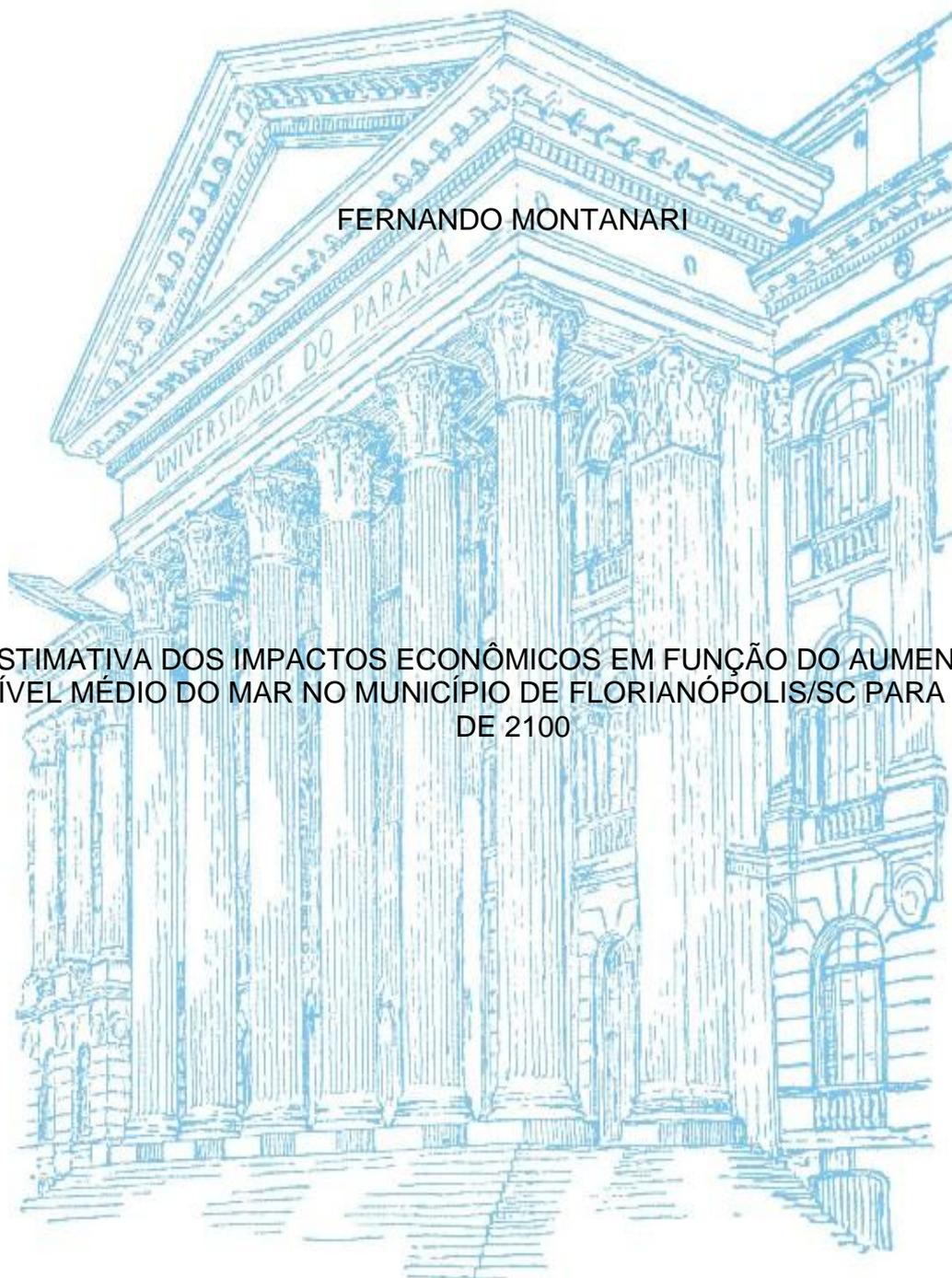


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO MONTANARI

ESTIMATIVA DOS IMPACTOS ECONÔMICOS EM FUNÇÃO DO AUMENTO DO  
NÍVEL MÉDIO DO MAR NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS/SC PARA O ANO  
DE 2100



CURITIBA  
2015

FERNANDO MONTANARI

ESTIMATIVA DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DO AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO  
DO MAR NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS/SC PARA O ANO DE 2100

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universität Stuttgart, Alemanha, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> M.Sc. Sandra Mara Pereira de Queiroz

Coorientadores: Prof. Dr. Marcus Polette e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mônica Beatriz Kolicheski

CURITIBA  
2015

Montanari, Fernando

Estimativa dos impactos econômicos do aumento do nível médio do mar no município de Florianópolis/SC para o ano de 2100.

121 fl

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, SENAI – PR, Universität Stuttgart.

Orientadora: Sandra Mara Pereira de Queiroz

Coorientadores: Marcus Polette e Mônica Beatriz Kolicheski

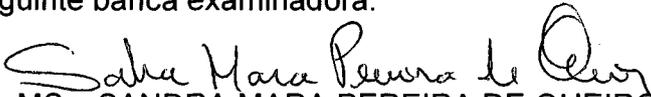
1. Mudanças climáticas. 2. Geoprocessamento. 3. Expansão Urbana.

## TERMO DE APROVAÇÃO

### FERNANDO MONTANARI

#### “ESTIMATIVA DOS IMPACTOS ECONÔMICOS EM FUNÇÃO DO AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS/SC PARA O ANO 2100”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI/PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:   
MSc. SANDRA MARA PEREIRA DE QUEIROZ  
PPGMAUI/LQ-GEOAMBIENTAL

Coorientadora:   
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> MÔNICA BEATRIZ KOLICHESKI  
PPGMAUI/UFPR

Coorientador:   
Prof. Dr. MARCUS POLETTE  
Universidade do Vale do Itajaí

  
Prof. Dr. EDUARDO FELGA GOBBI  
PPGMAUI/UFPR

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> ANA MARIA MURATORI  
DEPTO. GEOGRAFIA/UFPR

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> MARGARETE CASAGRANDE LASS ERBE  
Coordenadora do PPGMAUI-UFPR

---

Programa Internacional Brasil-Alemanha das instituições

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores, Prof.<sup>a</sup> Sandra Mara Pereira de Queiroz, Prof.<sup>a</sup> Mônica Beatriz Kolicheski e Prof. Marcus Polette por todo auxílio prestado.

À Universidade Federal do Paraná, SENAI-PR e Universität Stuttgart pela atenção e interesse na educação de novos profissionais.

Ao DAAD pelo suporte financeiro da bolsa de mestrado que possibilitou a viagem à Alemanha, em especial à Prof.<sup>a</sup> Daniela Neuffer pela dedicação.

À minha noiva Scheilla Pessanha de Souza Campos e toda minha família pelo suporte e compreensão durante o período de mestrado.

Aos membros da banca Prof. Eduardo Felga Gobbi e Prof.<sup>a</sup> Ana Maria Muratori.

À Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina pela presteza no fornecimento de informações.

Ao Laboratório de Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, em especial ao Prof. Maurício Polidori, M. Sc. Marcus Saraiva, Prof. Otávio Peres e arquiteto Alexandre Santos por todo o conhecimento compartilhado.

Ao economista Stephane Hallegatte por disponibilizar o modelo ARIO e auxiliar em sua utilização.

## RESUMO

Devido à interface entre hidrosfera, atmosfera e litosfera, a zona costeira é reconhecida como uma região geográfica com risco de sofrer inundação, pois está sujeita a eventos extremos destes três domínios. Soma-se a este cenário o aquecimento global, evento que poderá trazer novos padrões ambientais, sobre os quais existem grandes incertezas a respeito da sua evolução. Florianópolis é um município banhado por oceano na maior parte de seus limites geográficos, esta peculiaridade faz com que se torne um ambiente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, em especial à elevação a do nível médio do mar (NMM). Desta forma, estimar os impactos econômicos do aumento do nível médio do mar no município de Florianópolis para o ano de 2100 poderá servir de base para elaborar políticas públicas. Com técnicas de geoprocessamento foi gerado o cenário de elevação do nível médio do mar em Florianópolis para o ano de 2100. Para a estimativa do crescimento urbano foi utilizado o modelo *CityCell*, e por fim, os impactos econômicos foram estimados com o modelo ARIIO. A área atingida pela elevação do NMM em Florianópolis foi de 13,4% de seu território, ou 54,63 km<sup>2</sup>. O número de habitantes afetados chegaria a 179.964 e o total de domicílios afetados foi de 62.578. Toda a porção norte da ilha ficaria isolada com a elevação do NMM, prejudicando também os bairros que seriam pouco afetados diretamente pela elevação do NMM. O modelo de expansão urbana de Florianópolis foi calibrado com duas imagens aéreas, a primeira de 1985 e a segunda de 2014. A modelagem para o ano de 2100 mostrou que sua mancha urbana pouco crescerá, pois as áreas definidas por encostas íngremes, manguezais e dunas, atualmente protegidas por legislação ambiental, são locais que dificilmente serão urbanizados, restando desta forma, poucas áreas passíveis de urbanização. Assim, a urbanização tenderá a adensar-se na mancha urbana já existente. A projeção do crescimento populacional em Florianópolis para o ano de 2100 obedeceu à tendência mundial de crescimento populacional, e foi estimada em 696.499 para 2100. O custo direto da elevação do NMM para 2100 chegou a 13 bilhões de reais, e o custo total foi de 63 bilhões de reais. Florianópolis mostrou-se vulnerável à elevação do NMM e com pouca ou nenhuma proteção aos seus efeitos. Devido às incertezas das projeções futuras, devem-se buscar formas de adaptação que forneçam benefícios para a atualidade, já que não considerar as mudanças climáticas no planejamento de longo prazo e nas decisões de investimentos atuais pode levar a adaptações mal feitas e custosas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Geoprocessamento. Expansão urbana.

## ABSTRACT

Due to the interface between the ocean, atmosphere and lithosphere, the coastal zone is recognized as a geographical region with flooding risk, mainly because it is vulnerable to extreme events of these three domains. In addition to this scenario, global warming will bring new environmental standards, on which there are large uncertainties about its evolution. Florianópolis is a city bathed by ocean for most of its municipal boundaries, this peculiarity makes it to become a vulnerable environment to the effects of climate change, especially the rise of the mean sea level (MSL). Thus, to estimate the economic impacts of rising sea level in Florianópolis for the year 2100 could serve as a basis for designing public policies. Through geoprocessing techniques was generated a sea level rising scenario in Florianópolis for the year 2100. For the urban growth mapping, *CityCell* model was used, and finally, the economic impacts were estimated with ARIO model. The area affected by the MSL rise was Florianópolis is 13.4% of its territory, or 54.63 km<sup>2</sup>. The affected population would reach 179,964 inhabitants and the total number of affected households was 62.578. Entire northern portion of the island would be isolated with the elevation of mean sea level, also concerning the districts that would be little affected directly by raising the MSL. The model of urban expansion of Florianópolis was calibrated with two aerial images, the first of 1985 and the second in 2014. The modeling for the year 2100 showed that urban sprawl will grow slow, as the areas defined by high slopes, mangroves and dunes, now protected by environmental legislation are sites that are unlikely to be urbanized, leaving thus little area subject to urbanization. Therefore, urbanization tends to thicken the existing urban area. The projection of population growth in Florianópolis for the year 2100 followed the global trend of population growth, and was estimated at 696,499 for 2100. The direct cost of SLR rise reached 13 billion reais, and the total cost was 63 billion. Florianópolis proved to be vulnerable to SLR rise and with little or no protection to its effects. Due to the uncertainties of future projections, it is necessary to find ways to adapt to provide benefits for today, given that as we do not consider climate change in the long-term planning and in current investment decisions, it can lead to maladaptation and costly adaptations.

Keywords: Climate change. Geoprocessing. Urban growth.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DEFINIÇÃO DOS DATA VERTICAIS CLÁSSICOS.....	17
FIGURA 2 - SISTEMA VERTICAL MODERNO.....	18
FIGURA 3 - MAPA GLOBAL DO CLS01 (UNIDADES EM METROS) E NOS CONTINENTES O MODELO GEOIDAL EGM96. ....	19
FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DA REDE MAREGRÁFICA PERMANENTE PARA GEODÉSIA – RMPG, E LOCALIZAÇÃO DOS MARÉGRAFOS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO.....	20
FIGURA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE MARÉGRAFOS COM RELAÇÃO À IMBITUBA .....	22
FIGURA 6 - MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL MAPGEO 2010 PARA O SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000. ....	24
FIGURA 7 - CONFIGURAÇÃO INICIAL DE CÉLULAS VIVAS. ....	35
FIGURA 8 - CONFIGURAÇÃO DAS CÉLULAS APÓS 116 GERAÇÕES.....	36
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO MODELO ARIO.....	46
FIGURA 10 - COMPONENTES DA METODOLOGIA PARA AVALIAR OS IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	50
FIGURA 11 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ETAPA DE MAPEAMENTO DA ELEVÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR PARA FLORIANÓPOLIS NO ANO DE 2100 .....	52
FIGURA 12 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ETAPA DE MAPEAMENTO DO CRESCIMENTO URBANO DE FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100.....	54
FIGURA 13 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ETAPA DE ESTIMATIVA DO IMPACTO ECONÔMICO DEVIDO AO AUMENTO DO NMM PARA FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100 .....	60
FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS.....	65
FIGURA 15 - MAPA GEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS.....	66
FIGURA 16 - PRINCIPAIS VIAS DE ACESSO EM FLORIANÓPOLIS .....	67
FIGURA 17 - CRESCIMENTO POPULACIONAL ENTRE 1970 E 2010 EM FLORIANÓPOLIS .....	67
FIGURA 18 - PESSOAS COM 10 OU MAIS ANOS EMPREGADAS POR SETOR DE ATIVIDADE ECONÔMICA. ....	68

