dos Estados Unidos (USGS), e desde 1999 é implementado como uma extensão do *software* ARCGIS. Esse método é fundamentado na elaboração de uma linha de base e da criação de transectos perpendiculares e equidistantes (THIELER & DANFOR, 1994). A partir dessas linhas o DSAS calcula as taxas de variação estatística para uma série temporal de dados vetoriais que representam a linha de costa.

Figura 6: Croqui do método DSAS para diferentes tipos de Costa.



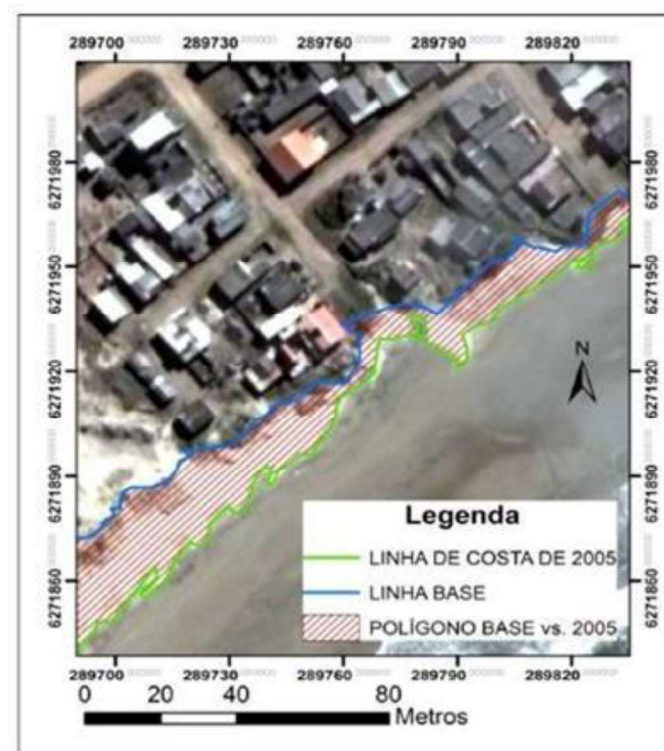
Fonte: Moreira (2018)

O DSAS é fundamentado no processamento EPR (end point rate), o qual trabalha com a medida da distância horizontal entre duas posições de linhas vetorizadas no tempo, preferencialmente ao longo de vários trechos, e

envolvendo apenas dois períodos de tempo (HONEYCUTT et al., 2001; ESTEVES et al., 2009). Essa metodologia tem obtido respostas mais satisfatórias para o cálculo de recuo em linhas de costas homogêneas, as quais não apresentam reentrâncias ou cúspides acentuadas ao longo do segmento Costeiro (ALBUQUERQUE, 2013; ALBUQUERQUE et al., 2013).

O método do Polígono de Mudança (Figura 7), segundo Smith & Cromley (2012), é caracterizado pelo uso de duas linhas de costas distintas e previamente vetorizadas, para realizar uma subtração de polígonos e se obter a diferença total da área entre duas linhas de costa. A partir do cruzamento de duas linhas uma série de polígonos é criado de forma que esta representa uma alternância de regiões que estão sofrendo o processo de progradação ou de erosão. Com a análise da mudança do polígono, toda a região de variação entre duas linhas de costa é quantificada. Dessa forma as áreas de mudança, tanto positivas quanto negativas podem ser calculados a partir da decomposição desse polígono.

Figura 7: Caracterização do método do Polígono de Mudança.



Fonte: Albuquerque (2013).

Um estudo conduzido por Albuquerque et al. (2013), na costa sul do RS, demonstrou que para um mesmo ambiente praial, o qual é sujeito a ação de eventos extremos ocasionados por marés meteorológicas e caracterizado por uma linha de costa com cúspides e reentrâncias, o método do polígono de mudança tem apresentado resultados mais satisfatórios quando comparados com resultados obtidos por outros estudos referentes às variações da linha de costa. Na costa espanhola, um estudo conduzido por Anfuso et al. (2016) têm corroborado com os resultados encontrados por Albuquerque et al. (2013), no que diz respeito a eficácia do método para ambientes que apresentam uma orla com configuração heterogênea.

5.5. Retrogradação em Regiões Costeiras

O uso do solo urbano em áreas costeiras, segundo Moraes (2007), tem grande destaque por se tratar de um ambiente de grande potencial econômico e turístico, em que intervenções urbanas precisam estar relacionadas com as peculiaridades geomorfológicas do sítio onde está definida a ocupação ou sua eventual expansão. Entre os processos que atuam nas zonas costeiras, a ocorrência de retrogradação é um elemento determinante para a observação local de assentamentos urbanos (GUERRA & MARÇAL, 2006).

Segundo o Anuário Brasileiro de desastres naturais (2012) o processo de retração em áreas costeiras e estuarinas se dá ao desgaste (mecânico ou químico) que acontece ao longo da orla, e se deve à ação das ondas, correntes marinhas e/ ou intra estuarinas, ação das marés, entre outros aspectos. Para Van Rijn (2011) erosão pode ser entendida como sendo a perda frequente do material arenoso no sistema praial, tendo como consequência um recuo da linha de costa em direção ao continente. A erosão, nas margens costeiras, segundo Muehe (2005), pode ser causada por influência de intervenções antrópicas na forma de desequilíbrio no aporte sedimentar, agindo de forma sinérgica com o processo natural, outro fator que proporciona erosão pode ser associado a diferentes fatores naturais tais como: elevação do nível do mar. incidência de ondas e predominância de eventos de tempestade (MUEHE, 2013).

A retrogradação pode ser entendida como sendo um fator indicativo para o estabelecimento do processo erosivo, seja em margens costeiras ou estuarinas. O primeiro trabalho a utilizar métodos de cálculo de retração incorporando técnicas de geoprocessamento foi realizado na praia do Gonzaguinha, município de São Vicente, São Paulo (SOUZA & LUNA, 2009). Esse estudo, segundo Souza & Barbosa (2007), buscou empregar essas ferramentas para estimar as taxas de movimentação de linha de costa no litoral paulista.

5.6. Análise Multicriterial

A análise multicriterial é um instrumento de apoio à tomada de decisão que, segundo Kleindorfer *et al.* (1993), pode ser determinada como “uma escolha reflexiva e proposital em resposta a uma necessidade percebida”. A Análise de Decisão Multicritério iguala o processo de tomada de decisão através de modelagem matemática, contribuindo o decisor a resolver problemas nos quais existem diversos objetivos a serem alcançados conjuntamente.

Segundo Roy & Vincke (1981), uma abordagem multicriterial agrega também valor ao tomador de decisão, uma vez que os problemas deixarão de ser resolvidos substituindo o tomador de decisão pelo resultado proporcionado por um modelo de otimização ou simulação. De acordo com a abordagem multicritério, a tomada de decisão pode ser mais bem apoiada, de uma perspectiva plurilateral, se levarmos em consideração os critérios selecionados. A utilização de técnicas multicriteriais pode ser de natureza simples ou combinada. Segundo Guarnieri *et al.* (2015), os modelos simples são separados em três grupos: teoria da utilidade/ valor multiatribuído, métodos de priorização/ sobreclassificação e métodos interativos. Outras formas de classificação ocorrem com relação ao número de alternativas, porém os mesmos retornam soluções de difícil implementação prática (LIMA JR. *et al.*, 2013).

A análise multicriterial do tipo valor multiatributo é fundamentada em um trade-off entre alternativas onde, após uma comparação com indicadores é atribuída uma pontuação (i.e. AHP, SMART, TOPSIS). As alternativas de maior

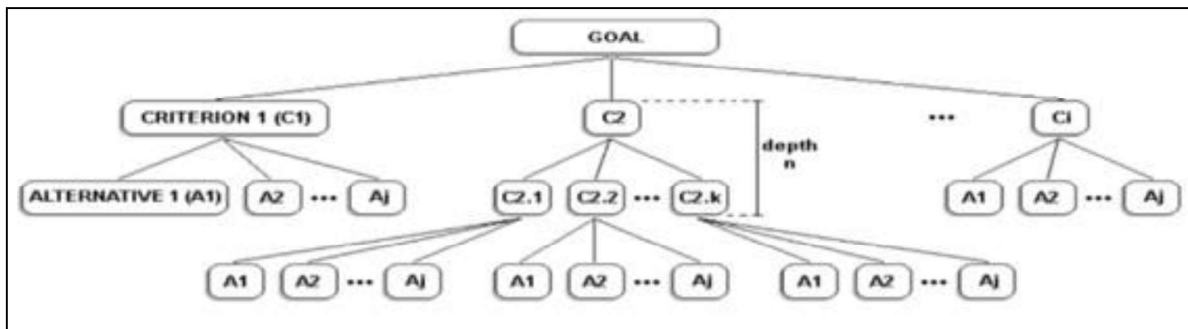
pontuação são escolhidas. A sobreclassificação tem como principal objetivo representar as preferências dos tomadores de decisão. através de relações binárias.

Os métodos iterativos são desenvolvidos em ambiente computacional. Esse tipo de alternativa possibilita o tomador de decisão encontrar a dominância de uma alternativa quando posicionada frente a todos os objetivos estabelecidos.

5.6.1. O Modelo AHP

Desenvolvido por Thomas L. Saaty, em 1980, o modelo AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é baseado na variação não linear de critérios pré-estabelecidos. Segundo Vargas (2010), este método transforma as comparações em valores numéricos que são processados e comparados, permitindo com que os fatores de cada um dos elementos dentro da hierarquia definida. O principal diferencial do método AHP em relação às outras técnicas é a capacidade de conversão de dados empíricos em modelos matemáticos.

O método AHP de tomada de decisão, segundo Weiss (2014), é composto em quatro etapas: (i) O problema é definido e todos os domínios da informação que serão utilizados para a tomada de decisão são determinados. A definição da problemática é utilizada para estabelecer a finalidade de todo o processo e as informações dos domínios são usadas como critérios; (ii) Uma árvore de hierarquia é criada, e é possível para cada critério ter subcritérios tantos quanto necessário. Como podemos observar na figura 8, nos últimos níveis existem alternativas de “A1 a Aj”, e uma dessas será selecionada como resultado do processo inteiro; (iii) Um conjunto de matrizes é construído de modo a realizar uma comparação de critérios na árvore e hierarquia. Ao gerar essas matrizes de uma abordagem por pares é considerado que cada critério seja comparado um por um com o outro; e (iv) Ao fazer comparações de pares, um critério de importância relativo é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, segundo uma escala pré-definida.

Figura 8: AHP Árvore Hierárquica.

Fonte: Ersan (2012).

Dentre as duas alternativas propostas por Saaty a Escala de Relativa Importância é a mais utilizada. Conforme a tabela 1 a escala atribui valores de 1 a 9, que define a importância relativa de uma alternativa em relação à outra.

Tabela 1: Escala de Relativa importância de Saaty.

Escala	Avaliação	Recíproco	Comentário
Igual importância	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos.
Importância moderada	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre outro.
Mais importante	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente em relação ao outro.
Muito importante	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado na prática.
Importância extrema	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com mais alto grau de certeza.
Valores intermediários	2, 4, 6 e 8		Quando se procura condições de compromisso entre duas definições. É necessário acordo.

Fonte: Adaptada de Saaty (1980).

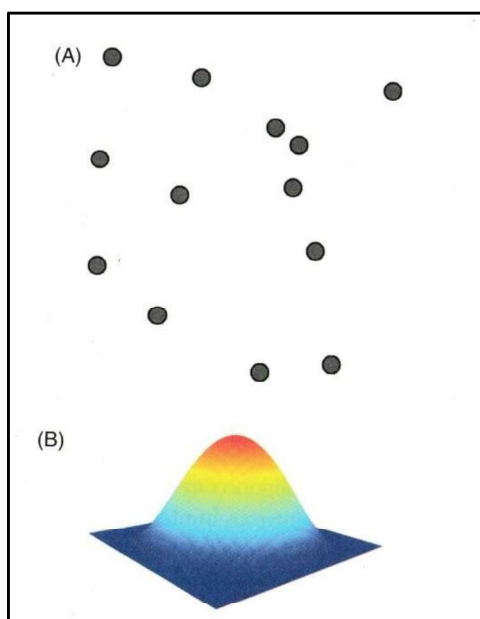
5.7. Análise Kernel e Distância Euclideana

Segundo Barbosa Wanderley (2013), o método de estimação de densidade por *Kernel* (KDE) utiliza-se de matrizes para induzir funções a partir da referência estrutural contida nos dados, tendo como o critério a definir apenas a largura da função de *Kernel*. Tal parâmetro, também chamado de parâmetro suavizador do kernel, e possui papel fundamental no KDE, sendo o valor adotado o que define se a estimativa realizada consegue ou não caracterizar de maneira adequada a relação entre os dados. Silverman (1986) destaca que o estimador de densidade de *Kernel* desenha uma vizinhança circular em volta de cada ponto de amostra, que corresponde ao raio de influência, e então é aplicada uma função matemática de, para a posição do

ponto, a 00, na fronteira da vizinhança. O valor para célula é a soma dos valores de *Kernel* sobrepostos, e divididos pela área de cada raio de pesquisa.

De acordo com Longley *et al* (2013), qualquer medida de *Kernel* tem uma medida de distância associada e, no caso da função mostrada na figura 9, que é uma distribuição Gaussiana, a medida de distância é um parâmetro da distribuição. Na estimativa de densidade, cada ponto é substituído pela sua função de Kernel e as várias funções são reunidas para se obter uma superfície agregada, um campo contínuo de densidades.

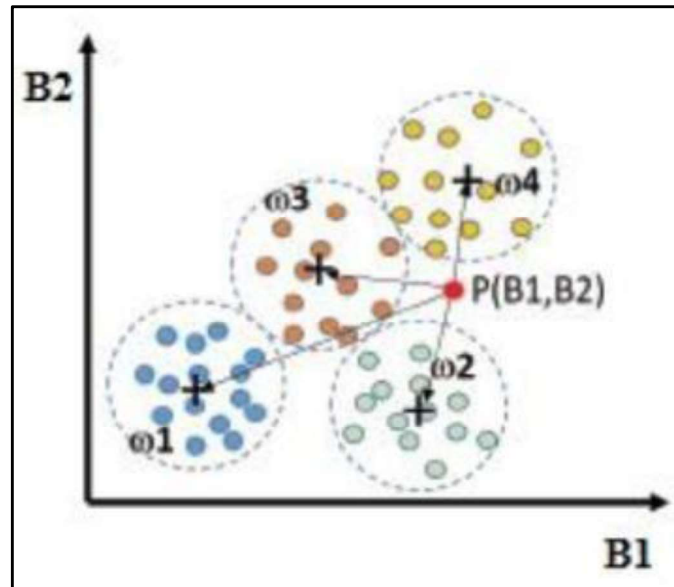
Figura 9: Método de Kernel: (A) Uma coleção de objetos de ponto, e (B) uma função de Kernel.



Fonte: Longley *et al.* (2013).

De acordo Santos (2013), o método da Distância Euclidiana atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média seja mais próxima a ele. Então cada pixel dentro e fora das áreas de treinamento são avaliadas e assinaladas às classes para a qual os mesmos têm a maior probabilidade de pertencer. Lira (2016) destaca que o classificador distância euclideana (Figura 10) analisa a probabilidade de um pixel pertencer a uma classe, usando o critério da mínima distância ao centro da classe, assumindo assim um desvio padrão e uma população igual para todas as classes.