FIGURA 19 - NÚMERO DE EMPRESAS NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS POR TIPO DE ATIVIDADE.....	69
FIGURA 20 - EVOLUÇÃO NO NÚMERO DE EMPRESAS E DO PRODUTO INTERNO BRUTO DE FLORIANÓPOLIS.....	69
FIGURA 21 - EROÇÃO COSTEIRA DEVIDO A RESSACA NA PRAIA DA ARMAÇÃO EM FLORIANÓPOLIS EM 2010.....	72
FIGURA 22 - ÁREA ATINGIDA PELA ELEVAÇÃO DO NMM EM FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100.....	74
FIGURA 23 - AUMENTO DA ÁREA PERDIDA AO LONGO DOS ANOS DEVIDO À ELEVAÇÃO DO NMM.....	75
FIGURA 24 - ÁREA ATINGIDA PELA ELEVAÇÃO DO NMM EM FLORIANÓPOLIS EM DIVERSOS ANOS.....	76
FIGURA 25 - MAPA DE USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS.....	77
FIGURA 26 - EXEMPLO DAS CLASSES DE USO DO SOLO UTILIZADAS PARA O MAPEAMENTO EM FLORIANÓPOLIS. (a) ÁREA URBANIZADA; (b) DUNAS; (c) MANGUE; (d) ÁGUA; (e) PRAIA; (f) FLORESTAL; (g) CAMPESTRE.....	79
FIGURA 27 - SETORES CENSITÁRIOS DO IBGE (EM VERDE), ELEVAÇÃO DO NMM (EM AZUL) E ÁREA EM DESTAQUE DELIMITADA EM VERMELHO.....	82
FIGURA 28 - PRINCIPAIS RODOVIAS ATINGIDAS PELA ELEVAÇÃO DO NMM EM FLORIANÓPOLIS.....	84
FIGURA 29 - GRID URBANO SOBRE IMAGEM DE FLORIANÓPOLIS NO ANO DE 1985.....	87
FIGURA 30 - GRID URBANO SOBRE IMAGEM DE FLORIANÓPOLIS DO ANO DE 2014.....	87
FIGURA 31 - CRESCIMENTO DO CENÁRIO 1C COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 2 PARA FLORIANÓPOLIS ENTRE OS ANOS 1985 E 2014.....	88
FIGURA 32 - CRESCIMENTO DO CENÁRIO 2C COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,5 PARA FLORIANÓPOLIS ENTRE OS ANOS 1985 E 2014.....	89
FIGURA 33 - CRESCIMENTO DO CENÁRIO 3C COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,3 PARA FLORIANÓPOLIS ENTRE OS ANOS 1985 E 2014.....	91
FIGURA 34 - MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 2 PARA FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100.....	94

FIGURA 35 - MÉDIA DE CRESCIMENTO DAS CÉLULAS URBANAS EM FLORIANÓPOLIS DE 2014 A 2100 NA MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,5.....	94
FIGURA 36 - MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,5 PARA FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100 .....	95
FIGURA 37 - MÉDIA DE CRESCIMENTO DAS CÉLULAS URBANAS EM FLORIANÓPOLIS DE 2014 A 2100 NA MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,5.....	96
FIGURA 38 - MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,3 PARA FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100 .....	97
FIGURA 39 - MÉDIA DE CRESCIMENTO DAS CÉLULAS URBANAS EM FLORIANÓPOLIS DE 2014 A 2100 NA MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,3.....	97
FIGURA 40 - ÁREA URBANA DE FLORIANÓPOLIS EM 2014 (a), E SIMULAÇÕES PARA 2100 COM CRESCIMENTO LENTO (b), MÉDIO (c) E ACELERADO (d) .....	98
FIGURA 41 - CRESCIMENTO POPULACIONAL MUNDIAL E BRASILEIRA.....	100
FIGURA 42 - PLANTA GENÉRICA DE VALORES SIMPLIFICADA DE FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100 .....	102
FIGURA 43 - MAPA DA ESTIMATIVA DO CUSTO DIRETO DE FLORIANÓPOLIS DEVIDO AO AUMENTO NO NMM MODELADO PARA 2100.....	103
FIGURA 44 - VARIAÇÃO DO VALOR AGREGADO TOTAL EM FLORIANÓPOLIS EM PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AO PRÉ-DESASTRE.....	106
FIGURA 45 - NECESSIDADE DE RECONSTRUÇÃO EM FLORIANÓPOLIS EM BILHÕES DE REAIS .....	107
FIGURA 46 - MUDANÇA NO VA DOS SETORES EM PORCENTAGEM, ONDE A COR VERDE INDICA UM VA MAIOR DO QUE ANTES DO EVENTO, E A COR VERMELHA INDICA UM VA MENOR, CONFORME LEGENDA.....	108
FIGURA 47 - EMPREGO TOTAL EM FLORIANÓPOLIS APÓS DESASTRE.....	109
FIGURA 48 - EMPREGO TOTAL EM FLORIANÓPOLIS NO SETOR DE CONSTRUÇÃO.....	109

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DE BALNEÁRIOS DE ACORDO COM POLETTE (1993).....	31
QUADRO 2 - RESUMO DA METODOLOGIA UTILIZADA.....	51
QUADRO 3 - CLASSES DE USO DO SOLO UTILIZADAS NO <i>CITYCELL</i> DISCRIMINADAS POR CATEGORIA, COMPORTAMENTO, PESO E MUTANTE OU FIXA.....	55
QUADRO 4 - CENÁRIOS DE CRESCIMENTO UTILIZADOS PARA MODELAR O CRESCIMENTO DE FLORIANÓPOLIS DE 1985 A 2014.....	56
QUADRO 5 - RESUMO DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO NO CENÁRIO 01; MELHOR RESULTADO COM PREDOMÍNIO DE CRESCIMENTO POLAR. ....	88
QUADRO 6 - RESUMO DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO NO CENÁRIO 02; MELHOR RESULTADO COM PREDOMÍNIO DE CRESCIMENTO POLAR. ....	89
QUADRO 7 - RESUMO DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO NO CENÁRIO 03; MELHOR RESULTADO COM PREDOMÍNIO DE CRESCIMENTO POLAR. ....	90
QUADRO 8 - MATRIZ INSUMO PRODUTO LOCAL PARA O MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS NO ANO DE 2011, EXPRESSA EM DÓLARES AMERICANOS. *Consumo intermediário total; **Valor agregado. ***Saídas.....	105
QUADRO 9 - PRINCIPAIS INCERTEZAS INCORPORADAS NA ESTIMATIVA DO IMPACTO ECONÔMICO.....	113

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CONTRIBUIÇÃO DE CADA COMPARTIMENTO PARA O AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR GLOBAL .....	26
TABELA 2 - CENÁRIOS DE ELEVAÇÃO DO NMM PROJETADOS PELO IPCC PARA O ANO DE 2100 .....	28
TABELA 3 – PERDAS MATERIAIS EM DIVERSOS EVENTOS.....	43
TABELA 4 - POPULAÇÃO EXPOSTA E O DANO DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A DÉCADA DE 2070.....	44
TABELA 5 - PARÂMETROS DE COMPORTAMENTO UTILIZADOS, PARA SIMPLIFICAR FOI ASSUMIDO QUE $\tau = \tau_A \uparrow = \tau_A \downarrow = \tau_{LFD} = \tau_E$ .....	63
TABELA 6 - TAXAS DE EROÇÃO EM DIVERSAS PRAIAS DE FLORIANÓPOLIS .	70
TABELA 7 - CLASSES DE USO DO SOLO, SUAS RESPECTIVAS ÁREAS DE COBERTURA E PORCENTAGEM DE ÁREA ATINGIDA PELA ELEVAÇÃO DO NMM UTILIZANDO DADOS DE 2010.....	78
TABELA 8 - NÚMERO DE DOMICÍLIOS E HABITANTES ATINGIDOS PELA ELEVAÇÃO DO NMM POR BAIRRO EM FLORIANÓPOLIS.....	83
TABELA 9 - RELAÇÃO DA ESCALA DO MAPA E DO ICN SEGUNDO DIVERSOS AUTORES.....	85
TABELA 10 - DIFERENÇA NO NÚMERO TOTAL DE CÉLULAS URBANAS DE 2014 E AO FINAL DA SIMULAÇÃO DOS TRÊS CENÁRIOS COM FORMA DE CRESCIMENTO PREDOMINANTE POLAR.....	92
TABELA 11 - CRESCIMENTO DE ÁREA URBANIZADA E POPULACIONAL EM FLORIANÓPOLIS ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2014.....	99
TABELA 12 - ESTIMATIVA POPULACIONAL PARA 2100 EM DIVERSAS ABRANGÊNCIAS GEOGRÁFICAS.....	101

## LISTA DE SIGLAS

ARIO	- Adaptative regional input-output
CA	- Autômatos Celulares
CAD	- Computer aided design
CPRM	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DHN	- Diretoria de Hidrografia e Navegação
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
GLOSS	- Global Sea Level Observing System
HIS-SSM	- Hoogwater informatie systeem – schade em slachtoffer module
I-P	- Insumo-Produto
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICN	- Intervalo da curva de nível
IOC	- Intergovernmental Oceanographic Comission
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climatic Change
IPIUF	- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
MDT	- Modelo Digital de Terreno
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
NMM	- Nível médio do mar
ONU	- Organização das Nações Unidas
PBMC	- Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PGV	- Planta genérica de valores
PIB	- Produto Interno Bruto
PMF	- Prefeitura Municipal de Florianópolis
RCP	- Representative concentration pathways
RN	- Referência de nível
RPMG	- Rede maregráfica permanente para geodésia
RRNN	- Referências de nível
SANTUR	- Santa Catarina Turismo
SDS	- Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado de Santa Catarina
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
TNMM	- Topografia do nível médio do mar
UNESCO	- Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura
UTM	- Universal Transversa de Mercator
VA	- Valor agregado
WMO	- World Meteorological Organization
WIOD	- Banco de Dados Mundial de Input-Output

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1. JUSTIFICATIVA.....	13
1.2. OBJETIVOS.....	15
1.2.1. Objetivo geral.....	15
1.2.2. Objetivos específicos .....	15
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1. NÍVEL MÉDIO DO MAR .....	16
2.1.1. Medição do nível médio do mar.....	17
2.1.2. Nível médio do mar no Brasil.....	19
2.2. CENÁRIO MUNDIAL DE AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR .....	26
2.2.1. Cenário atual .....	26
2.2.2. Cenários futuros .....	27
2.3. EXPANSÃO URBANA .....	29
2.3.1. Urbanização.....	29
2.3.2. Modelos em análises espaciais .....	32
2.3.3. Modelos de expansão urbana.....	33
2.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTO ECONÔMICO .....	40
2.4.1. Eventos de enchentes recentes.....	43
2.4.2. Avaliação de impacto econômico indireto.....	44
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	50
3.1. MAPEAMENTO DO AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR .....	51
3.2. MAPEAMENTO E PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO E POPULACIONAL .....	53
3.2.1. Expansão urbana em Florianópolis .....	53
3.2.2. Crescimento populacional.....	58
3.3. ESTIMATIVA DO IMPACTO ECONÔMICO.....	59
3.3.1. Custos diretos.....	60
3.3.2. Custos Indiretos.....	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	64
4.1. ÁREA DE ESTUDO – CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS .....	64
4.2. Geografia.....	64
4.3. Economia.....	68
4.4. Erosão e variabilidade do nível médio do mar .....	70
4.5. MAPEAMENTO DO AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR .....	71

4.5.1. Área atingida.....	73
4.5.2. Uso do Solo .....	77
4.5.3. População afetada .....	81
4.5.4. Limitações do mapeamento do aumento do nível médio do mar em Florianópolis.....	84
4.6. MAPEAMENTO E PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO E POPULACIONAL .....	85
4.6.1. Expansão urbana em Florianópolis .....	86
4.6.2. Crescimento populacional.....	100
4.7. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS .....	102
4.7.1. Custos Diretos .....	102
4.7.2. Custos Indiretos.....	104
4.8. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO .....	110
5. CONCLUSÕES.....	115
REFERÊNCIAS.....	117

## 1. INTRODUÇÃO

Devido à interface entre oceano, atmosfera e litosfera, a zona costeira é reconhecida como uma região geográfica de muito risco, pois está sujeita a eventos extremos destes três domínios. Soma-se a este cenário as mudanças climáticas, evento que poderá trazer novos padrões ambientais, sobre os quais existem grandes incertezas sobre sua evolução. No mundo, as áreas ameaçadas hoje abrigam cerca de 2% da superfície terrestre e aproximadamente 10% da população mundial (IPCC 2007).

Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, seu território é formado por uma ilha e uma península na porção continental. Desta forma, é um município banhado por oceano em quase todos seus limites geográficos. Esta peculiaridade faz com que a torne um ambiente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, em especial à elevação do nível médio do mar (NMM).

Além desta vulnerabilidade ambiental, uma das maiores fontes de renda do município é o turismo, principalmente devido às belezas naturais (praias, dunas, lagoas, entre outras). Com a possível elevação do NMM essas atrações turísticas poderão desaparecer e, conseqüentemente, desestabilizar a economia municipal.

Segundo o IPCC (2013a), o aumento do NMM no ano de 2100 será em torno de um metro. Este aumento deve-se, principalmente, ao aquecimento dos oceanos, pois mais de 60% do aumento de energia no sistema climático é armazenado neste ecossistema, fazendo com que ocorra sua expansão e conseqüentemente o aumento do nível do mar.

É previsto que os oceanos continuarão a aquecer durante o século 21, o que irá afetar a circulação oceânica. É previsto também que a média de altura das ondas irá aumentar nos oceanos do hemisfério sul, devido à alteração na velocidade dos ventos (IPCC, 2013b), ocasionando aumento no número de ressacas na costa brasileira.

De acordo com o IPCC (2013a), o aquecimento do sistema climático é inequívoco, e desde a década de 1950, muitas das mudanças observadas são sem precedentes ao longo de décadas a milênios. A atmosfera e o oceano esquentaram, a quantidade de neve e gelo diminuiu, o nível do mar subiu, e a concentração de gases de efeito estufa aumentou.

Embora os alertas da comunidade científica e a mobilização da população para estudar e implantar contramedidas, são praticamente inexistentes ações governamentais neste sentido, não existindo medidas efetivas no caso de Florianópolis.

Para Hallegatte et. al (2011b), estimar impactos econômicos das mudanças climáticas é tarefa difícil devido a complexidade da interface entre a mudança climática, sociedade e economia global. Apesar das dificuldades, estes impactos devem ser estimados a fim de fornecerem subsídios para a formulação de políticas públicas em escala municipal para implantação de medidas mitigadoras e de adaptação.

Tendo em vista os impactos previstos para do aumento do nível médio do mar, e a vulnerabilidade de Florianópolis, foi realizado um estudo para estimar seus impactos econômicos para o ano de 2100.

## 1.1. JUSTIFICATIVA

O conhecimento acerca do local onde se habita é imprescindível ao sucesso da espécie humana. Conforme Diamond (2007) explica, muitas civilizações desapareceram por edificarem suas cidades em lugares não propícios, ou pelo excesso de pressão exercida sobre o meio ambiente. São inúmeros os exemplos deste embate entre a natureza e os assentamentos humanos, das Américas à Ásia e Oceania.

No Brasil, este já é um problema muito conhecido, como por exemplo, a invasão do mar na vila de São Vicente no século XVI, onde após uma forte ressaca toda vila teve que ser reconstruída mais distante do mar (BATISTA, 2007).

Nos dias atuais citam-se as ressacas que atingem as praias de Florianópolis e a ocupação de planícies de inundação do rio Itajaí, como exemplos presentes em diversos rios e praias catarinenses.

Desta forma, é imperativo que os assentamentos humanos sejam construídos e operados de maneira sustentável, para que as perdas humanas, de infraestrutura e, conseqüentemente, econômicas sejam minimizadas, o que justifica a importância do presente estudo.

É esperado que os impactos climáticos em municípios costeiros representem o maior desafio no século XXI, com milhares de pessoas expostas e bilhões de dólares em ativos com o risco de serem perdidos em escala global (HANSON et al. 2011).

No mundo, as áreas ameaçadas hoje abrigam cerca de 2% da superfície terrestre e aproximadamente 10% da população mundial (IPCC 2007). Apesar de o Brasil ser um país de proporções continentais, aproximadamente 25% de sua população vive em zonas costeiras (MMA, 2010). Florianópolis possui 100% de sua população de 421.203 habitantes (IBGE, 2010) vivendo em zona costeira, seja na porção insular, seja no continente.

Desta forma, uma cidade com significativo número de pessoas e muitas propriedades próximas ao mar, Florianópolis é potencialmente vulnerável aos efeitos da variabilidade natural do nível do mar e aos efeitos antrópicos desta variação.

Cada vez fica mais claro que as políticas climáticas obtêm resultados melhores quando aplicadas em escala local, particularmente em cidades. A maior parte da população vive em áreas urbanas, e diversos impactos das mudanças climáticas irão afetar as cidades e serão necessárias medidas de adaptação específicas (HALLEGATTE et al., 2011a).

Partindo desta premissa, algumas cidades estão desenvolvendo sua própria política de adaptação aos efeitos das mudanças climáticas, como por exemplo, Paris, Londres, Chicago, Toronto, São Paulo e Rio de Janeiro (MAIRIE DE PARIS, 2007; GREATER LONDON AUTHORITY, 2008; CITY OF CHICAGO, 2008; TORONTO ENVIRONMENT OFFICE, 2008; SÃO PAULO, 2009; RIO DE JANEIRO, 2011).

Com o possível aumento no nível médio do mar, em cidades sem proteção ou planejamento urbano, as perdas econômicas e humanas podem elevar significativamente (HALLEGATTE et al., 2011a). Logo, o mapeamento do aumento do nível médio do mar e suas perdas econômicas para Florianópolis poderão servir de base para elaborar políticas públicas de adaptação, sejam elas através de novas construções ou por meio de medidas não estruturais.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo geral

Estimar os possíveis impactos econômicos relativos ao aumento do nível médio do mar no município de Florianópolis, estado de Santa Catarina, para o ano de 2100.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Mapear o provável aumento do nível médio do mar em Florianópolis para o ano de 2100.
- Mapear o provável crescimento urbano em Florianópolis para o ano de 2100.
- Projetar o crescimento populacional em Florianópolis para o ano de 2100.
- Estimar as perdas econômicas diretas e indiretas para o município de Florianópolis devido ao aumento do nível médio do mar.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. NÍVEL MÉDIO DO MAR

O nível médio do mar (NMM) é a média do nível do mar, usualmente baseada em valores medidos a cada hora em períodos maiores do que um ano através de marégrafos. Para finalidades mais precisas este período deve ser de vários anos de medição (IOC, 1985).

Em geral, cada país possui um *datum* vertical<sup>1</sup> estabelecido da maneira clássica, ou seja, ligando o NMM obtido por longas séries de observação da maré a uma referência de nível (RN) situada próxima do marégrafo. É usual a existência de várias referências de nível (RRNN) na região do marégrafo, evitando assim possíveis transtornos quanto à destruição de algumas delas (DALAZOANA, 2006).

A partir do estabelecimento do *datum* e sua conexão a uma ou mais RRNN na região do marégrafo são determinadas as altitudes das demais estações que materializam a rede geodésica vertical. As redes geodésicas verticais são estabelecidas, na sua maior parte, por nivelamento geométrico.

Na definição clássica para o estabelecimento de um datum vertical considera-se o NMM coincidente com o geoide, como indicado na FIGURA 1. Nesta figura,  $h$  é a altitude elipsoidal do ponto P;  $H$  é a altitude ortométrica desse ponto e  $N$  é a ondulação geoidal. Nesta figura, na definição clássica, é visto que em Imituba ( $28^{\circ} 14' 24''$  S –  $48^{\circ} 40' 13''$ ) e Buenaventura ( $3^{\circ} 53' 11''$  N –  $77^{\circ} 04' 12''$  O) possuem o mesmo nível médio do mar.

Conforme Pugh (1996), a mudança no nível médio do mar em um ponto fixo na terra é a medida entre a diferença entre os movimentos verticais do NMM e da própria terra. Durante os períodos de glaciação o nível do mar cai, pois a água fica presa nas calotas polares, conforme as geleiras retrocedem, o NMM global aumenta. Mudanças em longos períodos de tempo no NMM são chamadas de variações seculares. Mudanças globais no NMM são chamadas de variações eustáticas. Movimentos verticais do NMM em escala regional são chamados de epirogênicos.

---

<sup>1</sup> Datum vertical é um modelo referente à superfície de referência usada para definir as altitudes de pontos da superfície terrestre (NOGUEIRA, 2008).

As variações do NMM devido à temperatura e aos efeitos das correntes são chamadas de variações estéricas ou halostéricas do mar.

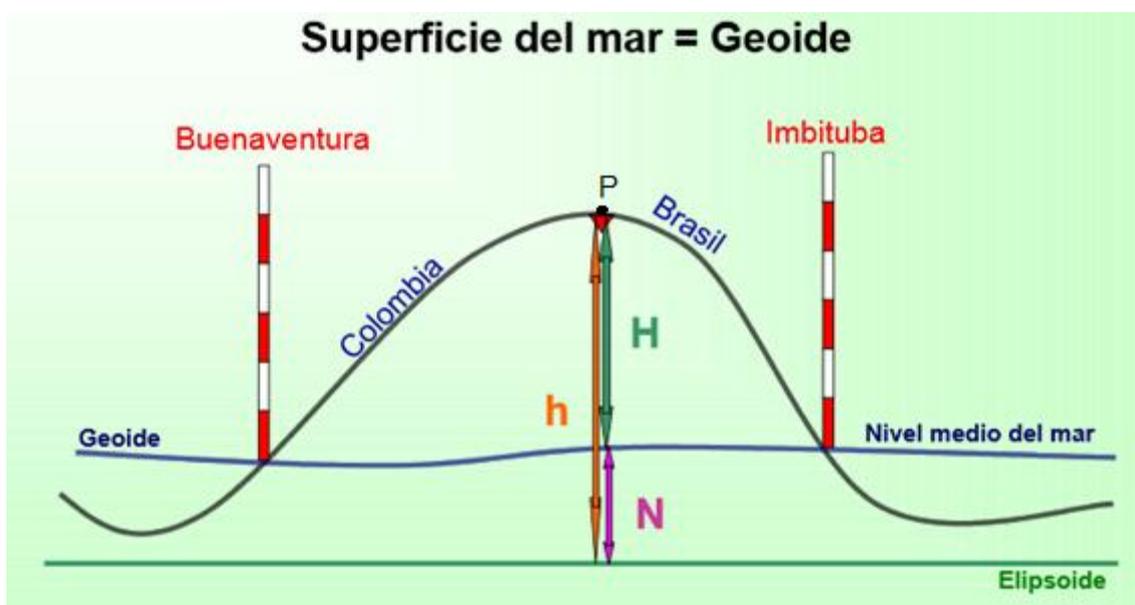


FIGURA 1 - DEFINIÇÃO DOS DATA VERTICAIS CLÁSSICOS.  
 FONTE: GTIII-SIRGAS, 2002.

### 2.1.1. Medição do nível médio do mar

A medição do NMM usualmente é realizada através de dados maregráficos, entretanto, devido à complexidade do tema e com o desenvolvimento de novas tecnologias, esta medição foi aprimorada, tornando-a mais precisa. Alguns dos métodos existentes são descritos nos itens seguintes.

#### 2.1.1.1. O geoide

O uso do NMM como superfície de referência para as altitudes já foi amplamente aceito, porém atualmente é reconhecido que o NMM local observado nos marégrafos não pode ser considerado coincidente com um geoide global (PAN e SJÖBERG, 1998). Ou seja, cada datum vertical é referido a uma superfície equipotencial particular (com potencial  $W_i$ ) associada ao NMM no marégrafo em uma

determinada época, a qual geralmente não coincide com o geóide global (com potencial  $W_0$ ). A FIGURA 2 ilustra esta abordagem mais atual, onde o ponto P possui uma altitude nivelada com relação ao Datum Colombia (de potencial  $W_0$  Col) e altitude nivelada com relação ao Datum Brasil (de potencial  $W_0$  Bra).

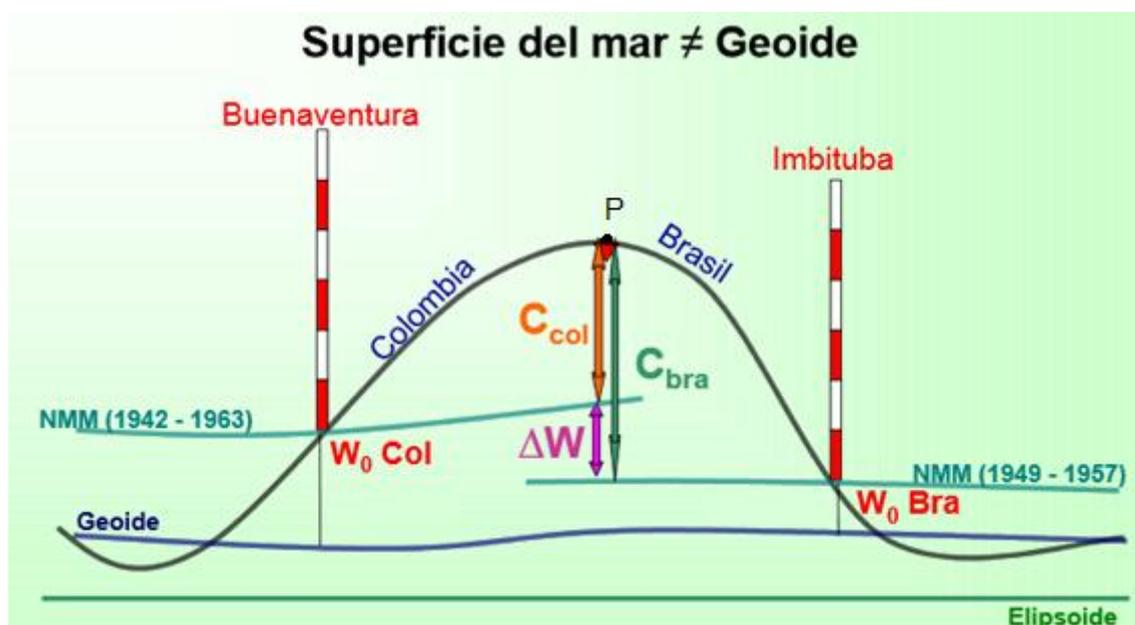


FIGURA 2 - SISTEMA VERTICAL MODERNO.  
FONTE: GTIII-SIRGAS, 2002

A diferença entre o NMM e o geóide global, chamada de topografia do nível médio do mar (TNMM), é causada por variações na pressão atmosférica, correntes, entre outros fatores e este efeito pode alcançar valores de até dois metros (SEEBER, 2003).

Por definição, o geóide descreve a forma da superfície irregular da Terra e o seu zero verdadeiro, de acordo com o campo gravitacional terrestre. Como a superfície do geóide não pode ser diretamente observada, para medi-la são realizadas medições na gravidade e modelagens matemáticas da superfície (PUGH, 1996).

Dalazona (2005) explica que a TNMM em escala global pode ser estimada a partir das diferenças entre a altura do nível médio do mar com relação a um elipsóide de referência derivada da altimetria por satélites; e a ondulação geoidal obtida de um modelo geoidal global.

### 2.1.1.2. *Nível médio do mar com o uso de satélites*

Segundo Seeber (2003), a altimetria por satélites é um dos métodos mais recentes na área de geodésia. Este método consiste em satélites com sensores que transmitem pulsos de micro-ondas para a superfície e recebe o sinal refletido. Devido às propriedades refletivas da água, o método é muito propício para os oceanos. Estas medições da superfície do oceano são subtraídas da altitude do geóide para obter-se o NMM. Como exemplo, o modelo CLS01 demonstrado na FIGURA 3, do qual é uma combinação do NMM com o modelo geoidal EGM96.

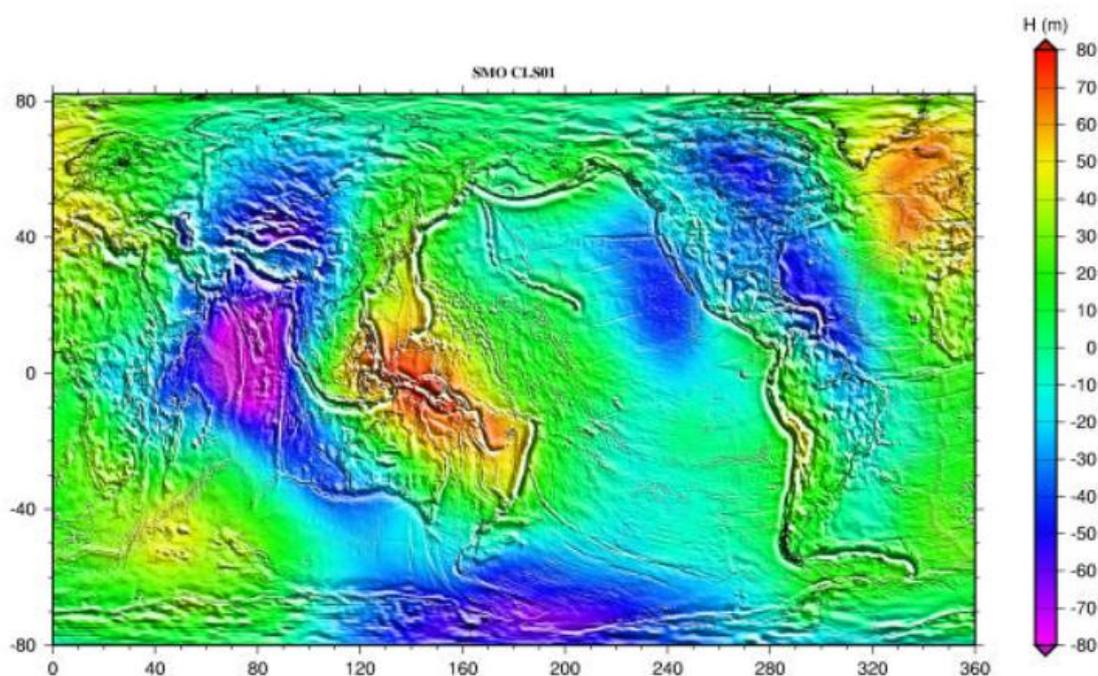


FIGURA 3 - MAPA GLOBAL DO CLS01 (UNIDADES EM METROS) E NOS CONTINENTES O MODELO GEOIDAL EGM96.  
FONTE: HERNANDEZ; SCHAEFFER, 2001.