Figura 10: Esquema do método de classificação supervisionada Distância Euclideana.

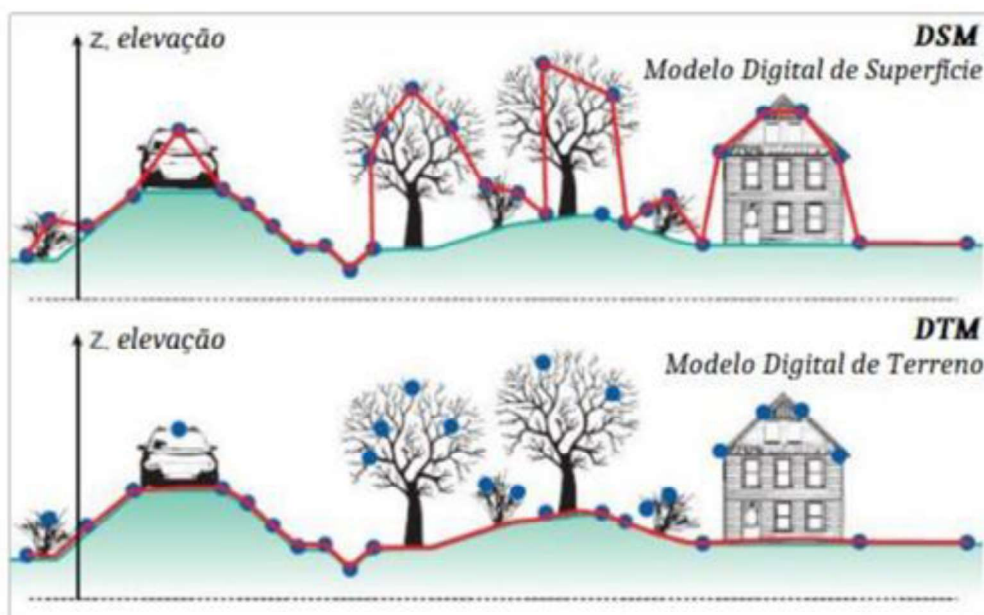


Fonte: LIRA et al. (2016).

5.8. Modelos Digitais de Elevação (MDE)

Atualmente há um aumento do número de pesquisas que relacionam distintos temas ao uso dos modelos digitais de elevação (MDE) ou modelos digitais de terreno (MDT), os quais muitas vezes são tratados equivocadamente como sinônimos, portanto torna-se necessário distinguir estes conceitos. O MDE ou modelo digital de superfície (MDS) representa a superfície terrestre e as feições existentes sobre ela, por outro lado o MDT remete-se à representação da superfície real do terreno (Figura 11).

Figura 11: Diferenciação entre DSM e DTM.



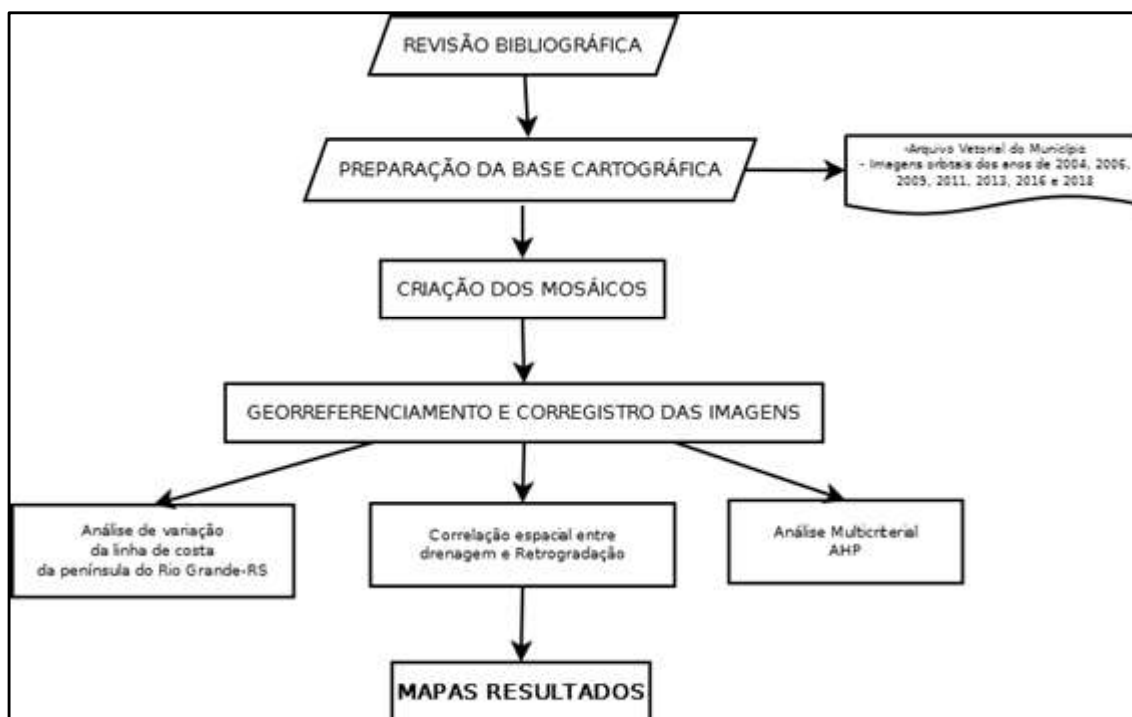
Fonte: Adaptado de Caribbean Handbook on Risk Management (2017).

Ao se trabalhar com fotografias aéreas, mais especificamente fotogrametria, é possível gerar um MDE, ou seja, será realizada a modelagem de todas as feições existentes no terreno, como edificações, vegetação, entre outros. Valeriano (2008) destaca que um MDE consiste em uma matriz com um valor de elevação em cada célula (pixel), ou seja, são arquivos estruturados em linhas e colunas georreferenciados, contendo registros altimétricos.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentados os fluxogramas resumindo os materiais e métodos utilizados nesse estudo (Figura 12). Os fluxogramas foram divididos em quatro partes conforme mostrado a seguir (Figuras 12 a 15).

Figura 12: Fluxograma referente à preparação do banco de dados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.1. Pré-processamento e preparação da base cartográfica

Na primeira etapa do processo foi realizada a aquisição das imagens de Sensor orbital utilizando o *software Google Earth Pro*[®], obtidas para as bandas do visível, pancromático e infravermelho próximo. Através do *software ArcGis 10.3*[®] foi realizada a etapa de mosaicagem, com o intuito de obter uma cobertura total da área de estudo. Foram realizados mosaicos para o mesmo recorte espacial das imagens dos anos de 2004, 2006, 2009, 2011, 2013, 2016 e 2018. As imagens foram exportadas em formato *Tagged Image File Format* (TIFF), com uma resolução espacial em metros/pixel igual a 1,0 m.

As imagens dos anos de 2009, 2011 e 2016 foram obtidas junto ao curso de Geoprocessamento do Instituto Federal do Rio Grande do Sul - IFRS, Campus Rio Grande. Todas as imagens foram referenciadas ao datum WGS84, Zona 22S e no sistema de projeção UTM (Universal Transverso de Mercator) que utiliza as coordenadas em representação métrica.

Após o processo de mosaicagem, o banco de dados de imagens foi

submetido às etapas de georreferenciamento e corregristo. O georreferenciamento consiste em associar, a partir de um determinado sistema de coordenadas, a localização dos pixels de uma imagem (x, y) e sua localização no terreno real (MIRAPALHETE, 2017). O processo de corregristo, segundo Albuquerque (2013), é a correspondência feita entre as imagens, onde é aplicado um conjunto de transformações sobre os dados (i.e. rotação, translação e escala), de forma que essas informações tenham uma associação espacial entre si garantida. No decorrer do processo de georreferenciamento e corregristo das imagens obteve-se o cálculo do Erro Médio Quadrático - RMS (*Root Mean Square Error*), para cada uma das imagens (Tabela 2).

Tabela 2: Banco de imagens utilizado no estudo.

<i>Tipo de dado espacial</i>	<i>Imagem/ Ano</i>	<i>Obtenção</i>	<i>Resolução espacial (metros/pixel)</i>	<i>Erro médio Quadrático (RMS)</i>
Imagem de Satélite	2004	GeoEye	1,00	1,448
	2006	GeoEye	1,00	1,918
	2009	GeoEye	0,5	1,836
	2011	GeoEye	0,5	0
	2013	GeoEye	1,00	1,427
	2016	GeoEye	0,5	1,009
	2018	GeoEye	1,00	1,538
<i>Erro Médio Quadrático Total (RMS): 1,448</i>				

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o processo de georreferenciamento, e posterior registro do banco de dados, foram adquiridos em campo pontos de controle (GCPs) com o auxílio de um GNSS de dupla frequência da marca Leica Viva GS15, operando no modo *Stop and Go*. A base do GNSS foi posicionada no marco do IBGE, situado na Universidade Federal do Rio Grande (FURG), de forma que este possibilita as correções dos dados obtidos em tempo real. A imagem base utilizada para o processo de georreferenciamento foi a do sensor GeoEye do ano de 2011.

6.4. Processo de vetorização da orla da Península da cidade do Rio Grande

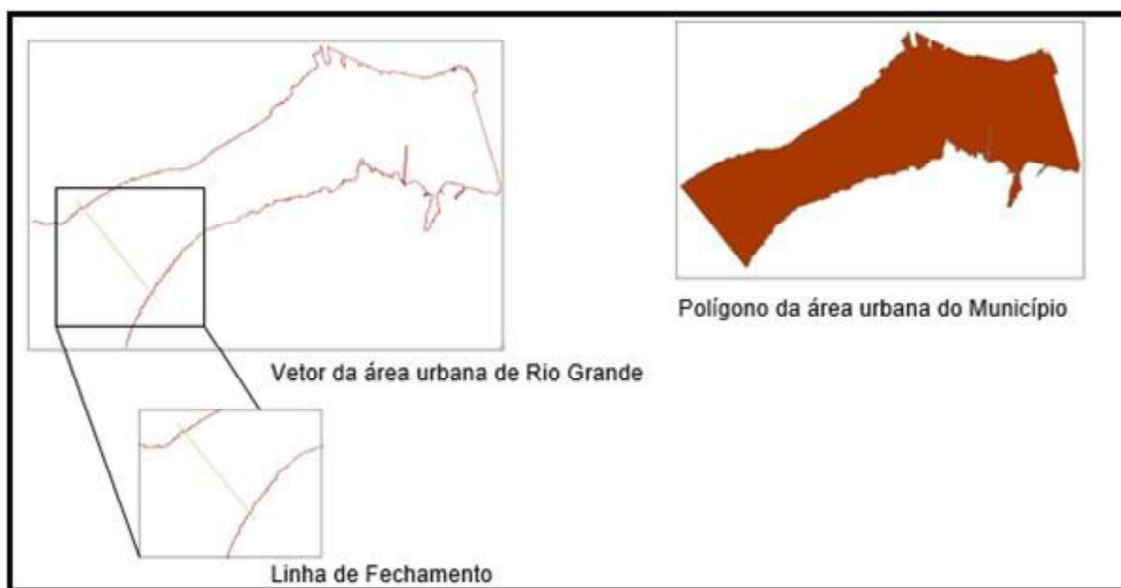
Figura 13: Fluxograma referente à aplicação do Método do Polígono de Mudança.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a etapa de pré-processamento, foi elaborada a vetorização manual da orla da área urbana da cidade do Rio Grande. Moore (2000) destaca que para esse tipo de monitoramento, a escala de 1: 20.000 ou próxima é a menor escala utilizável, no que diz respeito aos erros envolvidos no processo (da ordem de 2,0 m). Para esse estudo foi adotada uma escala de 1:800 para vetorização de todas as imagens pertencentes ao banco de dados. Concluída a etapa de vetorização, estes foram convertidos para polígonos (Figura 14).

Figura 14: Esboço do processo de vetorização e criação do polígono.



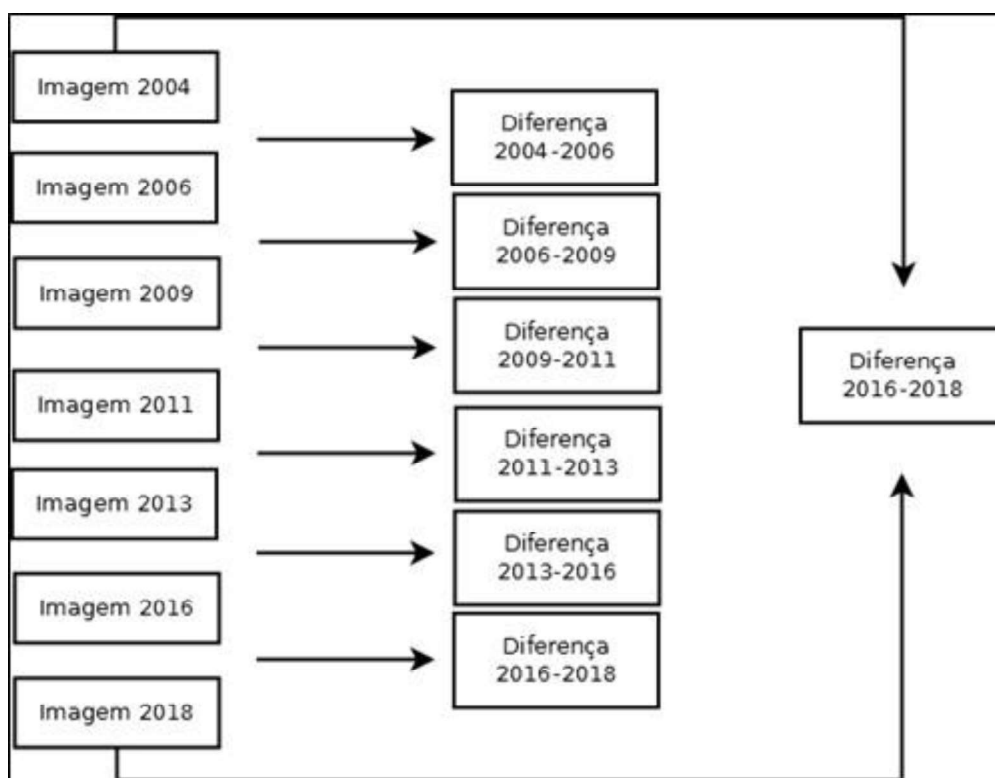
Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o fechamento do polígono foi elaborada uma linha perpendicular posicionada nas extremidades da linha vetorizada. Concluído a etapa dos Vetores, os mesmos foram transformados em polígonos, visto que o modelo empregado considera a alteração de toda a área costeira e não de pontos específicos, e posteriormente em matrizes (dado *raster*) a partir da inclusão de uma coluna numérica com valor digital aleatório.