### 2.1.2. *Nível médio do mar no Brasil*

No Brasil a tarefa de medir o NMM fica por conta do IBGE. Em 1945, no município de Urussanga, em Santa Catarina iniciou-se a medição de sua rede de

nivelamento geodésico. Em 1946, adotou-se provisoriamente o marégrafo de Torres (RS) como datum altimétrico. Em 1958, este foi substituído pelo datum de Imbituba (SC), do qual contava com nove anos de observações maregráficas, sendo que o mínimo desejável é de 19 anos para que sejam reduzidos os efeitos das variações periódicas provocadas pelas influências astronômicas (ALENCAR, 1990).

No ano de 2001 iniciou-se no Brasil a materialização da rede maregráfica permanente para geodésia (RMPG), com a instalação de dois marégrafos eletrônicos nas estações de Macaé (RJ) e Imbituba (SC). Depois destas duas foram ainda instalados marégrafos em Salvador (BA), Santana (AP) e Fortaleza (CE) nos anos de 2004, 2005 e 2008, respectivamente, conforme ilustra a FIGURA 4 (IBGE, 2013a).

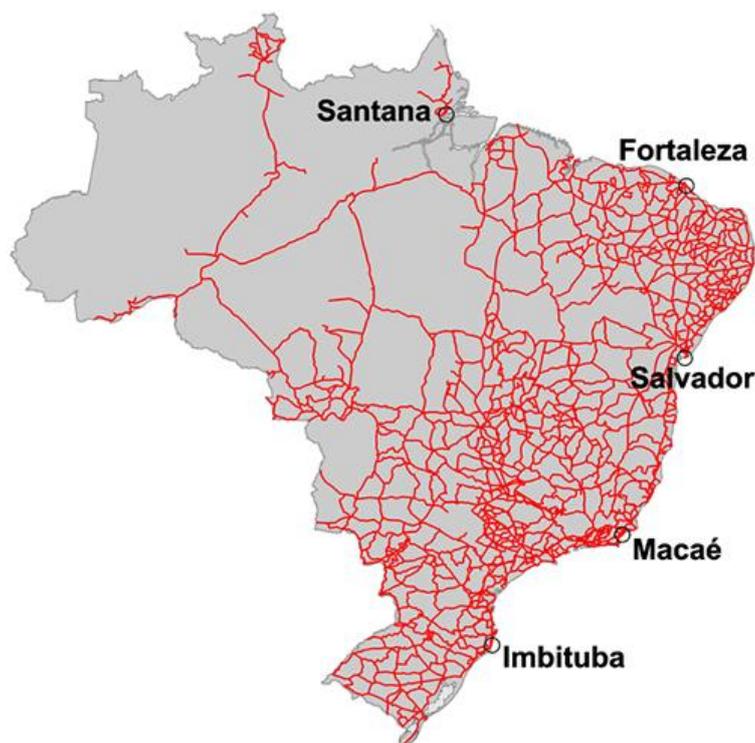


FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DA REDE MAREGRÁFICA PERMANENTE PARA GEODÉSIA – RMPG, E LOCALIZAÇÃO DOS MARÉGRAFOS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO. FONTE: IBGE, 2013a.

As estações de Macaé, Imbituba e Santana contam com sensores de pressão Druck/GE 1880 controlados por *dataloggers*<sup>2</sup> Squitter A1000 que coletam e registram informações de nível d'água com intervalo de 5 minutos. As informações armazenadas nestes *dataloggers* são transferidas por linha telefônica aos escritórios

<sup>2</sup> Equipamento eletrônico que salva informações por determinado período de tempo, como por exemplo, monitoramento do nível médio do mar.

locais do IBGE e, na sequência, pela Rede IBGE ao Centro de Controle da RMPG, no Rio de Janeiro (IBGE, 2013a).

O controle do nível de referência das observações é realizado trimestralmente por intermédio da comparação das mesmas com as leituras da régua de marés e do nivelamento da régua com a estação GPS permanente e as demais referências de nível de cada estação da RMPG. Este fato permite que os níveis médios resultantes sejam posteriormente referenciados a qualquer outro datum vertical, além de evitar que eventuais alterações da posição vertical dos equipamentos introduzam tendências ou desvios fictícios nos dados de nível do mar (IBGE, 2013a).

De acordo com Alencar (1990), foi efetuada a comparação entre Imbituba e os outros 17 marégrafos (FIGURA 5), relacionados em ordem decrescente de latitude, todos conectados com a RN. O sinal positivo indica que o plano do nível médio do mar registrado pelas observações do marégrafo local é mais alto do que o determinado em Imbituba, e transportado pelo nivelamento, abstraído o erro nesse transporte.

Nota-se, na Figura 5, que entre Imbituba e Salvador a discrepância entre esses dois marégrafos é de apenas 0,01 metros, que pode ser atribuída ao transporte no nivelamento (ALENCAR, 1990).

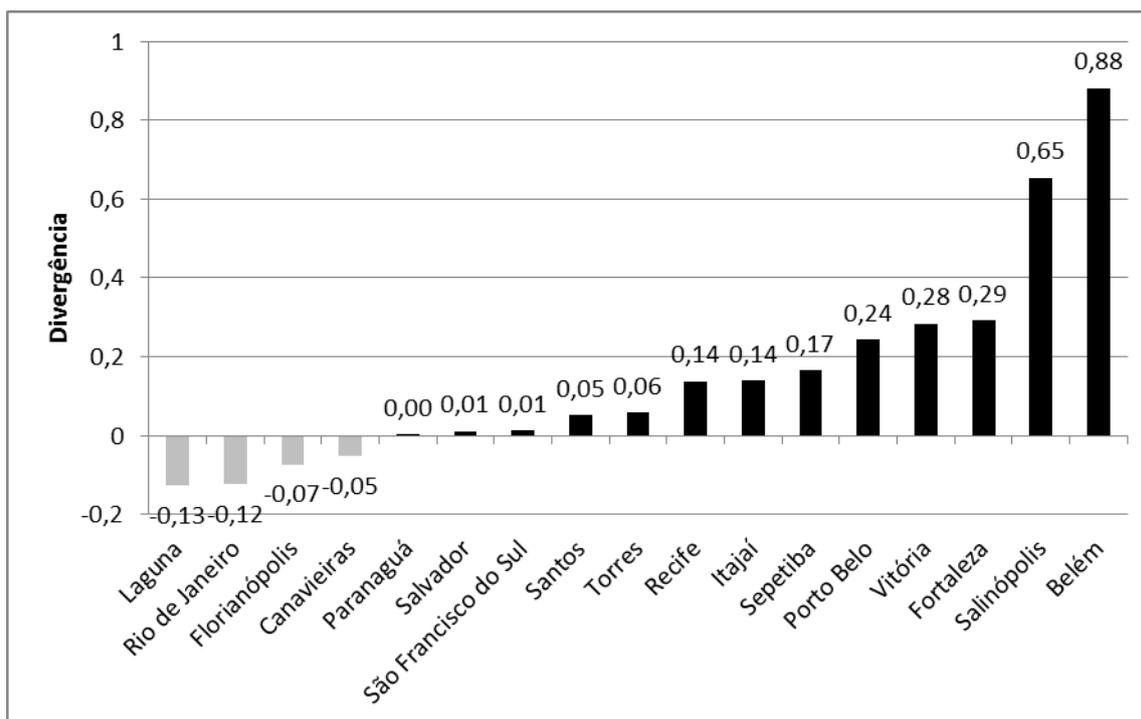


FIGURA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE MARÉGRAFOS COM RELAÇÃO À IMBITUBA  
 FONTE: ALENCAR, 1990.

Alencar (1990) também fez um confronto entre o marégrafo de Imbituba e o de Arica, no Chile. Através de uma linha transcontinental de nivelamento geodésico, atravessando o Brasil, Bolívia e o Chile. Ficou revelado que o nível médio do Oceano Pacífico é mais baixo 16 centímetros do que o do Oceano Atlântico.

As tensões tangenciais do vento sobre o mar e sua distribuição espacial não uniforme, combinadas com o efeito de rotação da Terra, produzem o transporte de massas d'água, seja aproximando-as em direção à costa, seja afastando-as da costa. Como consequência, verificam-se na costa sudeste do Brasil oscilações do nível médio do mar na escala de cinco a nove dias, com amplitudes da ordem de 1 m (KALIL, 1997).

A costa Sul e Sudeste brasileira está sujeita a ciclones extratropicais, que numa situação única atingiu força de furacão, o Catarina, que atingiu a costa catarinense em fevereiro de 2004. Porém, não havia marégrafos em operação na região, o que teria permitido quantificar a elevação do nível do mar (NEVES e MUEHE, 2008).

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, em colaboração com as autoridades portuárias brasileiras é a principal responsável pela

manutenção das observações de nível do mar no país, fornecendo previsões de maré para os principais portos do País.

Segundo o Banco Nacional de Dados Oceanográficos da DHN, apenas 20% das informações disponíveis haviam sido coletadas há menos de 15 anos e cerca de 75% dos registros possuíam duração inferior a 40 dias. Não se obteve informações, porém, sobre o controle geodésico das estações cadastradas, o que é indispensável para se determinar tendências confiáveis de longa duração (NEVES e MUEHE, 2008).

Desde 2000 instalou-se o programa GLOSS-Brasil (*Global Sea Level Observing System*), por sua vez vinculado a um programa mais amplo da Comissão Oceanográfica Intergovernamental da Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura (UNESCO) denominado *Global Ocean Observing System* (GOOS) (GLOSS, 2014).

A falta de informações históricas sobre o nível do mar constitui, no momento, a grande vulnerabilidade do Brasil a mudanças do nível relativo do mar, posto que sequer se pode garantir se a variabilidade observada é um fenômeno local, regional ou global (NEVES e MUEHE, 2008).

No Brasil o IBGE em conjunto com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP concebeu e produziu o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2010. Este modelo permite obter a ondulação geoidal em um ponto, ou conjunto de pontos, cujas coordenadas refiram-se tanto a SIRGAS2000 quanto a SAD69 (IBGE, 2014).

De acordo com o IBGE (2014), este modelo geoidal foi calculado utilizando mais de 928.000 pontos de gravimetria terrestre para a América do Sul. Para o Brasil (FIGURA 6), 13.057 novos pontos gravimétricos foram introduzidos todos devidamente validados em relação ao modelo geoidal anterior, ou seja, o MAPGEO2004.

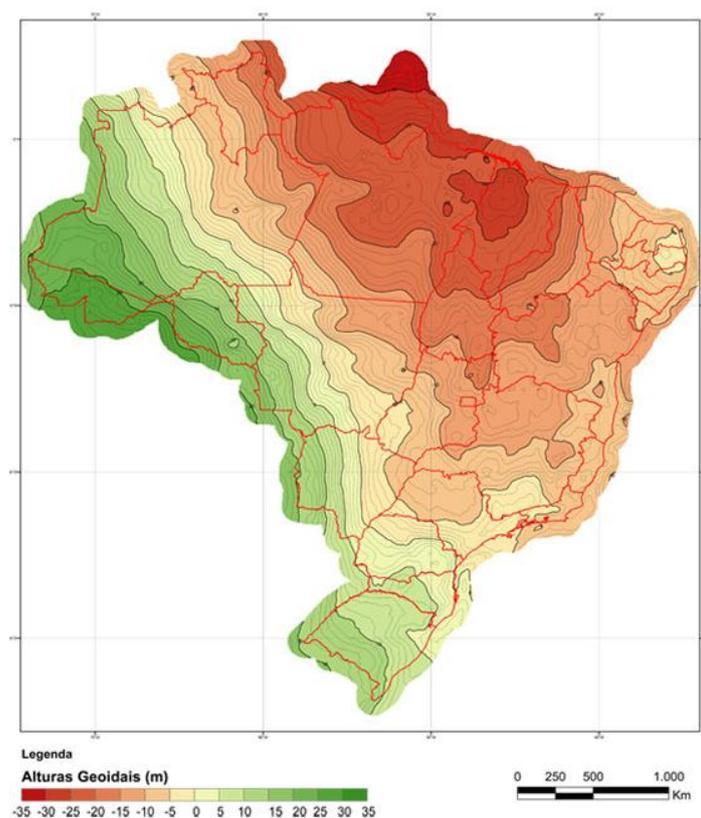


FIGURA 6 - MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL MAPGEO 2010 PARA O SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000.  
FONTE: IBGE, 2013a

### 2.1.2.1. Erosão Costeira

As praias arenosas apresentam dinâmica própria em virtude da mobilidade dos sedimentos, transportada pelos efeitos constantes das ondas, correntes litorâneas, marés e ventos. Esta dinâmica resulta em processos de acreção e/ou erosão praial. A erosão pode estar relacionada à ação antrópica que através de construções sobre o ambiente praial intensifica os processos erosivos tornando, conseqüentemente, as ocupações próximas ao ambiente praial vulneráveis ao ataque das ondas em episódios tempestivos mais intensos (HORN, 2006a)

Os agentes oceanográficos atuam hoje na fisiografia da linha de costa atual, estes atuaram no passado de acordo com as flutuações do nível relativo do mar durante os episódios glaciais e interglaciais que ocorreram durante o período Quaternário. Estes agentes são responsáveis por significativa parcela das paisagens

impressas no relevo, algumas delas ainda presentes, outras mascaradas pelo tempo através de diferentes processos (HORN, 2006a).

As causas da erosão costeira vêm sendo amplamente discutidas em nível mundial e nacional, sendo que dois processos são apontados como principais causadores do fenômeno, (1) a elevação no nível médio do mar e o (2) balanço sedimentar negativo (MAZZER, 2007).

A variação negativa da linha de costa em escala interdecadal, indica sua tendência erosiva. Tal tendência é compatível com o comportamento de 70% das linhas de costa arenosas, que se encontram sob processo erosivo no planeta (BIRD, 1985).