6.5. Aplicação do método do polígono de mudança para a obtenção das imagens diferença e estimativa de retrogradação

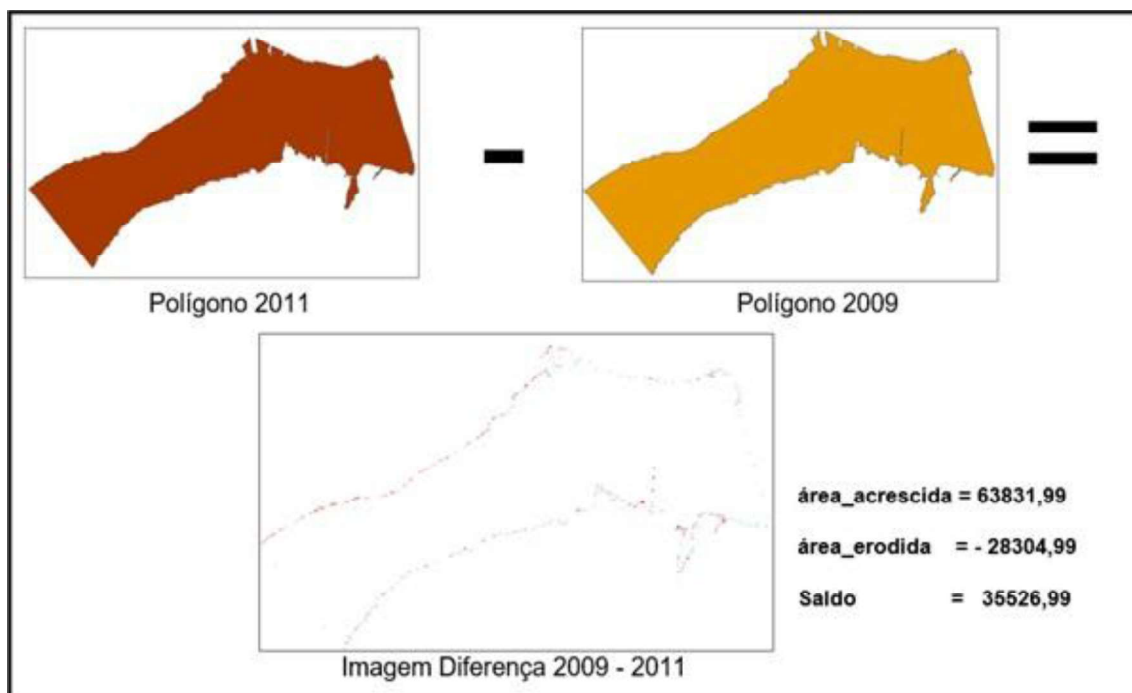
O uso do método do Polígono da mudança, segundo Crósta (1993), visa identificar a variação de um determinado fenômeno ao longo do tempo, a partir da subtração aritmética da imagem mais recente pela imagem mais antiga (Figura 15). A partir dos arquivos *raster*, os quais são correspondentes a cada período vetorizado (2004 a 2018), foram criadas uma série de polígonos simples. Esse procedimento foi realizado no *software* ArcGIS 10.3® através do comando *Data Management Tools - Features*, de modo que os *shapes* de linha foram transformados em polígonos.

Figura 15: Esquema da subtração de imagens e obtenção da imagem diferença.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A abordagem do polígono de mudança utiliza duas linhas de períodos distintos para construir uma tipologia de polígono, que representa a diferença total entre os segmentos da orla da península de Rio Grande vetorizados. Utilizando o *software* Envi 5.0®, foi feita a subtração dos polígonos para obtenção das alterações ocorridas, de forma que cada subtração resultou em uma área de mudança para os períodos observados. O produto gerado dessa subtração é uma imagem diferença (Figura 16), a qual foi dividida em duas classes amostrais, remetendo a identificação das áreas erodidas (devido às ações antrópicas ou a fenômenos naturais) e a identificação das áreas acrescidas.

Figura 16: Subtração dos polígonos e imagem diferença

Fonte: Adaptado de Leal Alves (2013).

Os valores resultantes dessas subtrações foram representados em formato *raster*, os quais indicam progradação (Equação 2) e/ ou retrogradação (Equação 3). A partir dos valores absolutos foi realizada uma divisão do valor do saldo (Equação 4) entre a área de progradação/retrogradação pelo perímetro da linha base, que neste caso foi a da imagem GeoEye do ano de 2011, determinando então o valor final de variação entre os polígonos.

$$A_{Progradação\ Total} = \sum_1^n A_{Progradação}$$

Eq. 1

$$A_{Retrogradação\ Total} = \sum_1^n A_{Retrogradação}$$

Eq.2

$$A_{saldo} = \sum_1^n A_{Progradação} + \left(- \sum_1^n A_{Retrogradação} \right)$$

Eq.3

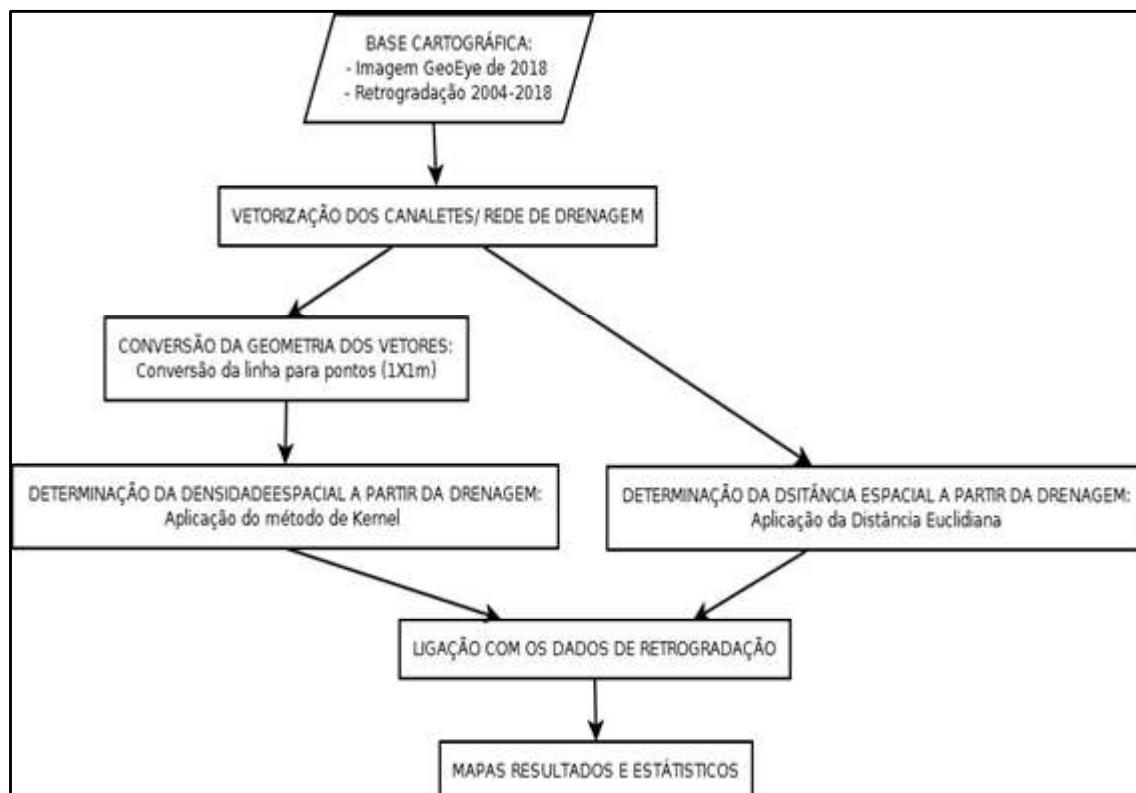
Os dados estatísticos das margens no entorno da cidade do Rio Grande de cada imagem diferença, bem como a mensuração da área em metros, foram tabulados em um arquivo com extensão “DBF” a fim de identificar as áreas de

progradação com valores atribuídos à sigla *Change* (+), e valores de retrogradação associados à sigla *Change* (-).

Para gerar o mapa das áreas mais atingidas pelo processo de retrogradação na orla da cidade foi necessário primeiramente fazer um somatório da área total (m^2) do polígono resultado do período de 2004 a 2018, depois acrescentar na tabela de atributos do arquivo “DBF” do polígono o resultado uma coluna chamada Percentual. Para gerar o resultado final em percentual foi utilizada a ferramenta *Fild calculator* onde foi realizada uma divisão entre a coluna de valores referentes a área pela coluna denominada “valor”, e multiplicando por cem. Para se obter uma melhor representação das taxas de retrogradação ocorridas na orla da cidade do Rio Grande, os resultados foram agrupados de 3 em 3 anos.

6.6. Geração dos mapas utilizando o Método de Kernel e Distância Euclidiana

Figura 17: Fluxograma referente à elaboração dos resultados de correlação entre drenagem e retrogradação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

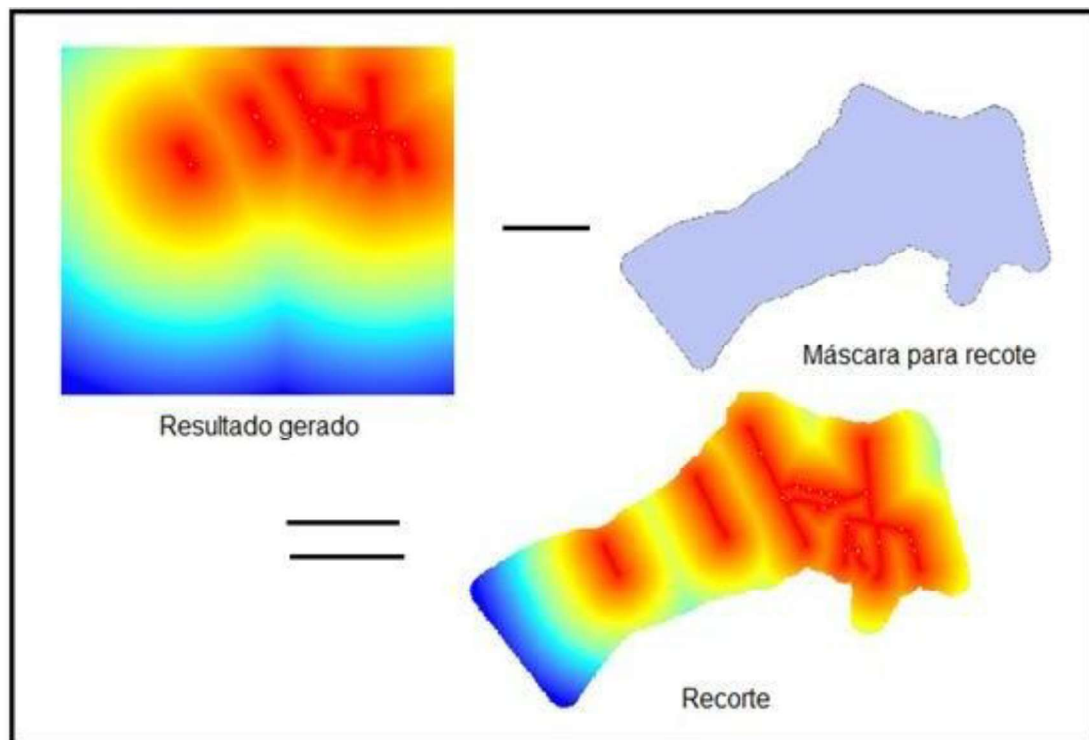
Para geração dos Mapas de Kernel e de Distância Euclidiana se utilizou como base cartográfica a imagem GeoEye do ano de 2018, e os dados resultados de retrogradação que foram gerados utilizando o método do Polígono de Mudança entre os anos de 2004 a 2018. Foram inseridas também informações referentes aos canais de drenagem encontrados na península do município de Rio Grande. Estes foram vetorizados e adicionados ao processo de elaboração dos mapas.

Para poder aplicar o Método de densidade de Kernel foi preciso transformar os vetores em pontos equidistantes de 1m em 1m. A densidade é calculada com base no número de pontos de um local, ou seja, quanto maior for o número de pontos agrupados, a percepção da densidade será maior. Para transformá-los em pontos foi necessário utilizar a ferramenta *Xtools* do *software* ArcGis 10.3[®].

Para calcular a densidade utilizou-se a ferramenta *Spacial Analyst - Density–Kernel*. O mesmo processo foi seguido para calcular a Distância Euclidiana, mas utilizando a ferramenta *Spacial Analyst– Distance – Euclidean Distance*. Estes processos possibilitaram a comparação das informações obtidas com os dados de Retrogradação.

Quando são gerados os mapas de Densidade e de Distância Euclidiana, eles aparecem com a mesma quantidade de pixels que a imagem base, que neste caso é a imagem de 2018. Para uma melhor visualização dos mapas foi preciso gerar uma máscara de recorte da área de interesse (Figura 18). Para este processo foi preciso criar um *buffer* utilizando o polígono gerado da imagem, utilizando a ferramenta *Analysi Tools - Proximity - Buffer*, para então poder gerar a máscara de recorte da área de estudos. Neste processo a distância utilizada no *buffer* foi de 300 metros.

Figura 18: Subtração do resultado gerado e a Máscara de Recorte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após os procedimentos descritos acima foi preciso normalizar as imagens de densidade e Distância Euclidiana, para que se estabeleça uma escala comum para todos os arquivos gerados. Após a normalização, foi determinada a correlação espacial entre a densidade espacial de drenagem e a retrogradação (Método de densidade de Kernel - Retrogradação). A correlação espacial entre a distância espacial de drenagem e a retrogradação (Método de Distância Euclidiana - Retrogradação) também foi utilizada. Por fim, foram então gerados os mapas e as estatísticas dos resultados obtidos.

6.7. Aquisição dos dados de vento, precipitação e altimetria da Lagoa dos Patos.

Com intuito de caracterizar o comportamento de orla da cidade do Rio Grande, de acordo com a condição meteorológica, foram utilizados dados de precipitação, intensidade dos ventos, os quais foram adquiridos junto ao banco de dados do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), para o período de 2004 a 2018. A base de dados compreende a área entre 31°S a 33°S e 51°W a 53°W e possui uma resolução espacial de 0,25° x 0,25°. Para o cálculo de intensidade de vento foram utilizadas componentes Zonal (u) e meridional (v).