No Brasil a linha de costa vem apresentando erosão ao longo de todo o litoral, porém esta erosão é distribuída irregularmente e frequentemente associada a foz de rios. Estas áreas sob risco de erosão irão ser amplificadas pela elevação do nível médio do mar e pelo aumento da frequência e intensidade de tempestades associadas a elevação da temperatura oceânica. Estes riscos serão mais significantes em áreas urbanas e especialmente em grandes cidades costeiras (MUEHE, 2010).

Em Santa Catarina não é diferente, autores como Klein et. al, (2006) e Horn, (2006a) já identificaram a tendência erosiva nas praias arenosas do estado.

## 2.2. CENÁRIO MUNDIAL DE AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

### 2.2.1. Cenário atual

O IPCC (2013a), através do Grupo de Trabalho I, publicou seu quinto relatório sobre as mudanças climáticas. O relatório trouxe novas evidências sobre as mudanças climáticas, e de acordo com o mesmo o aquecimento do sistema climático é uma realidade. A atmosfera e os oceanos aqueceram, a neve e o gelo retrocederam, o nível do mar subiu e as concentrações dos gases do efeito estufa na atmosfera aumentaram.

Dentre as evidências que o relatório do IPCC (2013a) apresentou, observou-se que os oceanos dominam o aumento de energia armazenada no sistema climático, sendo que mais de 90% da energia foi acumulada entre 1971 e 2010. Sendo que mais de 60% do aumento de energia foi armazenado na superfície do oceano (0 a 700 metros de profundidade), e 30% armazenada em profundidades abaixo de 700 metros. Desta forma, em torno de apenas 10% da energia encontrase acumulada na atmosfera.

Desde o início da década de 1970, a perda de massa das geleiras e a expansão térmica dos oceanos representam juntas 75% do aumento do NMM. A contribuição de cada parcela está indicada na TABELA 1.

TABELA 1 - CONTRIBUIÇÃO DE CADA COMPARTIMENTO PARA O AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR GLOBAL

Compartimento	Contribuição (mm/ano)	Contribuição (%)
Expansão térmica	1,10	39
Mudanças nas geleiras	0,76	27
Gelo da Groelândia	0,33	12
Gelo da Antártida	0,27	10
Armazenamento de água nos continentes	0,38	13
<b>TOTAL</b>	<b>2,84</b>	<b>100</b>

FONTE: IPCC (2013a)

A taxa de aumento do nível do mar ficou maior a partir da metade do século XIX, e é maior que os dois milênios anteriores. Entre o período de 1901 e 2010, o nível médio do mar global aumentou em 900 milímetros. Enquanto o aumento do NMM entre 1901 e 2010 foi de 1,7 milímetros por ano, entre 1971 e 2010 foi de 2 milímetros por ano, e em período mais recente, entre 1993 e 2010 foi de 3,2 milímetros ao ano (IPCC, 2013a).

O registro instrumental da variação do nível do mar foi através de marégrafos para os últimos três séculos, e desde o início da década de 1990 através de satélites (IPCC, 2013b).

### 2.2.2. Cenários futuros

As projeções de mudança no sistema climático global são realizadas pelo IPCC através de uma série de modelos climáticos, desde os mais simples até sistemas globais complexos. Os modelos simulam mudanças baseadas em um conjunto de cenários de forçantes antrópicas (IPCC, 2013b).

É previsto que os oceanos irão continuar a aquecer durante o século 21 e irá afetar a circulação oceânica. As estimativas são de que nos 100 primeiros metros de profundidade o oceano irá aquecer de 0,6 °C a 2,0 °C, e para a profundidade de até 1.000 metros será de 0,3 °C a 0,6 °C (IPCC, 2013a). Assim como a temperatura, o aumento do nível médio do mar também irá continuar a subir durante o século 21.

Foram elaborados alguns cenários chamados de *Representative Concentration Pathways* (RCP). Os RCP são cenários que incluem séries temporais das emissões e concentrações de todo o conjunto dos gases do efeito estufa, aerossóis e gases quimicamente ativos, bem como o uso do solo. O IPCC (2013b) selecionou quatro RCP para apresentar suas projeções.

RCP2.6 – uma tendência onde a forçante radioativa (alteração no sistema de fluxo radioativo, incidente menos o transmitido, da troposfera) com pico aproximado em 3 W/m<sup>2</sup> antes de 2100 e depois declina.

RCP4.5 e RCP6.0 – duas tendências de estabilização do qual a forçante radioativa é estabilizada aproximadamente em  $4,5 \text{ W/m}^2$  e  $6,0 \text{ W/m}^2$ , depois de 2100.

RCP8.5 – uma tendência do qual a forçante radioativa atinge mais de  $8,5 \text{ W/m}^2$  em 2100 e continua a aumentar por algum tempo.

Nestas projeções a expansão térmica é a principal causa da elevação do nível médio do mar, com 30 a 55% de participação, já as geleiras participam com 15 a 35% (IPCC, 2013b).

Estes cenários possuem probabilidade de 66% a 100% de aumento do NMM para o ano de 2100, conforme dados demonstrados na TABELA 2 (IPCC, 2013b).

TABELA 2 - CENÁRIOS DE ELEVAÇÃO DO NMM PROJETADOS PELO IPCC PARA O ANO DE 2100

Modelo	Mínimo (metros)	Máximo (metros)
RCP2.6	0,25	0,55
RCP4.5	0,32	0,63
RCP6.0	0,33	0,63
RCP8.5	0,52	0,98

FONTE: IPCC (2013b)

Em contraponto ao IPCC, de acordo com Rahmstorf (2007) é previsto aumento de 1,4 metros para o ano de 2100, com aumento anual de  $3,5 \text{ mm/}^\circ\text{C}$ .

Já para Pfeffer, Harper e O'Neill (2008), sob certas condições glaciológicas possíveis, em um cenário pessimista o aumento do NMM pode chegar a 2 metros no ano de 2100. Entretanto, de acordo com os mesmos autores, um cenário mais plausível de aumento de NMM é de 0,8 metros para o mesmo ano.

O aumento do NMM não será uniforme em todo o globo terrestre. Com 90 a 100% de probabilidade, este aumento se dará em mais de 95% de toda área do oceano, no restante haverá retração do NMM. As regiões que irão experienciar a redução do NMM estão próximas às geleiras e áreas com neve. É projetado que 70% das áreas costeiras sofram com o aumento do NMM, caso 20% do aumento do NMM ocorra (IPCC, 2013b).

Após o ano de 2100 o aumento do nível médio do mar irá continuar devido à expansão térmica, e a longo prazo este aumento dependerá das futuras emissões

dos gases de efeito estufa. Algumas projeções com 66 a 100% de probabilidade estimam que o aumento seja de 1 metro a mais de 3 metros, após o ano de 2100. Os modelos preveem aumento do NMM de 1 a 3 metros para cada 1 °C de aquecimento neste período (IPCC, 2013b).

## 2.3. EXPANSÃO URBANA

### 2.3.1. Urbanização

O processo de urbanização é um fenômeno universal acontecendo em todo mundo. Todos os países estão sujeitos a este fenômeno decorrente, principalmente, do crescimento da população, economia e infraestruturas. A urbanização impulsiona a mudança nos padrões de uso do solo. Esta expansão geralmente acontece radialmente a partir do centro da cidade ou numa direção linear ao longo das estradas (SUDHIRA, RAMACHANDRA e JAGADISH, 2003). O entendimento deste fenômeno e seu padrão de expansão ajuda o planejamento urbano.

Por outro lado, a expansão urbana é vista como um dos potenciais problemas para o desenvolvimento sustentável, principalmente em países em desenvolvimento, onde o ritmo de crescimento é alto e o planejamento urbano para uma utilização eficiente de recursos naturais e a locação de infraestruturas não consegue acompanhar.

O alastramento urbano é a expansão da população urbana a partir de áreas centrais em locais anteriormente rurais. Este método de urbanização traz muitos desperdícios, caracterizado por uma densidade baixa e uniforme. Frequentemente é descontrolado, expande-se ao longo de áreas metropolitanas com rapidez e invade áreas anteriormente de agricultura (TORRENS e ALBERTI, 2000).

Desta forma, devido a esta variedade de formas e velocidades de crescimentos urbanos, prevê-lo não é tarefa simples, mesmo que existam leis que restrinjam ou que favoreçam o crescimento em determinados vetores, a cidade não pode ser desenhada devido aos seus variados e complexos processos. Mas, este

fato não impede a tentativa de governantes agirem na tentativa de controlar seu desenvolvimento (PORTUGALI e CASAKIN, 2005).

As dinâmicas locais são importantes para se perceber o desenvolvimento de padrões regionais e, ao mesmo tempo, põe em evidência a necessidade de identificar relações e graus de predominância entre elementos.

No início do século XX, apenas 16 cidades no mundo possuíam ao menos um milhão de habitantes, sendo as maiores destas cidades em países com grandes economias e bem industrializados. Já no início do século XXI, existiam aproximadamente 400 cidades no mundo com mais de 1 milhão de habitantes, e 75 destas cidades encontram-se nos países em desenvolvimento (COHEN, 2004).

A América Latina é uma região predominantemente urbana, com níveis de urbanização similar à América do Norte e Europa. Percentualmente a população urbana cresceu de 42% em 1950 para 75% em 2000, em números absolutos o crescimento foi de 70 milhões para 391 milhões de habitantes no mesmo período (COHEN, 2004).

Um estudo realizado no Brasil por Santos (2010) demonstra a complexidade do ambiente urbano brasileiro. O processo de crescimento espacial urbano tende a transformar as maiores cidades em locais de crise social. Por outro lado, as cidades de maior porte demográfico foram as que mais se destacaram na criação de novos empregos. Sendo assim, as maiores aglomerações urbanas tornam-se locais de forte crise socioambiental, com grandes taxas de geração de empregos, mas à custa da deterioração das condições de vida na metrópole.

#### *2.3.1.1. Urbanização no litoral brasileiro*

A formação territorial brasileira iniciou-se a partir do litoral. Os primeiros assentamentos lusitanos em terras brasileiras localizaram-se, com raríssimas exceções, na zona costeira. Os portos que serviam aos circuitos de produção mais importantes acabaram por gerar zonas de adensamento em seus entornos, originando as primeiras redes de cidades. O litoral foi povoado num padrão descontínuo, conformando um “arquipélago” demográfico. Foi a partir da construção

das ferrovias que este padrão mudou e o Brasil começou a industrializar-se no interior (MORAES, 2007).

Conforme explica Moraes (2007), no final da década de 1950 com a aceleração do processo de industrialização, muitas empresas vão localizar suas plantas industriais prioritariamente na zona costeira. Também neste período outro fenômeno fomenta o processo de urbanização do litoral, chamado de segunda residência, principalmente nas capitais. Estas residências de veraneio são apontadas como o fator numérico mais expressivo da urbanização litorânea, pois ocorrem ao longo de toda costa (diferente da industrialização que cresce a partir de um polo). Outro vetor muito importante para o crescimento urbano do litoral é a atividade turística, o qual ocorreu nas últimas décadas. Em termos globais, é um dos setores produtivos que mais cresce nas zonas costeiras na atualidade.

Em termos de densidade demográfica, em todos os estados (com exceção de Amapá e Rio Grande do Sul), a ocupação da zona litorânea é sensivelmente superior à média estadual, o que vem a confirmar o apelo costeiro da localização populacional no Brasil. Santa Catarina possui 40% de sua população morando na costa (MORAES, 2007).

Polette (1993) propôs um modelo de desenvolvimento para balneários costeiros na tentativa de descrever a evolução urbana em base ao assentamento e turismo ordenados. A metodologia descreve quatro estágios para as áreas litorâneas do Brasil devido a ocupação antrópica: (1) comunidade original; (2) destruição da mata original; (3) paisagem agrícola e (4) urbanização, apresentas no QUADRO 1.

<b>Estágio</b>	<b>Características</b>
Comunidade original	Ecosistemas, solos, população animal e vegetal estáveis, com máxima produtividade e simbiose.
Destruição da mata original	Comunidade clímax destruída e invasão de espécies pioneiras e secundárias.
Paisagem agrícola	Estabilização dos ecossistemas culturais, erosão, remoção de nutrientes e alteração dos solos.
Urbanização	Substituição da paisagem agrícola pela paisagem urbana, poluição aérea e hídrica e incremento urbano.

QUADRO 1 - ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DE BALNEÁRIOS DE ACORDO COM POLETTE (1993)

Horn (2006b) aplicou esta metodologia para as principais praias de Florianópolis e constatou que o Município encontra-se entre os estágios de paisagem agrícola e urbanização. Apesar desta média, ainda existe a presença de alguns balneários no estágio inicial de desenvolvimento costeiro, preservando em parte suas características ambientais. Por outro lado, nas últimas décadas a Ilha de Santa Catarina vem sofrendo grande pressão sobre seus ecossistemas em virtude de ser um centro convergente de pessoas e empreendimentos.

### 2.3.2. Modelos em análises espaciais

Para Xavier da Silva e Carvalho Filho (1993), os problemas ambientais são caracterizados por uma expressão territorial (espaço) e por dinâmica (tempo), e a pesquisa ambiental parte dos seguintes pressupostos:

- todo fenômeno é passível de ser localizado;
- todo fenômeno tem sua extensão determinável;
- todo fenômeno apresenta-se com relacionamentos, não sendo registrável qualquer fenômeno totalmente isolado;
- segundo o postulado da causalidade, é possível revelar relações causais entre as correlações associadas aos fenômenos, com margem de erro, o que leva a uma validade relativa.

Segundo Moura (2005), o geoprocessamento está intimamente relacionado à modelagem. Os modelos, que são tentativas de representação simplificada da realidade, foram e são passos importantes na busca de respostas sobre correlações e comportamentos de variáveis ambientais.

Modelos são a apresentação formal de teorias que usam os instrumentos de lógica, da teoria estabelecida e da matemática (CHORLEY e HAGGET, 1967). Estes podem ser teoria, lei, hipótese, ideia estruturada, relação, função, equação, síntese de dados ou argumentos do mundo real. Embora simplificações da realidade, tem como ponto importante a seleção dos aspectos mais relevantes. O sistema é estudado segundo determinado objetivo, e tudo o que não afeta esse objetivo é eliminado (MOURA, 2005).

Os modelos em geografia envolvem propriedades locacionais (onde), atributos temáticos (o que) e temporais (quando), descrevendo o tempo e espaço. A vantagem em utilizar a modelagem espacial está na promoção dos recursos de visualização na espacialização dos fenômenos, uma vez que a conformação espacial pode resultar em novas leituras dos resultados.

Para Moura (2005), o geoprocessamento é o conjunto de técnicas e recursos para o armazenamento e a análise de dados. Engloba o processamento digital de imagens, cartografia digital e os sistemas informativos geográficos. O autor também explica que a cartografia automatizada ou digital adota a tradicional metodologia de construção de cartas temáticas, mas as análises e sínteses podem envolver relações mais complexas, evidenciando mútuas relações, que melhor representariam a dinâmica espacial, o que exige recursos como os oferecidos pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

De acordo com Christofolletti (1999) apud Moura (2005), o sistema de informação geográfica é um conjunto integrado de programas especificamente elaborados para serem utilizados com dados geográficos, executando um espectro abrangente de tarefas no manuseio dos dados. Essas tarefas incluem a entrada, o armazenamento, a recuperação e os produtos resultantes do manejo dos dados, em adição à ampla variedade de processos descritivos e analíticos.

Cowen (1990) classificou os aplicativos existentes em CAD e SIG. O autor associa o conceito de CAD ao desenho, à representação de informações geográficas, usando diferentes camadas de desenho, cores estilos de linhas e recursos gráficos. Já o conceito de SIG é associado à capacidade de produzir não só o inventário, como também a análise e a manipulação de dados, o que torna possível gerar informações e não só recuperá-las de um banco de dados.

### 2.3.3. Modelos de expansão urbana

Para modelar o crescimento urbano, interessa representar o processo de produção espacial, que converte o solo não urbanizado em urbanizado, acrescentando edificações e capturando fisicamente o processo de evolução urbana (POLIDORI e KRAFTA, 2008). A quantificação da urbanização através do

mapeamento da mudança na superfície impermeável fornece dados úteis para a simulação da dinâmica urbana (XIAN e CRANE; 2005).

Para Polidori e Krafta (2008), a estrutura urbana pode ser representada por diferentes graus de centralidade, dependendo das variáveis de uso do sistema urbano. A centralidade é uma diferenciação espacial, gerada por tensões entre unidades de forma construída, conectadas pelo tecido urbano.

Neste sentido, o estudo de Luo (2009) concluiu que quanto menor a distância para estradas arteriais locais, maior efeito na conversão do uso da terra. Enquanto que a agricultura, floresta e corpos d'água possuem efeito negativo na conversão do uso do solo, locais densamente construídos tendem a promover o crescimento urbano.

Polidori (2004) também observou a influência da distância. O aumento da distância é diretamente proporcional à formação de centralidades locais, decorrente do maior isolamento das partes, ao mesmo tempo em que concorre para o aumento da fragmentação do conjunto e das bordas das áreas periféricas, onde cada parte tende a crescer de forma mais autônoma.

Ambos os estudos vão ao encontro da pesquisa de Batty, Xie e Sun (1999), é dito que em modelos de Autômatos Celulares (CA), crescimento e localização estão intimamente dependentes, comprovando uma suposição realística de como as cidades realmente se desenvolvem.

Na década de 1950 foram desenvolvidos os modelos de CA, porém apenas na década de 1980 seu potencial foi aplicado ao planejamento regional e urbano. O desenvolvimento dos CA defende que processos aparentemente simples desenvolvem padrões considerados complexos. Deste modo, através de modelos de microsimulação é possível identificar tendências regionais (SILVA, 2011).

Hawkings (2011) explica que os CA obtiveram grande visibilidade pública na década de 1970, quando um artigo publicado na revista *Science* descreve o Jogo da Vida desenvolvido por Conway que simula a vida. Neste jogo existe uma matriz quadrada, sendo que cada célula desta matriz pode estar viva ou morta. Cada quadrado possui oito vizinhos. O tempo é desenvolvido em passos discretos e não de forma contínua. De acordo com o arranjo dos quadrados mortos e vivos, o número de vizinhos vivos determina o que irá acontecer de acordo com as seguintes premissas:



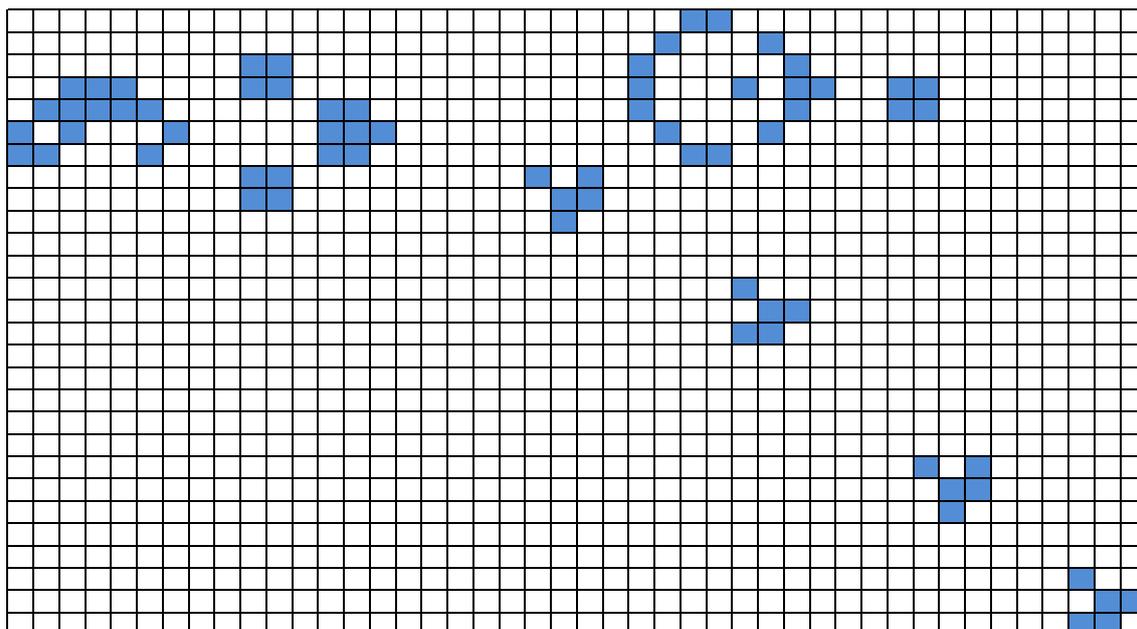


FIGURA 8 - CONFIGURAÇÃO DAS CÉLULAS APÓS 116 GERAÇÕES  
 FONTE: adaptado de HAWKINGS, 2011.

A atratividade dos CA deve-se ao fato de possuírem um atributo de espaço, e mesmo que os elementos sejam conhecidos (regras definidas pelo utilizador), o comportamento é independente. Sendo assim, cada elemento (célula) comporta-se individualmente e os resultados são imprevisíveis (SILVA, 2011). A partir desta lógica, pode-se aplicar esta metodologia para a expansão urbana.

A intenção do uso de modelos urbanos de CA para estudar a complexidade é observar a simplicidade na complexidade que encontramos nas cidades. Os modelos de CA têm sido usados para explorar as propriedades de auto-organização dos sistemas urbanos (TORRENS e O'SULLIVAN, 2001).

A gama de aplicações dos CA para estudos urbanos é imensa. Estes modelos já foram empregados na exploração de uma grande variedade de fenômenos urbanos como a simulação de tráfego, urbanização em escala regional para a dinâmica de uso da terra, policentralidade, urbanização histórica e desenvolvimento urbano. Também estão sendo utilizados modelos de CA para expansão e crescimento urbano, dinâmica sócio espacial, segregação, forma e localização urbana (TORRENS e O'SULLIVAN, 2001).

Para Blecic et al (2004), os CA são uma maneira eficaz para confrontar a dinâmica urbana e ambiental. Para tanto, não se deve elaborar regras de interação abstratas, mas regras que correspondam ao conjunto compreensível e legível com a realidade. Fato frisado também por Torrens e O'Sulliva (2001), pois a chave para

desenvolver uma conexão mais forte entre o CA e a teoria urbana é a formulação de regras de transição com uma ligação mais direta entre as regras e a teoria.

Apesar de todo estudo sobre modelos de expansão urbana, ainda existe muito para a ciência urbana pesquisar no que tange ao entendimento de padrões e processos de crescimento urbano. Nesta linha, modelos baseados em CA provaram ser importante ferramenta para exploração, capturando propriedades dinâmicas no padrão urbano relacionada com novos conceitos, tais como, a auto-organização, dependência de caminhos e transições (STANILOV e BATTY, 2011).

### 2.3.3.1. *Simulador de Crescimento Urbano*

O software *CityCell – Urban Growth Simulator*<sup>3</sup> (SARAIVA et al., 2011) oferece ferramentas básicas de geoprocessamento e visualização de dados geográficos necessárias à entrada e manipulação de dados e parametrização de simulações, bem como visualização, análise e avaliação dos resultados gerados. O programa é dividido em dois módulos: a) o *CityCell* propriamente dito, responsável pela entrada, processamento e saída de dados; b) os modelos de simulação de crescimento urbano, que são chamados de regras de transição (ou, simplesmente, regras) em referência ao componente dinâmico dos autômatos celulares.

O modelo opera sobre uma base espacial no formato de um *grid* bidimensional regular com células quadradas, cujo tamanho é definido pelo operador do sistema. A partir da delimitação da área de estudo, o modelo permite a livre inclusão de variáveis ou atributos, que podem ser dos tipos urbano, natural ou institucional, assumindo o papel de atração ou resistência à urbanização (SARAIVA, 2013).

Dessa forma, o conceito de estado dos CA clássicos é expandido, de modo que cada célula do *grid* pode conter atributos urbanos, naturais e institucionais simultaneamente e em vários níveis de intensidade, representando tanto atração quanto resistência à urbanização. As regras de transição, em CA, são os elementos

---

<sup>3</sup> Desenvolvido no Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas

que determinam a dinâmica dos sistemas. No *CityCell*, correspondem a modelos de crescimento urbano que vão atuar sobre o ambiente definido a partir dos atributos (SARAIVA, 2013).

Após conhecidos os atributos naturais, urbanos e institucionais iniciais, realiza-se uma etapa de processamento preliminar, a partir disto são calculadas as tensões espaciais, o potencial de crescimento celular e o crescimento celular propriamente dito (POLIDORI, 2004).

Polidori (2004) explica que as tensões podem ser geradas incluindo todas as células com todas as outras ou mediante raios, limitando fisicamente as tensões a serem geradas. O resultado é um produto a ser distribuído para as células do sistema por três modos. Estes modos ou tipos de distribuição são implementados pelo usuário do modelo, em percentagens que variam desde zero até 100%, podendo ser resumidos no seguinte: A) distribuição axial; B) distribuição polar e C) distribuição difusa.

A distribuição axial é dedicada a capturar as rotas preferenciais de ligação entre as células do sistema, estando associada ao sistema de circulação urbana e sendo dividida em dois grupos: A1) referente às células do caminho preferencial propriamente dito; A2) referente às células encontradas na vizinhança do caminho preferencial. A distribuição polar evidencia a diferenciações espaciais na escala mais local, no entorno imediato do atributo gerador de tensões. E, por fim, a distribuição difusa pretende capturar aspectos com mais imprevisibilidade locacional no tecido urbano, porém especificável segundo dois padrões: C1) referente à promoção imobiliária formal, e C2) referente aos processos de autopromoção imobiliária e promoção imobiliária informal (POLIDORI, 2004).

Atualmente, o software possui as seguintes regras implementadas (POLIDORI, 2004; PERES, 2010; TORALLES, 2013):

a) *Threshold Potential* e *Free Potential*, assumem a medida de centralidade como indicador de qualidade locacional, sendo o potencial de desenvolvimento de cada célula derivado da diferença entre a centralidade da célula e a centralidade máxima em sua vizinhança. No modelo *Threshold Potential*, problemas ambientais são registrados pela superação de limiares de crescimento urbano e superados pelo próprio processo de urbanização. Na versão *Free Potential*, limiares de crescimento são desconsiderados e, conseqüentemente, problemas ambientais não são registrados;

b) *Threshold Reload* e *Free Reload*, assumem como potencial de crescimento as diferenças entre o carregamento urbano de cada célula e o maior carregamento urbano encontrado em sua vizinhança, eliminando o componente de grafo do modelo representado pela medida de centralidade. A versão *Threshold Reload* registra problemas ambientais cada vez que o crescimento urbano supera determinados limiares, o que não ocorre na versão *Free Reload*;

c) *Environmental Percolation*, baseada em processos naturais de percolação, simula o crescimento dos atributos naturais através da passagem de atributos entre células adjacentes;

d) *WaterLand Factor*, dedicada a estudos da dinâmica do crescimento urbano articulado aos atributos da hidrografia. Funciona como um mecanismo adicional de autoparametrização iterativa à regra *Threshold Potential*, simulando mudanças no modo de crescimento da cidade a partir da alternância entre movimentos de compactação e fragmentação da forma urbana;

e) *Periurban Growth*, dedicada a estudos sobre a formação de núcleos urbanos periféricos, tanto derivados da atuação do mercado formal e destinados à população de alta renda, quanto derivados da ocupação informal de áreas periféricas pela população de baixa renda.

O *CityCell* apresenta resultados de simulação em forma de *grids* e de tabelas. Os dados gráficos podem ser considerados os principais tipos de resultados, pois possibilitam a análise da dinâmica urbana e da morfologia da cidade resultante do processo de crescimento simulado. Além disso, os *grids* podem ser transportados para sistemas de geoprocessamento, possibilitando a realização de operações avançadas de análise espacial (SARAIVA, 2013).

Simulações de crescimento urbano baseadas no modelo SACI (*software* antecessor e base para o desenvolvimento do *CityCell*) e *CityCell* foram realizadas com sucesso em pesquisas acadêmicas e como ferramenta auxiliar no processo de planejamento em cidades como Pelotas (POLIDORI, 2004), Santa Maria (SAURIM, 2005), Santa Vitória do Palmar e São Lourenço do Sul, no Rio Grande do Sul, e Balcarce, na Argentina (POLIDORI, 2010). Além desses, há estudos dedicados à dinâmica urbana articulada à morfologia dos recursos hídricos (PERES, 2010) e à formação de periferias urbanas (TORALLES, 2013), expandindo as possibilidades de uso do modelo.

## 2.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTO ECONÔMICO

Grande parte dos desastres naturais ocorre na interface entre o oceano e os continentes. Estes desastres devastaram comunidades inteiras, do Haiti ao Japão deixando rastro de fatalidades e perdas econômicas da noite para o dia, aumentando as preocupações sobre o aquecimento global (BANCO MUNDIAL, 2013).