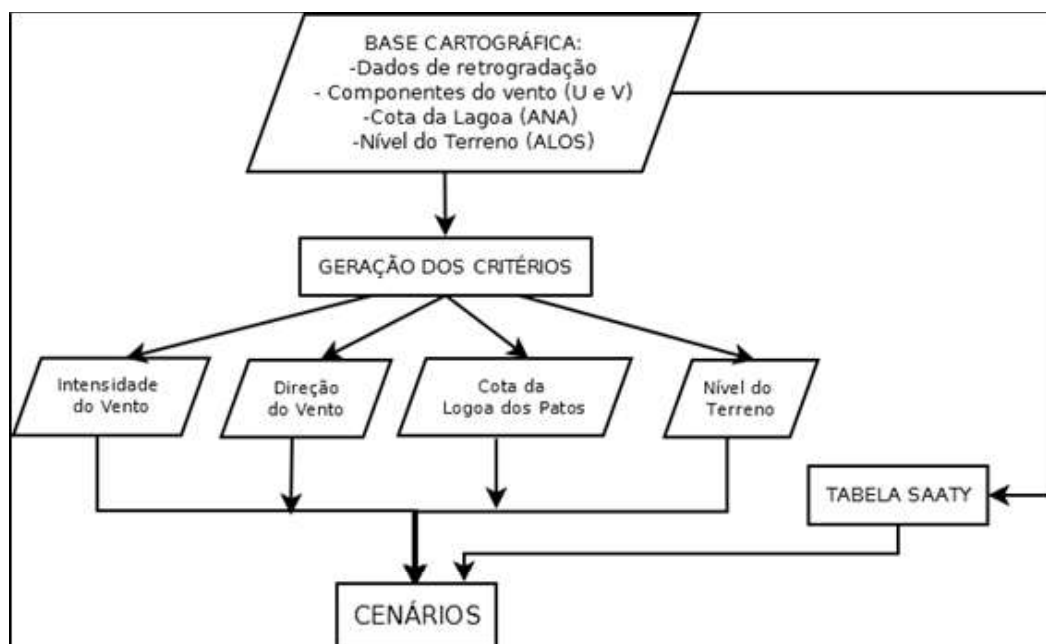
A partir dessas informações foi possível estimar a distribuição temporal da precipitação e o comportamento dos ventos ao longo da série histórica para a área de estudo. Os dados de variação do nível médio da Lagoa foram extraídos da estação fluviométrica Regatas, situada na cidade do Rio Grande, para o intervalo temporal compreendido entre 2004 a 2018. A coleta dessas informações está sob a responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), e o acesso desses dados se deu pela plataforma *online* *HIDROWEB* (<http://www.snirh.gov.br>).

Os arquivos foram obtidos em formato de arquivo de texto (TXT), e são compostos por três leituras diárias em horários distintos, contendo valores de máxima, mínima e média para cada dia. A partir do banco de dados coletados foram determinadas as áreas mais suscetíveis à retrogradação utilizando o Método de Análise de Multicritério.

O arquivo *Digital Model Surface* (DMS) foi obtido através do Satélite ALOS, pelo Sensor Prisme, ano de 2018, com um ângulo de incidência de 8° a 70° e uma resolução espacial de 10 metro, esses arquivos foram convertidos em dois modelos pelo par estereoscópico e através do *Software* ENVI® foi feita uma média desses modelos, gerando um só modelo.

6.8. Determinação das áreas suscetíveis ao processo de retrogradação através da análise de multicritério.

Figura 19: Fluxograma referente à aplicação do método de análise multicriterial.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Para determinar os locais que possuem maior ou menor probabilidade ao processo de retrogradação foi aplicado o método de análise multicriterial *Analitic Hierarchy Process* (AHP) (SAATY, 2008). Através da integração dos dados de retrogradação entre os anos de 2004 a 2018, a intensidade e direção de ventos e o nível da Lagoa dos Patos, foi possível estabelecer quais as áreas estão mais propensas ao processo de retrogradação.

Após reclassificar os critérios, foi feito o processo de determinação da constante de suavização (k) de cada critério estabelecido (Equação 4).

$$Peso = Peso_{máx\ x} e^{-k.(raster)}$$

Eq.4

Já com os pesos definidos para cada um dos critérios, foi determinada a distribuição de probabilidade segundo os pesos de cada critério (Equação 5).

$$Probabilidade = \frac{Média\ Ponderada\ dos\ Critérios}{Peso\ para\ cada\ Critério}$$

Eq.5

Cada Critério foi comparado aos demais por meio de uma matriz (x), na qual leva em consideração a importância relativa para o processo de retrogradação. Os elementos da matriz foram dispostos de modo indicar o quanto os elementos da linha são mais importantes do que os da coluna, sendo observada cada comparação de forma isolada.

Através da interpolação dos critérios em uma tabela de cruzamento (*Crosstab*), os novos pesos deram origem a uma segunda distribuição de probabilidades. Os mesmos foram obtidos pela média ponderada dos pesos de cada critério cruzados com o respectivo critério. A probabilidade final do modelo locacional AHP Geométrico foi dada pela média aritmética entre a distribuição de probabilidades obtidas pela *Crosstab*, respectivamente.

7. RESULTADOS OBTIDOS

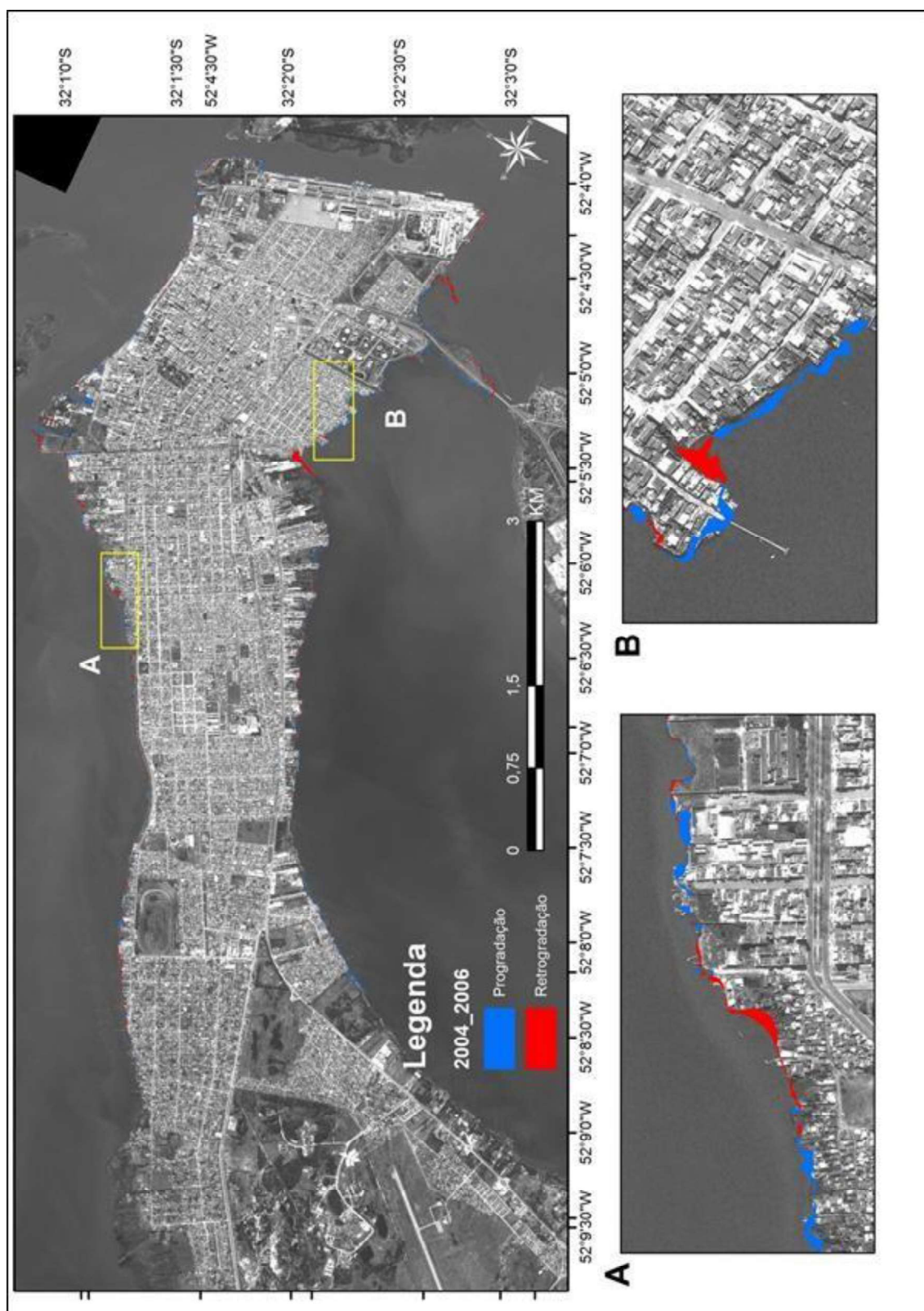
7.1 Períodos de Progradação da Orla da Península da Cidade do Rio Grande

A figura 20 mostra o resultado do comparativo entre as posições da orla referente aos anos de 2004 a 2006. Para o período em questão foi possível observar que a taxa de modificação da orla se mostrou predominantemente positiva, com um acréscimo de 0,1176 m/ano. Embora o intervalo amostral tenha apresentado um saldo positivo, algumas áreas apresentaram processos de retrogradação. As taxas de recuo para essas regiões podem estar associadas à retirada da mata nativa, o que possibilita uma remobilização dos sedimentos de forma facilitada.

No caso da figura 20 (B), embora a região do Saco da Mangueira seja uma área abrigada, está também apresenta alguns locais que sofrem com processo de retrogradação. Para a localidade em questão, um estudo conduzido por Souza-Vieira & Hartmann (2008) já destacava que as enseadas rasas do estuário da Laguna dos Patos vêm sofrendo modificações naturais e artificiais, que afetam os processos de erosão e deposição.

Os processos de deposição e retirada dos sedimentos das localidades situadas às margens do Saco da Mangueira estão diretamente relacionados à dinâmica do canal de acesso ao estuário da Laguna dos Patos. Os ventos predominantes do quadrante nordeste são responsáveis pelo rebaixamento do nível dentro da enseada, ao passo que ventos de sudeste causam um aumento do nível (MONTEIRO et al., 2005).

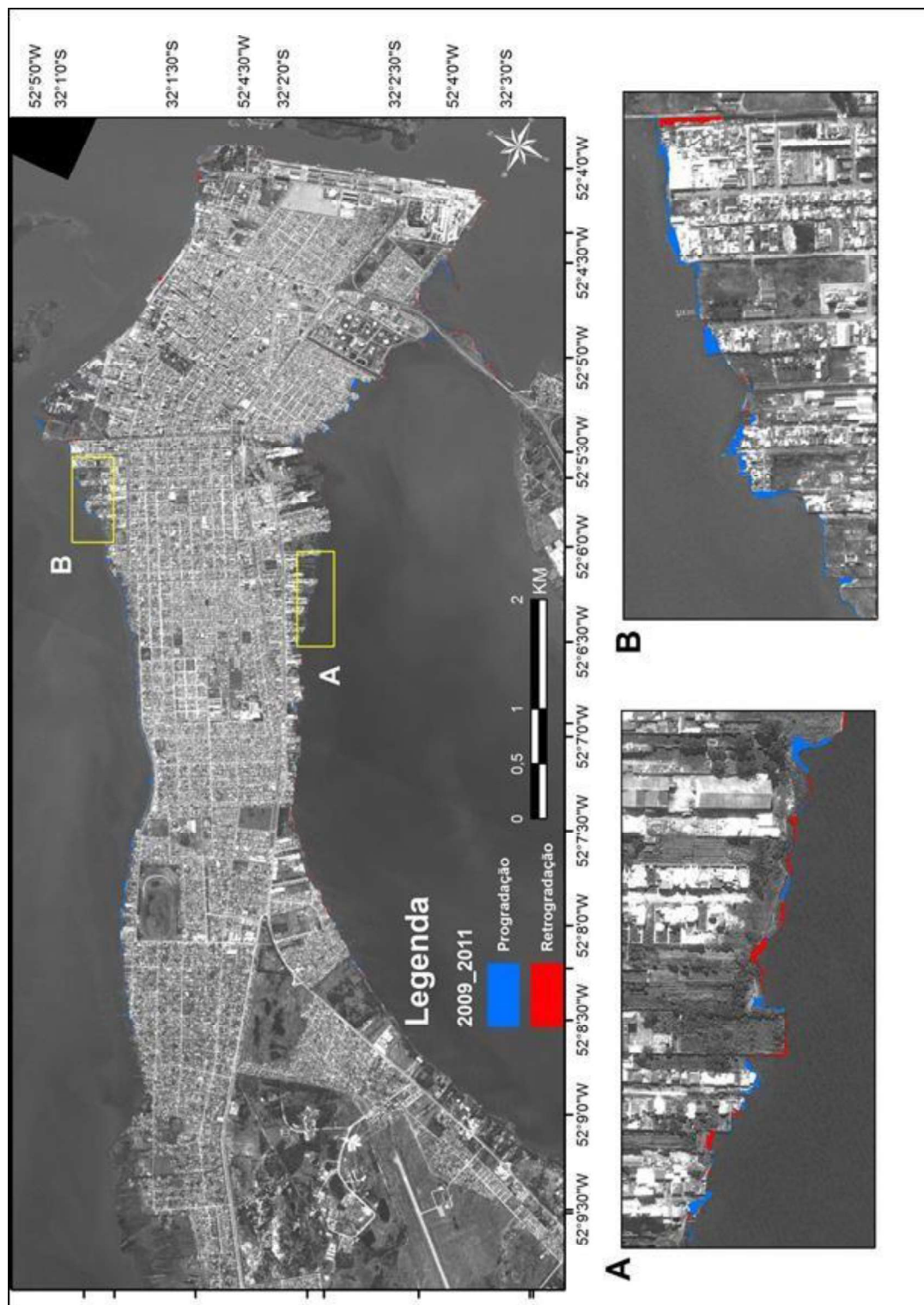
Figura 20: Variação da Orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos 2004 a 2006.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o intervalo compreendido entre 2009 e 2011, as taxas de progradação foram de 0,3349 m/ano. Apesar do caráter acrescional, durante o intervalo monitorado observou-se o surgimento de algumas áreas pontuais que apresentaram retrogradação (Figura 21). Os principais pontos da orla onde houve deposição de sedimentos estão situados junto às ruas perpendiculares ao Saco da Mangueira (Figura 21 a e b).

Figura 21: Variação da Orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos 2009 a 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22: Aterros implementados pela população.