Apesar do nome, desastre natural não é um evento natural. Os sistemas humanos e naturais são afetados por perigos naturais, tais como: terremotos, tempestades, furacões, enchentes, secas, deslizamentos de terra, ondas de calor e de frio. Se o evento afeta o sistema humano e causa consequências negativas suficientemente grandes para este sistema, o evento pode ser chamado de desastre natural. Porém, o desastre ocorre apenas quando há uma conjunção entre o evento natural (o perigo) e o sistema humano, levando para consequências negativas. O que é chamado de desastre natural é acima de tudo um evento social e humano. (BANCO MUNDIAL, 2013).

A zona costeira é reconhecida pelas empresas seguradoras como a região geográfica de maior risco, pois, como interface entre oceano, atmosfera e litosfera, está sujeita a consequências de eventos extremos nesses três domínios. No caso de mudanças climáticas, adicionam-se a esse risco inerente, novos padrões ambientais, sobre os quais existem grandes incertezas sobre sua evolução (ROSMAN, 2009).

Os efeitos das mudanças climáticas, bem como desastres em larga escala regularmente afetam, e afetarão com mais frequência todo o globo, tanto países desenvolvidos, como os em desenvolvimento. Após a ocorrência destes eventos, companhias de seguro e instituições internacionais publicam várias avaliações sobre os custos dos desastres. Entretanto, estas avaliações possuem diversas metodologias, e chegam a resultados diferentes (HALLEGATE & PRZYLUSKI, 2010).

As tipologias para impactos de desastres usualmente levam em conta dois tipos de perda, as diretas e as indiretas. As perdas diretas são as consequências imediatas de um desastre, como a inundação, ventos fortes e seca (HALLEGATTE, 2013). Exemplos destas perdas são os destelhamentos, carros destruídos, rodovias

prejudicadas, e mortes causadas por afogamentos. As perdas econômicas diretas podem ser estimadas a partir do custo de reparação ou substituição dos ativos que foram danificados ou destruídos. Estas perdas podem ser classificadas como perdas diretas do mercado (de bens que podem ser comprados do mercado, tal como: carros e edifícios) e perdas diretas não mercadológicas, o que não pode ser comprado em um mercado, como: vidas humanas e o ecossistema (HALLEGATE, 2008).

As perdas indiretas incluem todas as perdas que não são provocadas propriamente pelo desastre, mas em suas consequências. Estas perdas persistem por um período e alcance maior do que o desastre, afetando vários setores econômicos (HALLEGATTE, 2013). Exemplos de perdas indiretas são a interrupção de negócios, distúrbios na cadeia logística, perda de trabalho ocasionando perda da demanda e impacto na população pobre.

Estes custos podem ser definidos como a redução na produção de bens e serviços medidos em valor agregado (VA). Valor agregado é o valor dos bens produzidos na economia, com os custos de matérias primas já deduzida (HALLEGATTE, 2008).

Um exemplo utilizado por Hallegatte et. al (2008) é, caso uma fábrica de 100 milhões que foi destruída e imediatamente reconstruída, a perda total seria de 100 milhões. Porém, se a construção atrasar por um ano, o total de perdas será a soma da reconstrução (custo direto) e do valor agregado de um ano de produção (custos indiretos).

Para Rose (2004), as perdas indiretas de desastres naturais podem ser superiores aos custos diretos por duas razões. Primeiro, as perdas indiretas podem afetar empresas e consumidores que não são diretamente afetadas pelo evento. As empresas que não sofreram diretamente terão que reduzir a produção, caso o fornecimento de matérias prima seja interrompida ou as pessoas diretamente afetadas diminuam o consumo. Conseqüentemente, os reflexos de apenas um evento de grande escala podem se espalhar por toda a economia nacional. Segundo, as perdas indiretas são capazes de capturar a dimensão de tempo de um desastre, pois elas são o reflexo do impacto inicial. A escala das perdas indiretas e o tamanho da perturbação na economia vão depender do estado pré-existente da economia, bem como da capacidade dos indivíduos, empresas e mercados em se adaptar aos impactos do evento.

A habilidade do sistema econômico recuperar-se e reconstruir-se é chamada de resistência macroeconômica. O Banco Mundial (2013) sugere que uma comunidade com mais resiliência é aquela que possui regimento legal favorável, possui capacidade organizacional, possui voz, transparência, e quando os bens e serviços públicos complementares são fornecidos, incluindo aqueles que os ligam com outras comunidades.

Os legisladores focam principalmente no sofrimento humano e danos físicos (impactos diretos). Existe uma tendência de negligenciar os impactos indiretos subsequentes ao desastre. Todavia, os impactos diretos são apenas parte limitada das consequências do desastre (WU et al., 2012).

O impacto econômico de um desastre na economia regional é complexo. A maior parte dos modelos possuem dificuldades em modelar a resposta econômica devido a um desastre. Um exemplo de Wu et al. (2012), mostrou que o prejuízo e interrupção da indústria de *chips* em um distrito industrial em decorrência de um terremoto em Taiwan em 1999, levou à diminuição na oferta mundial de *chips*, aumentando seu preço.

Este aumento de preços é chamado de efeito de aumento da demanda. Em desastres naturais existe aumento na demanda por trabalho e materiais, o que faz com que ocorra aumento significativo nos preços, o que deve ser levado em consideração na previsão de impactos econômicos (DÖHRMANN, MARC e HIBBLEN, 2013).

Um desastre pode levar à extinção permanente de determinada atividade econômica vulnerável na região. Neste caso, o desastre não é um evento temporário, mas permanente e negativo. Por outro lado, a reconstrução pode ser utilizada para desenvolver novos setores econômicos (HALLEGATTE e PRYZLUSKI, 2010).

Desta forma, a avaliação e modelagem econômica das mudanças climáticas têm sido fundamental para identificar e quantificar a escala de danos futuros, e guiar estratégias de mitigação e adaptação para diversos núcleos urbanos. A avaliação econômica é uma ferramenta importante, pois fornece base conceitual e técnica para políticas de mudanças climáticas (JENKINS, 2011).

### 2.4.1. Eventos de enchentes recentes

A maior barreira para estimar impactos econômicos e sociais de desastres climáticos são dados consistentes e confiáveis. Desta forma, para obter projeções confiáveis das perdas devido às mudanças climáticas, é essencial obter bom entendimento dos impactos de eventos históricos (CHANGNON, 2003). Dados quantitativos de impactos passados causados por climas extremos podem ser utilizados para guiar projeções de impactos futuros.

Vilier et al. (2014) levantou grandes e recentes cheias no mundo. Dentre elas estão Nova York devido ao furacão Sandy em 2012, o tsunami no Japão em 2011, cheias nos rios na Tailândia também em 2011, e a enchente em Nova Orleans devido ao furacão Katrina em 2005.

No Brasil, Pereira Filho et. al. (2009) estimou o impacto econômico do furacão Catarina em 2004, o qual atingiu o sul do estado de Santa Catarina. Este furacão ocorreu em um evento climático muito raro. Começou com as características de um ciclone extratropical, e posteriormente adquiriu as características de um ciclone tropical, atingindo a categoria 2 de força na escala de Saffir-Simpson. A metodologia apresentada por este autor para o cálculo dos impactos econômicos não foi apresentada.

Na TABELA 3 estão expressas as perdas em bilhões de dólares e em comparação com o Produto Interno Bruto (PIB). No Japão e Tailândia foram comparados com o PIB do próprio país. Já os furacões foram comparados com o PIB dos estados atingidos nos Estados Unidos.

TABELA 3 – PERDAS MATERIAIS EM DIVERSOS EVENTOS.

<b>Evento</b>	<b>Dano Material (bilhões de dólares)</b>	<b>% relação ao PIB</b>
Furacão Katrina* (EUA)	30,0	15,4
Cheias na Tailândia*	21,0	6,0
Furacão Sandy* (EUA)	70,0	3,7
Tsunami Japão*	205,0	3,6
Furacão Catarina**	0,5	0,65

FONTE: \*Vilier et. al, 2014. \*\*Pereira, 2009.

Hanson et al. (2010) elaborou um estudo sobre os possíveis futuros impactos econômicos devido às mudanças climáticas nas 136 maiores cidades portuárias por enchentes para a década de 2070. O ranking com os maiores prejuízos no Brasil e do mundo está apresentado na TABELA 4.

TABELA 4 - POPULAÇÃO EXPOSTA E O DANO DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A DÉCADA DE 2070.

<b>Cidade/Região</b>	<b>População exposta</b>	<b>Dano (bilhões de dólares)</b>
Salvador/Brasil	24.000	3,5
Rio de Janeiro/Brasil	268.000	38,94
Porto Alegre/Brasil	79.000	11,54
Miami/EUA	4.795.000	3.513,04
Guangzhou/China	10.300.000	3.357,72
Nova York/EUA	2.931.000	2.147,35

FONTE: adaptado de Hanson et. al, 2010

De acordo com a *World Meteorological Organization* (WMO, 2014), dentre o total de desastres naturais ocorridos entre os anos de 1970 e 2012 no mundo, 44% foram eventos de enchente, ou em números absolutos foram 8.887 cheias. As perdas econômicas dos desastres das enchentes somam um total de 759 bilhões de dólares.

Ainda segundo o WMO (2014), na América do Sul os números relativos a enchentes subiram, 57% de todos os desastres estão relacionados ao clima com 45,2 bilhões de dólares de prejuízo. No Brasil os desastres devido ao clima que mais geraram perdas econômicas foram as secas e as enchentes.

#### 2.4.2. Avaliação de impacto econômico indireto

O modelo *Adaptive Regional Input-Output* (ARIO) foi desenvolvido por Hallegate (2008) para analisar os impactos indiretos na economia devido a desastres.

O ARIO partiu da análise Insumo-Produto (I-P) desenvolvida por Leontief num modelo empírico da economia dos Estados Unidos da América em 1931. Desde então, este modelo tem sido objeto de estudos que permitiram a sua aplicação na resolução de vasta gama de problemas no âmbito da macro e da microeconomia (MILLER e BLAIR, 2009).

Segundo Jenkins (2011), a análise de I-P é uma das principais ferramentas para avaliar os custos indiretos causados repentinos choques na economia. Esta análise já foi utilizada em diversos estudos de caso para calcular o custo de desastres naturais e em eventos de clima extremo.

A maioria dos países industrializados dispõe de matrizes I-P que servem de complemento às suas estatísticas do Sistema de Contas Nacionais e que são de imprescindível ajuda à realização de planos de desenvolvimento macroeconômico (HENRIQUES, 2008).

A Comissão Europeia, através da Direção Geral de Pesquisa possui o *7th Framework Programme*, onde é desenvolvido o projeto do Banco de Dados Mundial de Insumo-Produto (WIOD). O WIOD fornece tabelas de I-P para quarenta países do mundo, incluindo o Brasil, cobrindo um período de 1995 a 2011 (WIOD, 2014).

Muitos autores já se utilizaram do modelo ARIO para calcular o impacto econômico devido a desastres ambientais. Dentre os mais importantes estão Hallegatte que avaliou os custos econômicos devido à passagem do furacão Katrina (2008) e o mesmo autor (2011b) avaliou os impactos econômicos devido às mudanças climáticas em Copenhague. Ranger et al. (2010) utilizaram o modelo ARIO para avaliar o impacto econômico devido ao risco de enchente em Mumbai causado pelas mudanças climáticas. Jenkins (2011) utilizou o ARIO para modelar as consequências econômicas da seca na Espanha devido às mudanças climáticas. Wu (2012) estimou os impactos econômicos indiretos do terremoto Wenchuan de 2008. Vilier et al. (2014) fizeram uma comparação entre os modelos ARIO e *Hoogwater Informatie Systeem – Schade en Slachtoffer Module (HIS-SSM)* para avaliar as perdas causadas por enchentes em grande escala na Holanda.

O modelo ARIO considera as perdas devido à interrupção dos negócios. Uma simplificação do modelo foi apresentada por Vilier et al. (2014), conforme a FIGURA 9. Os danos materiais (perdas diretas) são entradas do modelo, estes danos possuem duas consequências para o modelo. A capacidade de produção é reduzida, pois as instalações necessárias foram danificadas. Por outro lado, a

demanda total aumenta, pois os danos precisam ser reparados. Isto aumenta a demanda para as empresas de fabricação e construção civil. O total da demanda e da capacidade de produção determina a produção atual. A demanda total, basicamente é reflexo do que a sociedade quer que a economia produza, e a capacidade de produção determina o quanto do produto desejado pode ser produzido.

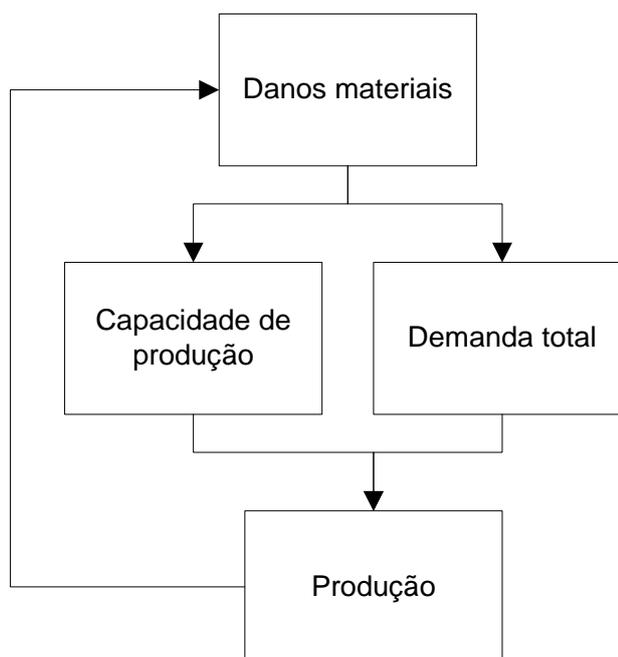


FIGURA 9 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO MODELO ARIO  
 FONTE: adaptado de VILLIER ET AL., 2014

Nos primeiros momentos após o desastre a capacidade de produção é menor do que a demanda total. Parte da produção será utilizada por consumidores locais, parte será exportada e a parte final será utilizada para reparar o material danificado. Com isto, o material danificado tende a reduzir, ocasionando aumento da capacidade de produção e conseqüentemente a demanda total reduz. Este ciclo continua até que todos os danos materiais sejam reparados e a economia retorne à condição pré-desastre (HALLEGATTE, 2011b).