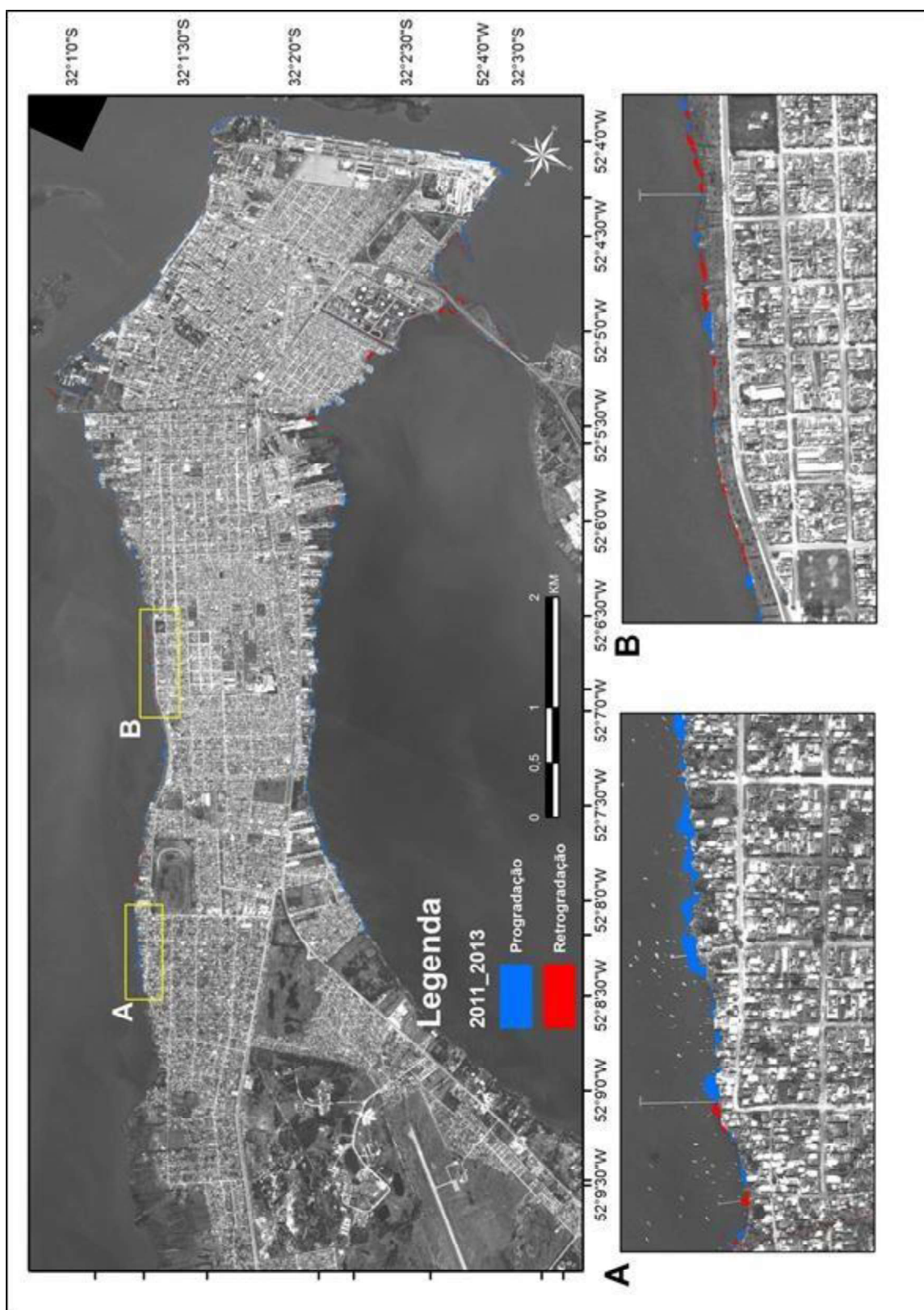


Fonte: Elaborada pelo autor.

Por serem regiões abrigadas da ação dos ventos e das correntes marinhas, essas localidades não experimentam processos de retrogradação acentuados. Outro fator que pode ter colaborado para um acréscimo da orla em algumas localidades é o fato da população implementar aterros não planejados, os quais podem interferir na hidrodinâmica do local (Figura 22a e 22b). Em muitos casos essas novas áreas aterradas se configuram em locais onde se estabelecem novas moradias, também sem nenhum tipo de planejamento.

Entre os anos de 2011 a 2013, a taxa de progradação foi de 1,03 m²/ano. Para os intervalos progradantes este foi considerado como sendo o mais significativo, podendo ser associado à dinâmica sedimentar gerada pela hidrodinâmica local, o que implica na deposição e erosão marginal, influenciando desse modo no caráter morfológico das margens, as quais são ocupadas por marismas (Figura 23). Esse processo facilita a deposição de material em suspensão e reduz o processo erosivo nas margens estuarinas (SOUZA-VIEIRA & HARTMANN, 2008).

Figura 23: Variação da Orla da Península de Rio Grande - RS entre os anos 2011 a 2013.



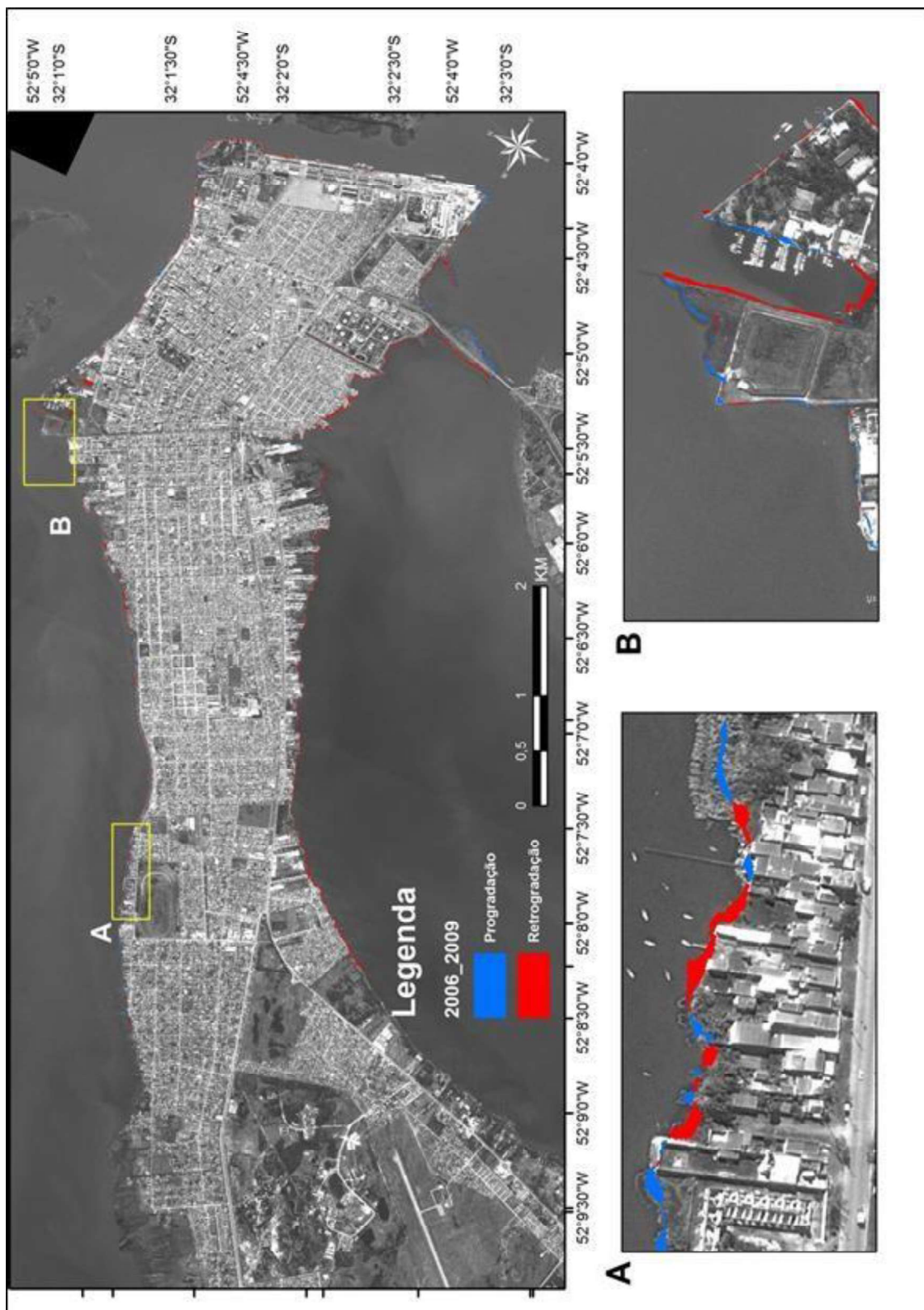
Fonte: Elaborado pelo autor.

7.2. Períodos de Retrogradação da Orla da Península da Cidade do Rio Grande

Entre os anos de 2006 a 2009, 2013 a 2016 e 2016 a 2018 a orla da cidade do Rio Grande apresentou uma tendência a retrogradação. Os valores de recuo registrados foram de 0,63 m/ano, 0,76 m/ano e 0,51m/ano, respectivamente. A retrogradação observada para esse período pode ser atribuída à ausência de vegetação ciliar nas margens da orla de Rio Grande, o que impossibilita a estabilidade dos sedimentos e contribui para a remoção dos mesmos durante, por exemplo, a passagem de eventos extremos na região, os quais podem aumentar a frequência e intensidade de ondulação na Lagoa dos Patos, bem como pode contribuir para variações no nível médio da mesma.

Para o período de 2006 a 2009 (Figura 24), às taxas de recuo da orla foram mais evidenciadas na área urbanizada. As principais causas para processo mais acentuado de retrogradação podem estar associados à colocação de aterro em localidades anteriormente vegetadas. Em muitos casos, os tipos de materiais que é colocado não dão sustentação para os sedimentos ali depositados. Em outras localidades não urbanizadas, como por exemplo, a região do Museu Oceanográfico e o Yacht Club, também foram evidenciados processos de recuo da orla para o período monitorado.

Figura 24: Variação da Orla da Península de Rio Grande-RS entre os anos 2006 a 2009.

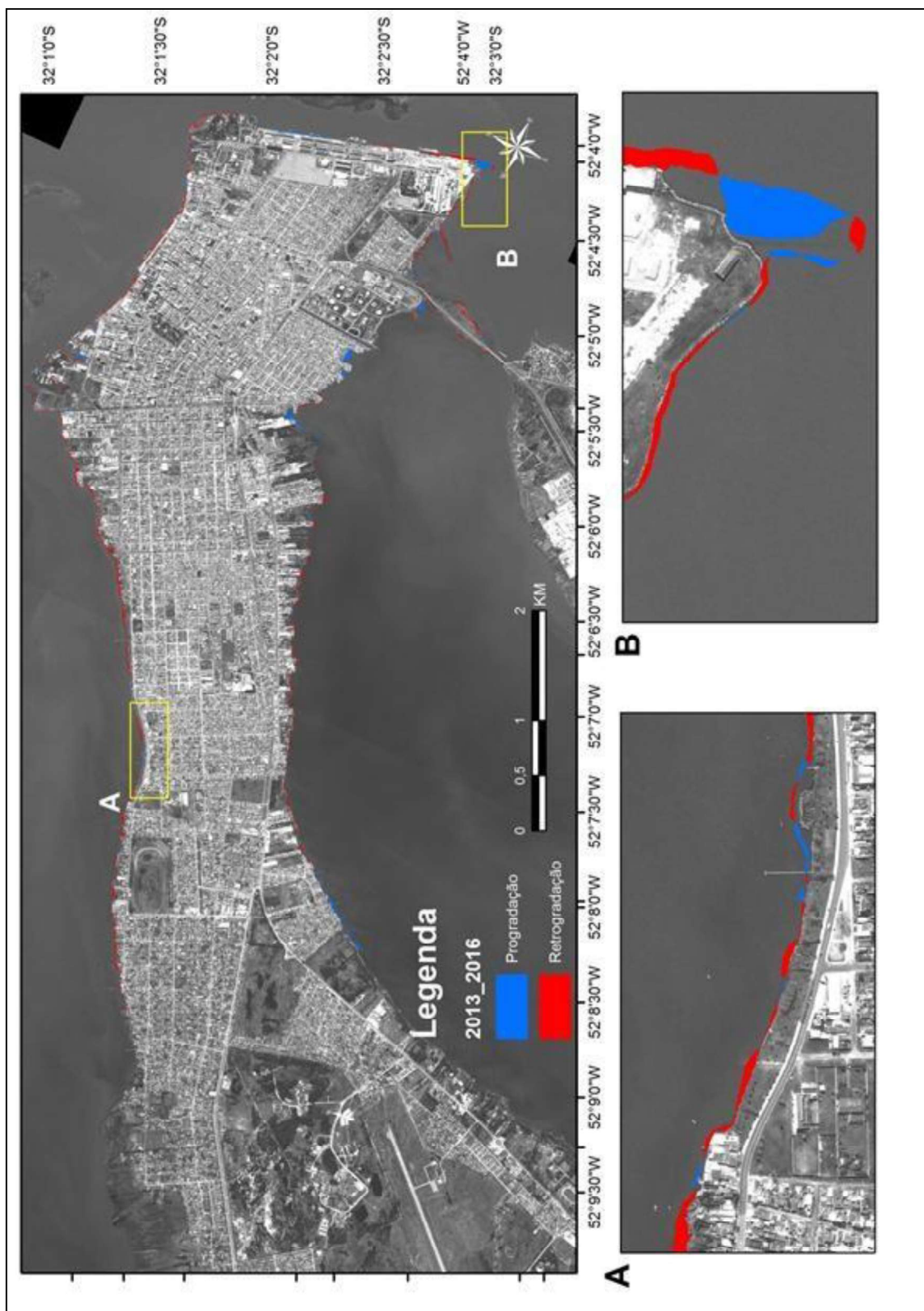


Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre os anos de 2013 a 2016 os resultados finais um saldo negativo no processo de movimentação das margens da orla da cidade do Rio Grande. A figura 25 destaca um trecho da porção norte do município, nas proximidades da Rua Henrique Pancada, a qual apresentou uma maior suscetibilidade ao processo de retrogradação. As taxas de recuo encontradas para a porção norte podem ser explicadas pelo efeito da dragagem natural, o qual é descrito por Martins (1971), onde em função de períodos de elevada descarga da Laguna dos Patos, episódios de recuo das margens estuarinas podem ser evidenciados. Para a enchente de 1941, por exemplo, Antiqueira & Calliari (2005) relatam que foi evidenciada uma retração de até 5 m entre os molhes da barra.

No que diz respeito ao processo de retrogradação das margens estuarinas, Calliari (1980) discute que para situações onde o nível lagunar está elevado, em geral devido ao represamento da vazão da Laguna dos Patos nas proximidades de sua desembocadura por ação de ventos do quadrante sul, o fluxo de enchente e vazante erode as margens e transporta sedimentos para o canal. Estudos conduzidos por Tomazelli & Villwock (2007) têm demonstrado que os ventos são os principais agentes causadores da modificação do nível da laguna dos patos, podendo resultar em até dois metros de variação entre as porções norte e sul do estuário.

Figura 25: Variação da Orla da Península de Rio Grande - RS entre os anos 2013 a 2016.



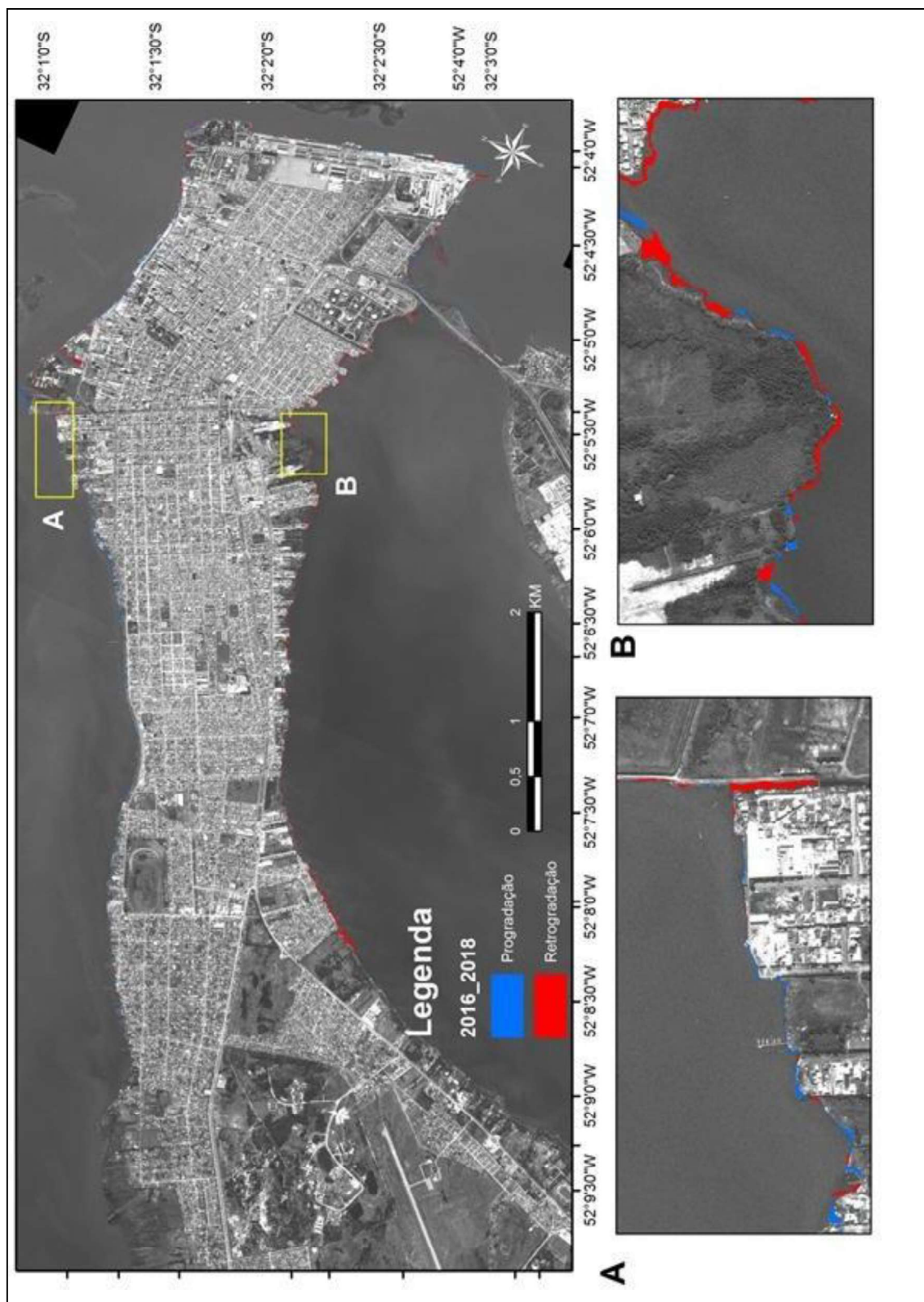
Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos observar na Figura 26, que no período compreendido entre 2016 a 2018, houve um processo de retrogradação bem acentuado, inclusive nas áreas protegidas como o Saco da Mangueira, podemos observar na figura 26B que tivemos um acréscimo significativo, na área do porto, onde fica instalada a empresa Quip, devido o aumento da área do Polo naval. Mas de modo geral grande parte da orla sofreu com o processo de retrogradação.

Esse resultado pode ter sido influenciado por um evento ocorrido em Outubro de 2016, tendo em vista que essa imagem é do mês de setembro de 2016, durante este evento ruas de Rio Grande foram alagadas e por conta disso, parte dos aterros, colocados de forma irregular, e também da vegetação nativa foram erodidas.

Para as regiões situadas na enseada do Saco da Mangueira, um estudo realizado por Monteiro et al. (2005) discute que a construção da ponte dos franceses na região de ligação com o estuário, e o consequente estrangulamento do local, causaram um aumento significativo da velocidade das correntes e mudanças na morfodinâmica local, o que resultou em gradientes de retrogradação das áreas de ligação entre o estuário e a enseada.

Figura 26: Variação da Orla da Península de Rio Grande- RS entre os anos 2016 a 2018.

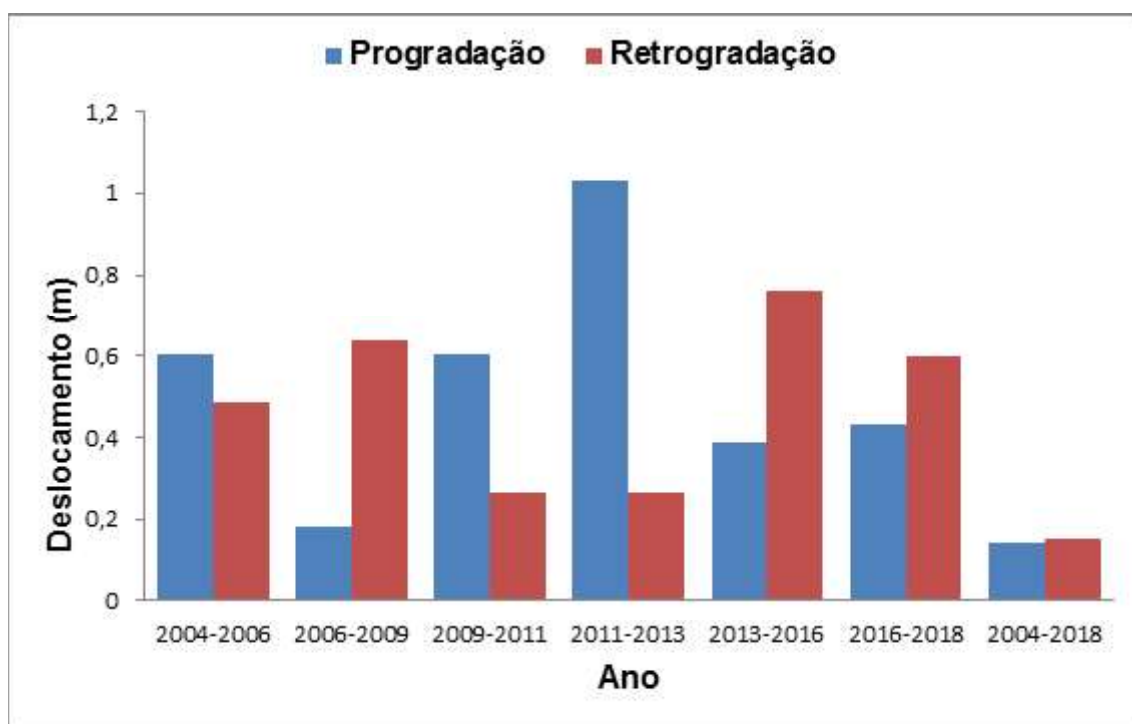


Fonte: Elaborado pelo auto.

7.3. Balanço Final dos Processos de Progradação e Retrogradação

Em termos do saldo final do processo de deposição e retrogradação na orla da cidade do Rio Grande, a figura 27 apresenta as taxas de modificação da orla, onde são indicadas as localidades onde ocorreram mudanças em termos de área, para o período compreendido entre 2004 a 2016. Um comparativo feito entre os anos de 2004 a 2006, 2006 a 2009, 2009 a 2011, 2011 a 2013, 2013 a 2016 e de 2016 a 2018, mostrou que nos intervalos amostrais analisados no período de 2004 a 2006, 2009 a 2011 e de 2011 a 2013 foi possível observar que houve progradação na orla da cidade. O período de maior destaque foi de 2011 a 2013, o qual teve um acréscimo significativo de 1,03 m/ ano. Os demais períodos apresentam ambos, taxas de 0,60 m/ ano.

Figura 27: Gráfico da taxa de modificação da costa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Esse acréscimo pode ser associado às mudanças antrópicas ocorridas na região, tendo como consequência a colocação de aterro e a ocupação sem planejamento da orla estuarina. As taxas de erosão para os períodos citados acima foram de 0,48 m/ ano, 0,26 m/ ano e 0,26 m/ ano, respectivamente. Já nos intervalos de 2006 a 2009 e de 2013 a 2016 destaca-se por ter sofrido com o processo de retrogradação como mostra a tabela 03.

Tabela 03: Valores de acreção e recuo, em metros, para o período de 2004 a 2018.

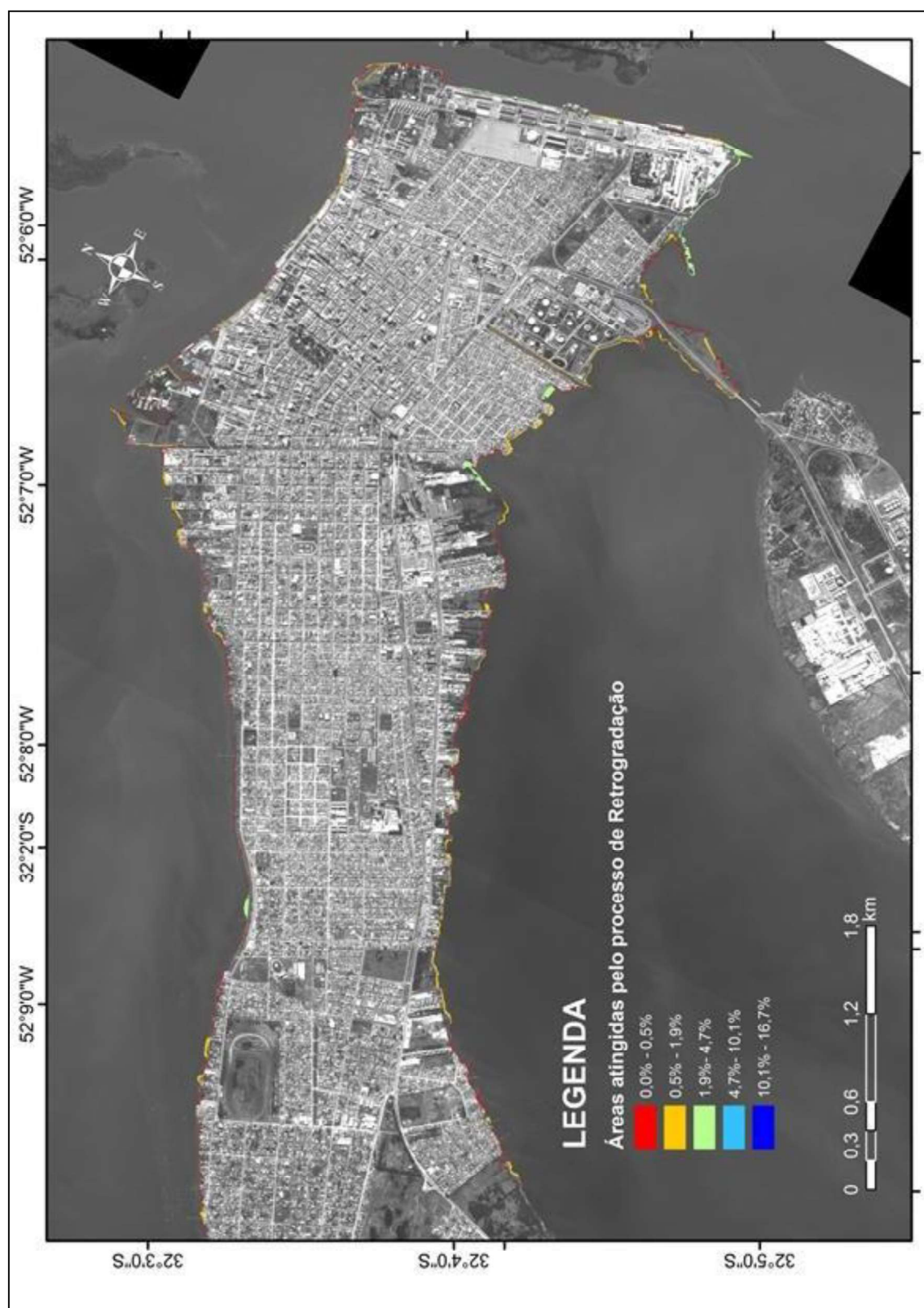
Período	Resultados Obtidos (m)	
	Acreção	Recuo
2004 – 2006	0,1176	-
2006 – 2009	-	0,4511
2009 – 2011	0,3349	-
2011 – 2013	0,7667	-
2013 - 2016	-	0,3711
2016 - 2018	-	0,6012

Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 28 mostra o percentual das áreas mais atingidas pelos processos de retrogradação e progradação. Para um período de 14 anos, a porção da orla onde ocorreram os maiores percentuais de recuo está ao norte da cidade, nas regiões próximas a Rua Comendador Henrique Pancada. Em termos sedimentológicos, a porção norte da orla apresenta uma faciologia composta por um misto de areia, silte e argila. Já a nordeste e a leste ocorre um predomínio de uma argila siltica (ANTIQUEIRA & CALLIARI, 2005).

Na porção sul da cidade foram evidenciadas as maiores taxas de progradação. Esse aumento na região sul da cidade pode ser fundamentado no fato da localidade se encontrar em uma região abrigada, por apresentar área aterradas e com construções irregulares. Sondagens feitas no estudo conduzido por Souza-Vieira & Hartmann (2008) destacam que a região da península da cidade do Rio Grande apresenta sedimentos arenosos, indicando uma gradação entre areias finas e muito finas. Essa configuração expõe a orla do Rio Grande a variações abruptas da hidrodinâmica.

Figura 28: Percentual das áreas que mais apresentaram recuo, para o período de 2004 a 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

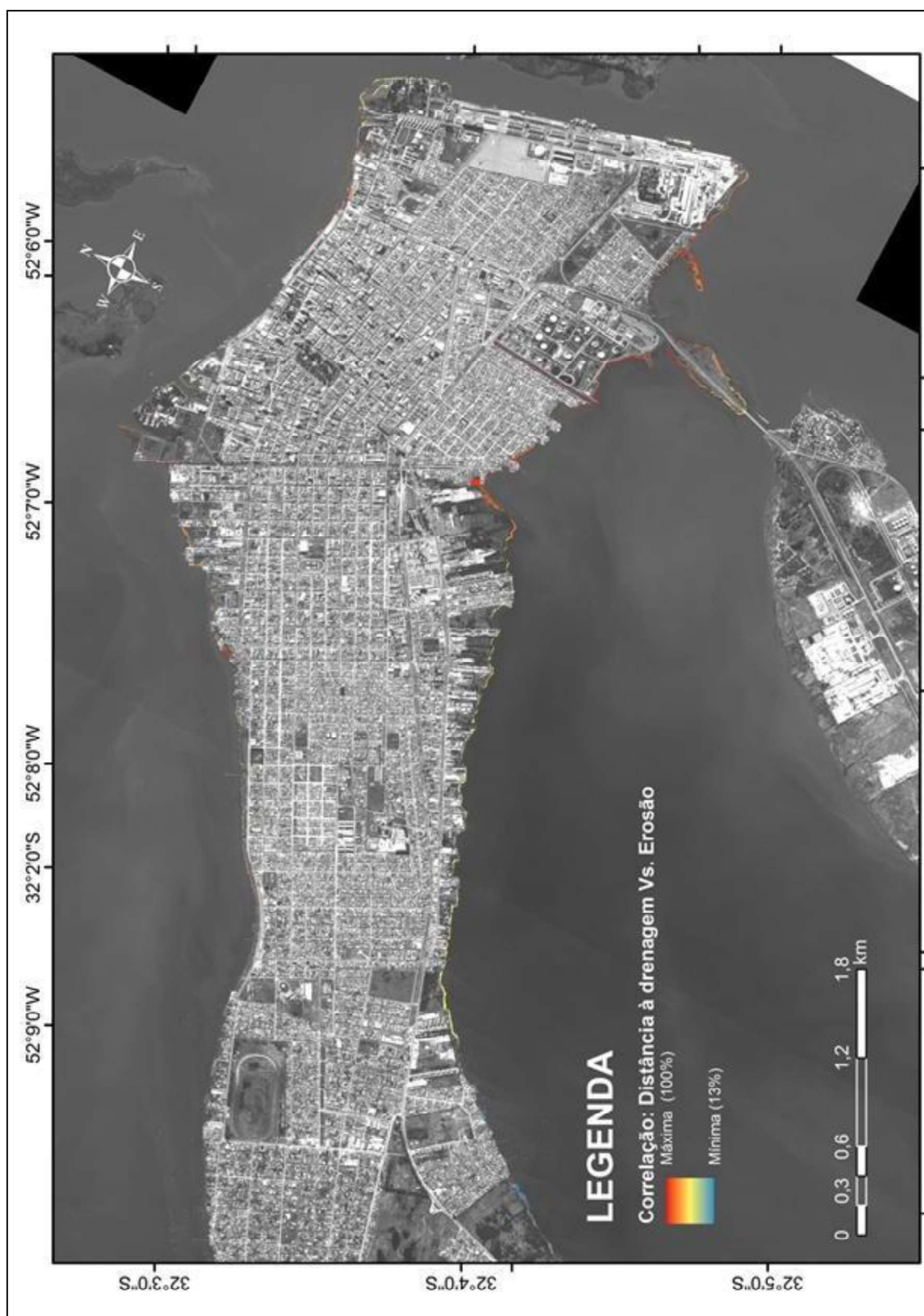
O regime de ventos é o maior responsável pelo padrão de circulação de sedimentos dentro do estuário da laguna dos Patos. Os ventos de nordeste propiciam um fluxo de vazante, o que aumenta a descarga lagunar. O transporte de sedimentos para o interior do estuário é caracterizado pelo vento sul, o qual gera correntes de enchente.

7.4. Relação entre Canaletes de Drenagem e Retrogradação

Em termos de uma relação entre os canais de drenagem e as taxas de recuo da orla da cidade, foi possível observar que tanto a distância quanto a densidade dos canaletes de drenagem tem influência no processo de retrogradação (Figuras 29 e 30). Quanto mais próximo de 100% maior a correlação entre os dois, quanto mais próximo de 0% menor a correlação entre eles.

De acordo com Longley *et al* (2013) a densidade é uma abstração, criada pela tomada de objetos discretos e pela aplicação de convolução (i.e. técnica de aplicação da estimativa de densidade) à sua distribuição por meio de uma função kernel. O resultado depende da largura de Kernel, que é reconhecida como uma medida de distância. Se mudarmos a medida, automaticamente muda-s a densidade resultante.

Figura 29: Mapa de correlação entre distância à drenagem versus recuo da orla.



Fonte: Elaborado pelo autor.

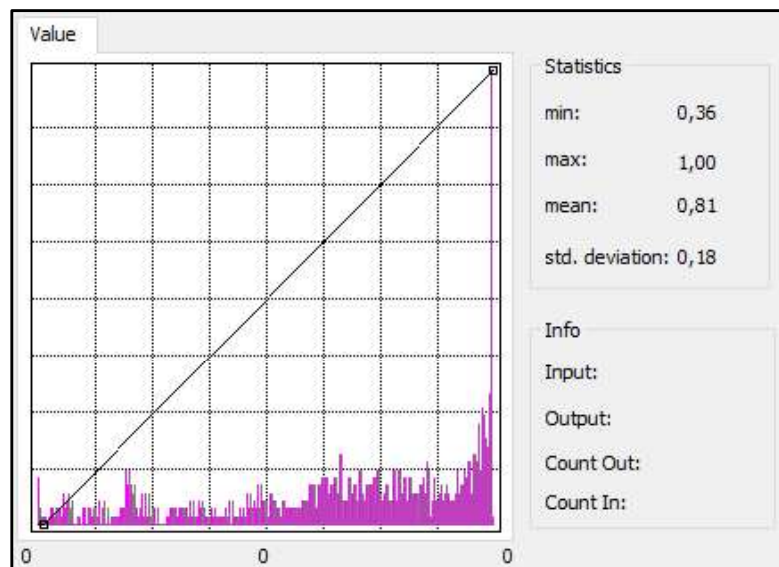
Figura 30: Mapa de correlação entre densidade à drenagem versus recuo da orla.



Fonte: Elaborado pelo autor.

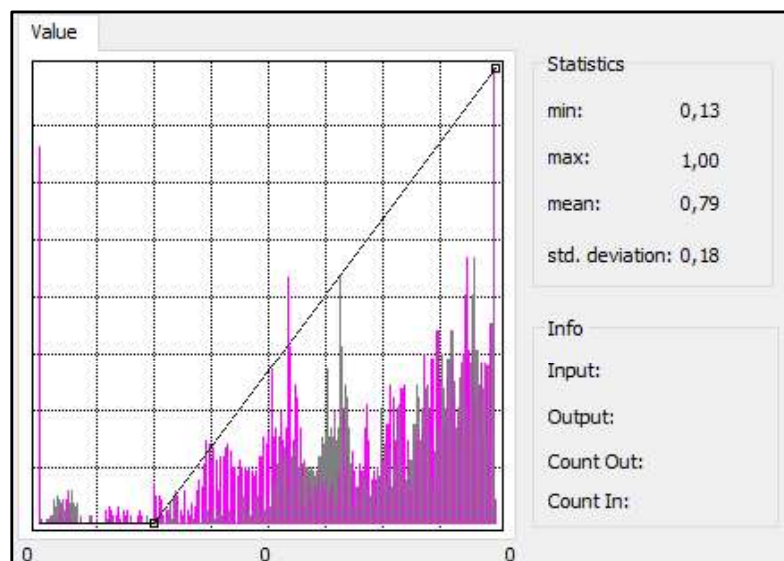
Logo, podemos dizer que onde se tem drenagem se potencializa o processo de retrogradação. Nesta perspectiva, quando foi feita a comparação entre os dois métodos de Distância à drenagem versus Erosão e Densidade à drenagem versus Erosão, os resultados apresentaram médias de 81% e 79%, respectivamente (Figuras 31 e 32). Esses resultados indicam que quanto mais densa for a drenagem, mais se intensifica o processo de retrogradação nas regiões próximas as mesmas.

Figura 31: Histograma da correlação entre densidade à drenagem e recuo da orla.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32: Histograma da correlação entre distância à drenagem e recuo da orla.



Fonte: Elaborado pelo autor

7.5. Resultados da Análise Multicriterial

Tendo em vista os fatores relacionados ao processo de retrogradação, entre os anos de 2004 a 2018, intensidade e direção do vento no período de 16 anos, e o modelo digital de elevação do terreno (DEM), foi realizada uma análise multicriterial para caracterizar as localidades com maior e menor suscetibilidade ao processo erosivo. Para esta ocasião foram gerados dois cenários para análise. No cenário 1 foram adotados pesos para cada um dos critérios, conforme sugere a tabela Saaty. Os resultados são apresentados na tabela 4, onde se observou que a elevação do terreno foi considerada como sendo a variável de maior peso na análise, seguido da direção e intensidade dos ventos, e por fim as taxas de recuo da orla.

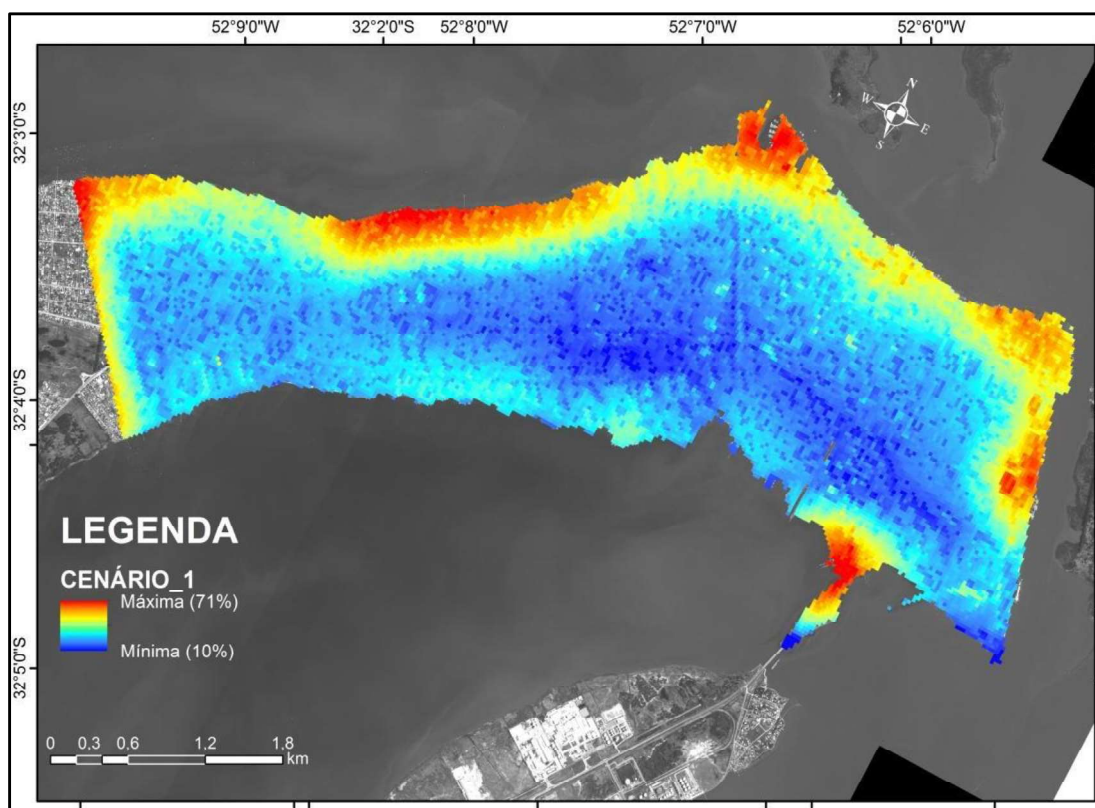
Tabela 4: Tabela Saaty gerada para o cenário 1.

	DEM	Vento (Dir.)	Vento (Int.)	Taxa de recuo da orla	Peso Total
DEM	1,00	7,00	5,00	5,00	51%
Vento (Dir.)	1/7	1,00	5,00	3,00	26%
Vento (Int.)	1/5	1/5	1,00	5,00	18%
Taxa de recuo da orla	1/5	1/7	1/5	1,00	5%
				TOTAL	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da análise do cenário 1 (Figura 33) demonstram que as áreas mais suscetíveis ao processo de retrogradação estão situadas na porção norte da orla da cidade do Rio Grande (zonas destacadas em vermelho) e 71% da área de estudo está suscetível a este processo.

Figura 33: Resultado da análise multicriterial para Cenário 2.



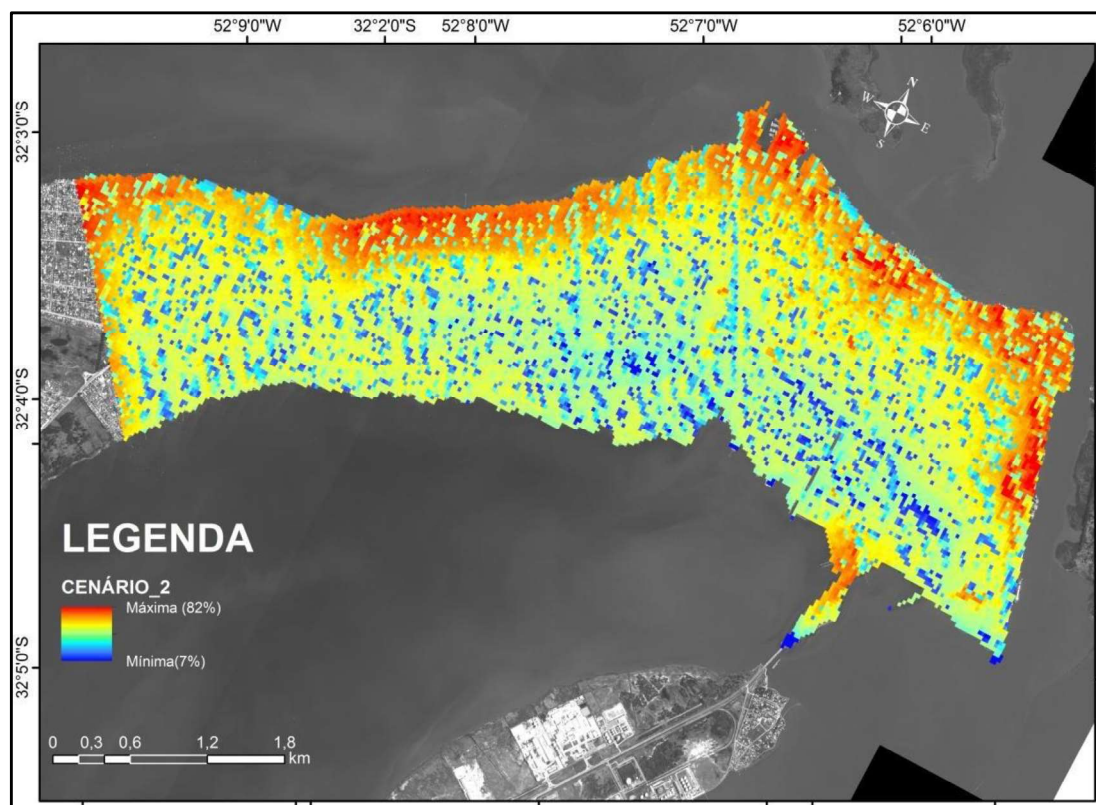
Fonte: Elaborado pelo autor.

No cenário 2 foi realizada uma análise considerando que todos os pesos das variáveis utilizadas como sendo iguais (Tabela 5). Mesmo com os pesos dos critérios igualados, foi observado mostra que a porção norte continua sendo a mais suscetível ao processo de retrogradação, com cerca de 82% da área de estudo propensa ao processo (Figura 34). Foi possível analisar também, nos dois cenários, que a porção sul que é uma porção mais abrigada e que constantemente sofre com o processo de progradação de forma irregular, por parte da população, é uma área que não é tão suscetível ao processo de retrogradação.

Tabela 5: Tabela Saaty gerada para o cenário 2.

	DEM	Vento (Dir.)	Vento (Int.)	Taxa de recuo da orla	Peso Total
DEM	1,00	1,00	1,00	1,00	25%
Vento (Dir.)	1,00	1,00	1,00	1,00	25%
Vento (Int.)	1,00	1,00	1,00	1,00	25%
Taxa de recuo da orla	1,00	1,00	1,00	1,00	25%
TOTAL					100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34: Resultado da análise multicriterial para Cenário 2.

Fonte: Elaborado pelo autor.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos relacionados à dinâmica e processos de sedimentação nas margens da Lagoa dos Patos, em geral, são limitados a considerar o efeito do vento, da descarga fluvial e das elevações do nível médio. Contudo, um entendimento das mudanças ocorridas na orla da Península da cidade do Rio Grande, buscando compreender os fatores que colaboram para o processo de progradação e retração, é de grande importância no sentido de auxiliar os órgãos gestores no provimento de informações referentes à localidade estudada.

Com a utilização do Método do Polígono de Mudança foi possível observar que nas margens que são dominadas pela ação dos ventos locais, ondas de baixa amplitude e curto período inviabilizam a deposição de sedimentos finos. Essas localidades em geral são situadas ao norte da cidade do Rio Grande. Para as regiões abrigadas essa relação se inverte onde, incursões de água salgada favorecem a deposição de materiais de granulometria fina por floculação.

Tendo em vista que o Método do Polígono de Mudança é mais bem aplicado para analisar áreas que apresentam cúspides e reentrâncias (i.e. zonas costeiras que apresentam processo erosivo), o mesmo se mostrou o mais adequado para estudar a orla da Península do município de Rio Grande. A metodologia possibilitou obter as taxas de variação linear da linha de costa da orla do município, como também estimativa das áreas que passam pelo processo de retrogradação e progradação.

Utilizando o Método de Kernel e a Distância Euclideana, foi possível observar que a densidade dos canaletes de drenagem tem mais influência nos processos de retrogradação do que as distâncias entre eles. Nas áreas de deságue desses canaletes foram observadas as maiores taxas de recuo da orla.

Na Análise de Multicritério, utilizando o método AHP, foram determinados critérios para saber quais as áreas seriam mais suscetíveis ao processo de retrogradação, onde foi possível observar que a região norte do município é a mais atingida. Os resultados apresentados demonstram a importância da caracterização em escala local da suscetibilidade da orla da cidade do Rio Grande a retrogradação. A compreensão desse tipo de informação, em escalas temporais distintas, pode contribuir com subsídios

relevantes para o planejamento e ocupação da orla em horizontes temporais próximos.

8.1. Limitações e avanços

No decorrer do estudo, foi possível observar que houve algumas limitações referentes à baixa resolução das imagens. Essa degradação na resolução pode ser associada ao fato do *software Google Earth Pro* alterar a resolução das imagens, no momento que os arquivos são disponibilizados para download. Problemas referentes à orientação, ortorretificação e registro das cenas também pode ser listados como limitações no processo.

Em termos de avanços, a aplicação dos métodos utilizados é considerada de baixo custo, visto que as imagens foram adquiridas gratuitamente na plataforma do Google Earth Pro. Além dos custos, os métodos utilizados são facilmente reproduzíveis para estudos em outras áreas que possuam características similares. Além de contribuir para a gestão pública, ao fazer uma análise de critérios de naturezas distintas de uma mesma área, o estudo permitiu um apanhado histórico do processo de progradação e retrogradação da Península urbana do município do Rio Grande.

Os documentos cartográficos elaborados neste estudo possibilitaram realizar uma caracterização das localidades mais suscetíveis ao processo de retrogradação na orla península da cidade do Rio Grande, além de retratar um panorama desses processos ao longo dos últimos 15 anos. Por fim, os produtos aqui gerados servirão de subsídios aos gestores municipais no que diz respeito ao processo de mitigação dos episódios relacionados suscetibilidade a retração da orla do município do Rio Grande.

8.2. Sugestões para trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros é importante que:

- Se faça um mapeamento detalhado da cobertura do solo da orla da península do Rio Grande;
- Se faça um Modelo Digital de Elevação (DEM), com o uso de um GNSS de dupla frequência ou dados LiDAR;
- Se faça um modelo de inundação, tendo em vista que nos últimos anos o município vem sofrendo com eventos desse tipo.

9. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. G. **Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Tese do Programa de Pós-Graduação em Geociências. 127 f, 2013

ALBUQUERQUE, M.; ESPINOZA, J.; TEIXEIRA, P.; OLIVEIRA, A.; CORRÊA,

I. & CALLIARI, L. **Erosion or Coastal Variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches.** Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, 2013. p. 1710-1714.

ANFUSO, G.; BOWMAN, D.; DANESE, C.; PRANZINI, E. **Transect based analysis versus area based analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolutions issues.** Environmental Monitoring Assessment, 188: 568 (2016)

ANTIQUERA, J. A. F.; CALLIARI, L. J. **Características sedimentares da desembocadura da Laguna dos Patos.** Gravel, n.3, 2005, p. 39-46.

ARCINIEGA, J.D.U. **La perspectiva comunitaria de la resiliencia.** Psicología Política. nº 47, pg 7-18, 2013

BARBOSA WANDERLEY, M. F. **Estudos em Estimção de Densidade por Kernel: Métodos de Seleção de Características e Estimção do Parâmetro Suavizador.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG. Tese do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. 96 f., 2013.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2011.** Brasília: Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), 2012.

CALLIARI, L. J. **Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarina da laguna dos Patos**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1980.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres Naturais**. v. 1. Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 2003. Disponível em: <http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/livros/Defesa%20Civil_2003_Desastres_Naturais_vol_I.pdf>. Acesso em outubro de 2016.

CORMACK, R.M. **A review of classification**. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), v. 134, n. 3, p. 321-367, 1971.

CRICHTON, D. **“The Risk Triangle”, Natural Disaster Management**, INGLETON, J., (ed), Tudor Rose London, 1999.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Edição revisada. Campinas: IG/UNICAMP, 1993, p. 73-86.

DAVIS JR., R. A. **Depositional Systems**. Prentice-Hall, New Jersey, 669 p.1983.

DELANEY, P. **Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul**. Publicação Especial da escola de Geologia de Porto Alegre 6:1-105,1965.

ESTEVES, L. S.; WILLIAMS, J. J.; NOCK, A.; LYMBERY, G. **Quantifying shoreline changes along the Sefton coast (UK) and the implications for research-informed coastal management**. Journal of Coastal Research, v.56SI, n.I, p.602-606, 2009.

ERSAN, D; HAYDAR, A. **The use of Analytic Hierarchy Process for Prediction.** Research International – Savap, Lodhran City – Pakistan, p 139-141, 2012.

FREITAS, C. M. DE; CARVALHO, M. L DE; XIMENES, E. F.; ARRAES, E. F.;

GOMES, J.O. **Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência - lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil.** Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro, vol.17 n.6, June 2012.

FUJIMOTO, N. S. V. M. **Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre - RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana.** Geosp - Espaço e Tempo, São Paulo, n.12, p. 141-177, 2002.

GIDDENS, A. **As consequências modernidade.** Tradução de Raul Fiker. São Paulo, Ed. Universidade Estadual de São Paulo, 177p. 1991

GODOLPHIM, M.F. **Geologia do Holoceno Costeiro do Município de Rio Grande, RS.** Porto Alegre, IG/UFRGS. Dissertação de Mestrado, 146p. 1976.

GUARNIERI, P.; SOBREIRO, V. A. **The Challenge of Selecting and Evaluating Third-party Reverse Logistics Providers in a Multicriterial Perspective: A Brazilian Case.** Journal of Cleaner Production, v.96, p.209-219, 2015.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S.. **Geomorfologia Ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand, 192 p. 2006

HONEYCUTT, M. G.; CROWELL, M.; DOUGLAS, B. C. **Shoreline – position forecasting: impact of storms, rate calculation methodologies, and temporal scales.** Journal of Coastal Research, v.17, n. 3, p. 714-720, 2009.

CIDADES@, 2017. Disponível em:
 <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431560&search=rio-grande-do-sul|rio-grande>> Acesso em: setembro. 2017.

IOC (2009) - **Intergovernmental Oceanographic Commission (2009).** Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5, 141p., Paris, França.

KLEINFORFER, P. R., KUNREUTHER, H. C.; SCHOEMAKER, P. J. H. **Decision Sciences: an integrative perspective.** New York: Cambridge University Press. 1993.

LEAL ALVES, D. C.; GANDRA, T. B. R.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA,

J. M. A.; GÖBEL, C. F. **Metodologia de Coleta e Tratamento de Dados Topográficos para Elaboração de Modelos Digitais de Elevação em Áreas Urbanas.** Scientia Plena, Sergipe, n.11, v.2, p. 1-7, 2015.

LIMA, L. M. M. **Mapeamento da Suscetibilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio Salso, Porto Alegre – RS.** Mar. 2010. 174f. Dissertação de Mestrado – UFRGS. Porto Alegre – RS, mar. 2010.

LIMA JR., F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. **Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte.** Gestão e Produção, n.4, v.20, p.15-19, 2013.

LIRA, C., AMORIM, A., SILVA, A. N. e TABORDA, R. **Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite.** DGRM, Lisboa, Portugal. 2016.

LONGLEY, P. A; GOOLDCHID, M.F; MAGUIRE, D.J; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica.** Tradução: André Schneider *et al* . 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MARQUES, W. C.; MÖLLER, O. O. 2008. **Variabilidade temporal em longo período da descarga fluvial e níveis de água da Lagoa dos Patos,**

Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, n.3, v.13, p. 155-163.

MARQUES, W. C. 2005. **Padrões de variabilidade temporal nas forçantes da circulação e seus efeitos na dinâmica da Lagoa dos Patos, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.

MARTINS, L. R. **Sedimentologia do canal do Rio Grande.** Pós Graduação em Geociências, Porto Alegre, pp. 38. 1971.

MAZZER, A. M. **Proposta Metodológica para Análise de Vulnerabilidade da Orla Marítima à Erosão Costeira: Aplicação em Praias Arenosas da Costa Sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina, Brasil).** 2007. 170 f. Tese de Doutorado - UFRGS. Porto Alegre - RS, 2007.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO. **Relatório de Gestão do Exercício 2012.** Secretária de Desenvolvimento Regional. Ministério da Integração Nacional, 178 p., 2013.

MIRAPALHETE, R. S. **Mapeamento do Processo de Mudanças Ocorridos na Orla da Cidade do Rio Grande - RS, entre 2011 a 2016, com Uso de Técnicas de Detecção de Mudança.** 2017. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso - IFRS. Rio Grande - RS, 2017.

MONTEIRO, I. O.; PEARSON, M. L.; MÖLLER JR, O. O.; FERNANDES, E. H.

L. Hidrodinâmica do Saco da Mangueira; mecanismos que controlam as trocas com o estuário da Lagoa dos Patos. Atlântica, v.27, n.2, p. 87-101, 2005.

MOORE, L. J. **Shoreline mapping techniques.** Journal of Coastal Research, v.16, n.1, p. 116-124, 2000.

MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma Geografia do litoral brasileiro.** São Paulo: Annablume, p. 205-222. 2007.

MOREIRA, T. A. **Uso de técnicas de detecção da variação da linha de costa para caracterização das transformações espaço-temporais ocorridas orla da praia do Icaraí, Ceará.** Trabalho de conclusão do curso de Geoprocessamento - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS. 2018

MUEHE, D. **Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade.** In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas.** São Paulo: Oficina de textos. p. 160-189, 2013

MUEHE, D. **Geomorfologia costeira.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand. p. 253-308, 2005.

MULER, M. **Avaliação da vulnerabilidade de praias da Ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um índice multicritério.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Dissertação do Programa de Pós Graduação em Geografia. 208f, 2012.

NEDEL, A.; SAUSEN, T. M.; SAITO, S. M. **Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período de 1989-2009: granizo e vendaval.** Revista Brasileira de Meteorologia, n.27, v.2, p. 119-126, 2012.

NEVES, C.F. & MUEHE, D. **Vulnerabilidade impactos e adaptação à mudança do clima: a zona costeira.** Brasília: Parcerias Estratégicas, p. 217-295, 2008.

PBMC, 2016: **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

ROY, B. VINCKE, P. **Multicriteria analysis: survey and new directions**. European Journal of Operational Research, 8(3), pp. 207-18, 1981.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process: Planning. Priority Setting, Resource Allocation**. New York, McGraw-Hill, inc. 1980.

SAATY, T. H. L. **Relative measurement and its generalization indecision making: why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factor. The analytic hierarchy/ network processes**. Review of the Royal Academy of Science and Mathematics. Madrid, 2008.

SANTOS, R. D. B. **Dinâmica espaço-temporal (1990 - 2010) do uso da terra no município de Seropédica, RJ, determinado por classificação automatizada**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia florestal - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). 2013.

SHORT, A. D. E. **Handbook of beach and shoreline morphodynamics**. Wiley, New York. 392p, 1999.

SILVERMAN, B.W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. Nova York: Chapman and Hall, 1986.

SMITH, M. J.; CROWLEY, R. G. **Measuring historical coastal change using GIS and the change Polygon approach**. Transactions in GIS, 16 (1): 3-15, 2012.

SOUZA, C. R. de G.; BARBOSA, F. O. **Taxas de recuo da praia do Gonzaguinha (São Vicente - SP) no período de 1962 a 2001, baseadas em fotografias aéreas.** In: XI Congresso Brasileiro de Estudos do Quaternário - ABEQUA, Belém (PA). Anais, CD Rom. 2007

SOUZA, C. R. de G.; LUNA, G. de C. **Taxas de retrogradação e balanço sedimentar em praias sob risco muito alto de erosão no município de Ubatuba (litoral norte de São Paulo).** Quaternary and Environmental Geoscience, v.1, n.1, p.25-41, 2009.

SOUZA-VIEIRA, S. R.; HARTMANN, C. **Modificação marginal das ilhas estuarinas usando ferramentas de aerofotogrametria, sedimentologia e batimetria.** Revista Brasileira de Cartografia, n. 60, v. 04, p. 307-318, 2008.

TESSLER, M.G., MAHIQUES, M.M. – **Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos.** In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. DE; FAIRCHILD,

T. R.; TAIOLI, F. (coord.), **Decifrando a Terra.** São Paulo: Editora Oficina de Textos. pp.262-284,2000.

THIELER, E. R.; DANFOR, W. W. **Historical shoreline mapping (I): improving techniques and reduction positioning errors.** Journal of Coastal Research, n.10, v.13, p. 549-563, 1994.

TOBIN, G. A.; MONTZ, B. E. **Natural hazards: explanation and integration.** New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R. **Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil.** Marine Geology, 244: 33-45, 2007.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. **Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo do Rio Grande do Sul.** Gravel, 3: 109-115, 2003.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 196p. 2009.

VALERIANO, M. M. **Dados Topográficos**. In: FLORENZANO, T. G. (org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 3, p. 72-103.

VARGAS, R. V. **Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to select and prioritize projects in a portfólio**. Pmi Global Congress 2010, North America, Washington - EUA, p. 1-22, 2010.

VAN RIJIN, L. C. **Coastal erosion and control ocean and coast Management**, 54: 867-887. 2011.

VAZ, A. C.; MÖLLER JR, O. O.; ALMEIDA, T. L. **Análise Quantitativa da Descarga dos Rios Afluentes da Laguna dos Patos**. Atlântica, 28 (1): 13-23, 2006.

VAZ, A. C. 2003. **Efeito da descarga de água doce em processos ocorrentes no estuário da Lagoa dos Patos**. Monografia do Curso de Oceanologia. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2015.

VIEIRA, E. F.; RANGEL, S. R. S. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Geografia Física, Vegetação e Dinâmica Sócio-Demográfica**. Porto Alegre: Sagra, 1988.

VILLWOCK, J.A. **Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, southern Brazil: a synthesis**. Pesquisas 16: 5-49, 1984.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; HORN, N.O.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. **Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province**. In: Rabassa, J. (Ed.). *Quaternary of the South America and Antartic Peninsula*. A.A. Balkema, Rotterdam. 4: 79- 97, 1986.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Gênese e Paisagem Atual.** In: BECKER, F. G.; RAMOS, R. A.; MOURA, L. A. (Orgs.). Biodiversidade de 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.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J: **Geologia Costeira do Rio Grande do Sul.** Notas Técnicas, 8: 1-45, 1995.