A economia local considerada pelo modelo consiste em um grande número de moradias que consomem, e um número  $N$  de indústrias, do qual (1) trocam bens de consumo e serviços intermediários (matérias primas das indústrias para produção de bens), (2) importam bens e serviços fora da região, (3) produzem bens e serviços finais para a demanda local, e (4) exportam bens e serviços para fora da região. Assume-se que para cada indústria  $i$ , é produzido uma única mercadoria, a qual

precisa de entradas de todas as outras indústrias para poder continuar com seu processo de produção. Durante o desastre natural assume-se que serão destruídas moradias e indústrias (HALLEGATTE, 2008).

#### 2.4.2.1. Modelagem de um desastre no ARIO

De acordo com Hallegatte (2008), no ARIO é considerado que o desastre ocorre no  $t = 0$ , e causa um dano  $\bar{D}$  (custo direto), do qual consiste em capital produtivo das empresas e na moradia e equipamentos dos habitantes. Já a tabela I-P faz a ligação entre a produção de cada setor industrial  $i$  com a demanda, do qual consistem em consumos intermediários por outras indústrias, a demanda local final, exportações e necessidades de reconstrução. A partir do desastre e da tabela I-P, é calculado com passos de um dia, a produção e consumo de cada indústria.

Cada setor industrial pode se mostrar incapaz de produzir o suficiente para satisfazer a demanda, devido que a sua própria capacidade de produção é insuficiente, ou porque outras indústrias são incapazes de providenciar a quantidade necessária de entradas para o processo produtivo. No caso de gargalos de produção na indústria  $i$ , é necessário descrever como seus clientes serão afetados. Se uma indústria não puder satisfazer a demanda total, o consumo intermediário para outras indústrias são servidos prioritariamente. O consumo das famílias é racionado antes do consumo intermediário, pois as relações empresa-para-empresa são na maioria das vezes mais fortes do que relações empresa-para-família e também uma empresa frequentemente favorece seus clientes empresariais do que as famílias (HALLEGATTE, 2008).

A capacidade de produção de cada indústria é considerada igual à observada na matriz I-P antes do desastre. Depois do desastre, a capacidade de produção diminui num valor relacionado à quantidade de danos que cada setor industrial sofre, e pode ser aumentada devido à capacidade de superprodução (HALLEGATTE, 2008).

O modelo também prevê algumas adaptações dos envolvidos. Após um desastre os sistemas econômicos possuem certas flexibilidades. Os consumidores podem retardar seu consumo ou ajustar seu consumo de acordo com a produção

disponível. As empresas podem obter seus suprimentos fora da região afetada para substituir seus fornecedores afetados. Processos industriais podem ser modificados para lidar com a escassez de algumas matérias primas. Ainda sobre a adaptação após o desastre, falhas na produção irão levar os consumidores a atrasarem seus pedidos ou voltar-se para outros produtores localizados fora da região afetada. Entretanto, nem todos os setores industriais possuem esta flexibilidade, um exemplo é que não é possível substituir um fornecedor de eletricidade ou de transporte local. Desta forma, o ARIO possui distinção entre os setores do qual é possível substituir os produtores locais por externos, e os setores que a substituição não é possível. Do mesmo modo, as empresas locais irão procurar fornecedores externos se as indústrias locais não puderem produzir o suficiente (HALLEGATTE, 2014).

Para quantificar e traduzir os cenários descritos são necessários alguns parâmetros de entrada para o modelo. Os parâmetros de comportamento são: (1) parâmetros de superprodução, (2) parâmetros de adaptação e (3) respostas a demanda e oferta. Para a calibração destes parâmetros devem-se buscar dados referentes a desastres similares pretéritos.

Os parâmetros de superprodução são:

- Capacidade de superprodução ( $\alpha^{max}$ ) - o máximo que o setor industrial pode produzir em caso de necessidade.
- Tempo para superprodução ( $\tau_{\alpha}$ ) - tempo para atingir esta capacidade de superprodução.

Os parâmetros de adaptação são:

- Demanda final local adaptada ( $\tau_{LFD}$ ) – descreve o quão rápido os clientes podem obter seus produtos de fora da região afetada.
- Demanda de exportação adaptada ( $\tau_E$ ) - quão especializada é a região e quão flexíveis são os clientes e empresas externas.
- Duas variáveis para adaptação de consumo intermediário ( $\tau_A^{\downarrow}$  e  $\tau_A^{\uparrow}$ ) – o quão rápido as indústrias podem mudar para outros produtores quando seus fornecedores são incapazes de satisfazer sua demanda, e tempo que estas indústrias retornam para seu fornecedor inicial quando sua capacidade de produção retorna para níveis aceitáveis.

Os parâmetros de respostas à demanda e oferta são:

- Elasticidade da demanda ( $\varepsilon$ ) - como a demanda e exportação local final diminui enquanto que os preços aumentam.
- Dinâmica dos preços ( $\gamma_p$ ) - o quão flutuante são os preços.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada nesta pesquisa foi adaptada de Hallegatte (2011a). A FIGURA 10 ilustra as etapas metodológicas que foram realizadas para cumprir com os objetivos do estudo.

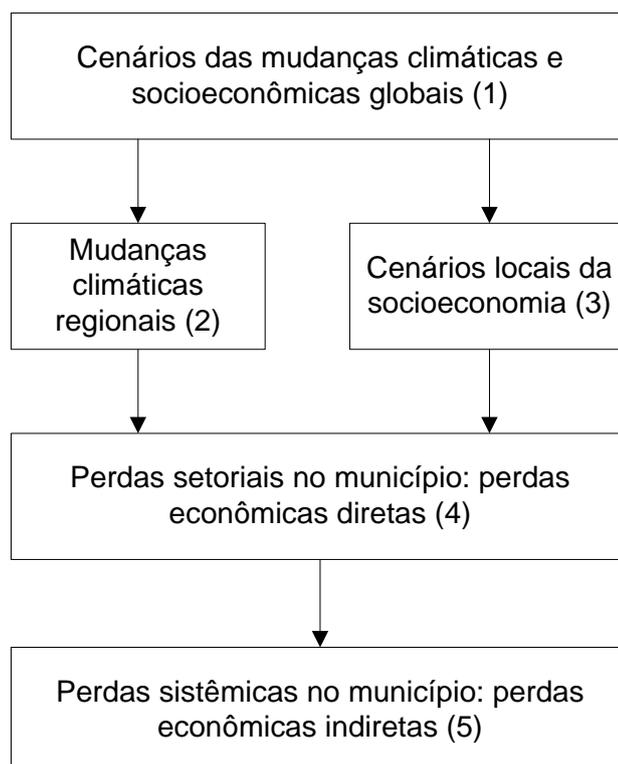


FIGURA 10 - COMPONENTES DA METODOLOGIA PARA AVALIAR OS IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As etapas da metodologia foram (1) buscar na literatura quais foram os cenários físicos e socioeconômicos frente às mudanças climáticas em escala global, (2) traduzir estes cenários globais das mudanças climáticas físicas para a escala regional, (3) bem como os cenários socioeconômicos. A partir do entendimento destes cenários foram avaliadas as perdas econômicas (4) diretas e (5) indiretas localmente.

Neste estudo o impacto da mudança climática em análise foi a elevação do nível médio do mar. Desta forma, a primeira etapa da metodologia foi realizada com a apresentação da revisão da literatura, no qual foram levantadas pesquisas sobre a elevação do nível médio do mar globalmente.

A etapa 2, mudanças climáticas regionais, traduziu o cenário de elevação do NMM para uma escala regional, ou seja, foi realizado o mapeamento do aumento do NMM para Florianópolis para o ano de 2100.

A etapa 3, cenários locais da socioeconomia projetou o crescimento urbano (mancha urbana e crescimento populacional) para Florianópolis para o ano de 2100, também com base no cenário socioeconômico global.

As etapas 4 e 5 estimou o impacto econômico da elevação do NMM para Florianópolis para 2100 com base nos cenários das etapas 2 e 3. A etapa 4 focou no impacto econômico direto, enquanto que a etapa 5 estimou o impacto econômico indireto. Cada uma destas etapas está detalhada nos itens a seguir.

Todos os dados utilizados nesta pesquisa estavam disponíveis sem custos. Sendo assim, esta mesma metodologia pode ser aplicada para diversos municípios costeiros do Brasil. Para melhores resultados, podem ser levantados dados mais precisos.

No QUADRO 2, foi elaborado um resumo da metodologia, com as etapas, principais informações obtidas e softwares utilizados.

<b>Etapa</b>	<b>Informação Obtida</b>	<b>Software</b>
Mapeamento da elevação do NMM (2)	Abrangência do aumento do NMM em 2100	SIG
Modelagem da expansão urbana (3)	Mancha urbana em 2100	Citycell
Crescimento populacional (3)	População de Florianópolis em 2100	Excel
Estimativa do impacto econômico direto (4)	Custo do impacto direto	SIG
Estimativa do impacto econômico indireto (5)	Custo do impacto indireto	Mathlab - ARIO

QUADRO 2 - RESUMO DA METODOLOGIA UTILIZADA

### 3.1. MAPEAMENTO DO AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

Esta etapa refere-se à tradução da elevação do nível médio do mar a partir de um cenário global, para a escala local, ou seja, o município de Florianópolis.

Apesar de existirem muitas pesquisas sobre a elevação do NMM, foi utilizada a informação, mais recente, fornecida pelo IPCC (2013a) para a criação dos cenários, de 0,98 metros (com uma taxa de elevação do NMM entre 8 a 16 mm/ano), arredondando o valor para 1 metro. As projeções do 5º relatório são maiores do que as projeções do 4º relatório do IPCC (2007), principalmente por causa da melhora na modelagem da contribuição da interação entre as geleiras e os continentes (IPCC, 2013b). Para facilitar a construção dos cenários foi utilizada taxa de elevação do NMM de 10 mm/ano.

No fluxograma da FIGURA 11, são exibidos os dados utilizados para mapear a elevação do NMM em Florianópolis para o ano de 2100 e quais foram os resultados deste mapeamento.

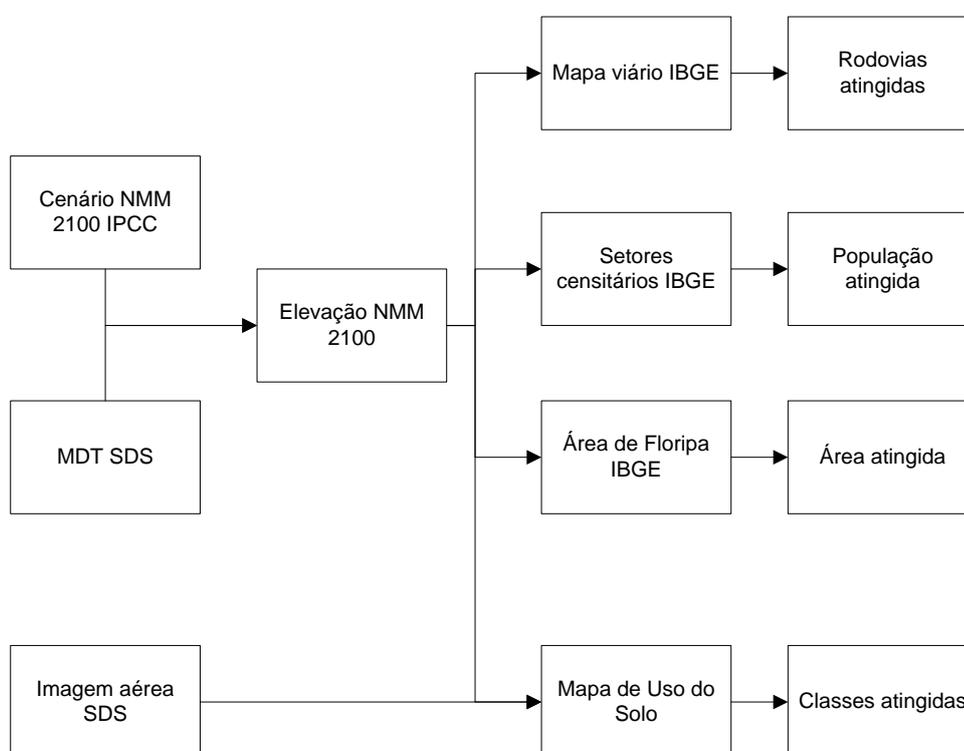


FIGURA 11 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ETAPA DE MAPEAMENTO DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR PARA FLORIANÓPOLIS NO ANO DE 2100

Para elaborar os cenários de elevação do NMM foi utilizado um modelo digital de terreno (MDT) em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Este MDT foi gerado a partir do levantamento aerofotogramétrico (SDS, 2014) realizado pelo Governo do Estado de Santa Catarina, através da Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS/SC).

O levantamento mapeou em escala de 1:10.000 o Estado durante os anos de 2010 e 2012, e um de seus produtos foi a altimetria. O MDT para o município de

Florianópolis estava em escala de 1:5.000, com resolução espacial de 1 metro, no sistema de projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), com *datum* horizontal SIRGAS2000 no meridiano central 51º e modelo geoidal EGM2008. O MDT foi tratado em um SIG, assim como todas as análises espaciais.

Após processar o MDT em formato raster, o resultado foi convertido para arquivo vetorial, a fim de facilitar a intersecção e cálculos com outras bases cartográficas. Os vetores dos setores censitários utilizados foram do IBGE, e a imagem aérea do aerolevante da SDS/SC (2014). As rodovias foram obtidas do IBGE e adequadas a partir da imagem aérea do levantamento da SDS/SC (2014) em escala 1:25.000.

Foi elaborado um mapa de uso do solo a partir da imagem aérea da SDS. A imagem de satélite foi interpretada visualmente e posteriormente validada durante trabalhos de campo. O levantamento de campo foi realizado entre os dias 27 e 28 de setembro de 2014 percorrendo a área de abrangência do mapeamento. Depois do levantamento de campo, foi realizada a versão final da interpretação da imagem e posterior cálculo de áreas de cada classe de uso do solo.

### 3.2. MAPEAMENTO E PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO E POPULACIONAL

Para que a avaliação da elevação do NMM fosse local, conforme levantado no item 3.1, nesta etapa foram construídos cenários sociais em escala local. Sendo assim, foram elaborados cenários locais para o ano de 2100, considerando a forma de expansão urbana em Florianópolis e o crescimento populacional do município.

#### 3.2.1. Expansão urbana em Florianópolis

O crescimento urbano foi realizado utilizando o modelo *CityCell* (SARAIVA e POLIDORI, 2014) desenvolvido no Laboratório de Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. Nos dias 11 e 12 de setembro de 2014 foi realizada uma visita a

este Laboratório para conhecer sobre o *CityCell* e verificar a possibilidade de aplicação neste estudo.

A modelagem obedeceu três etapas (FIGURA 12): (1) definição dos dados de entrada e processos utilizados, (2) calibração e (3) modelagem para o ano de 2100.

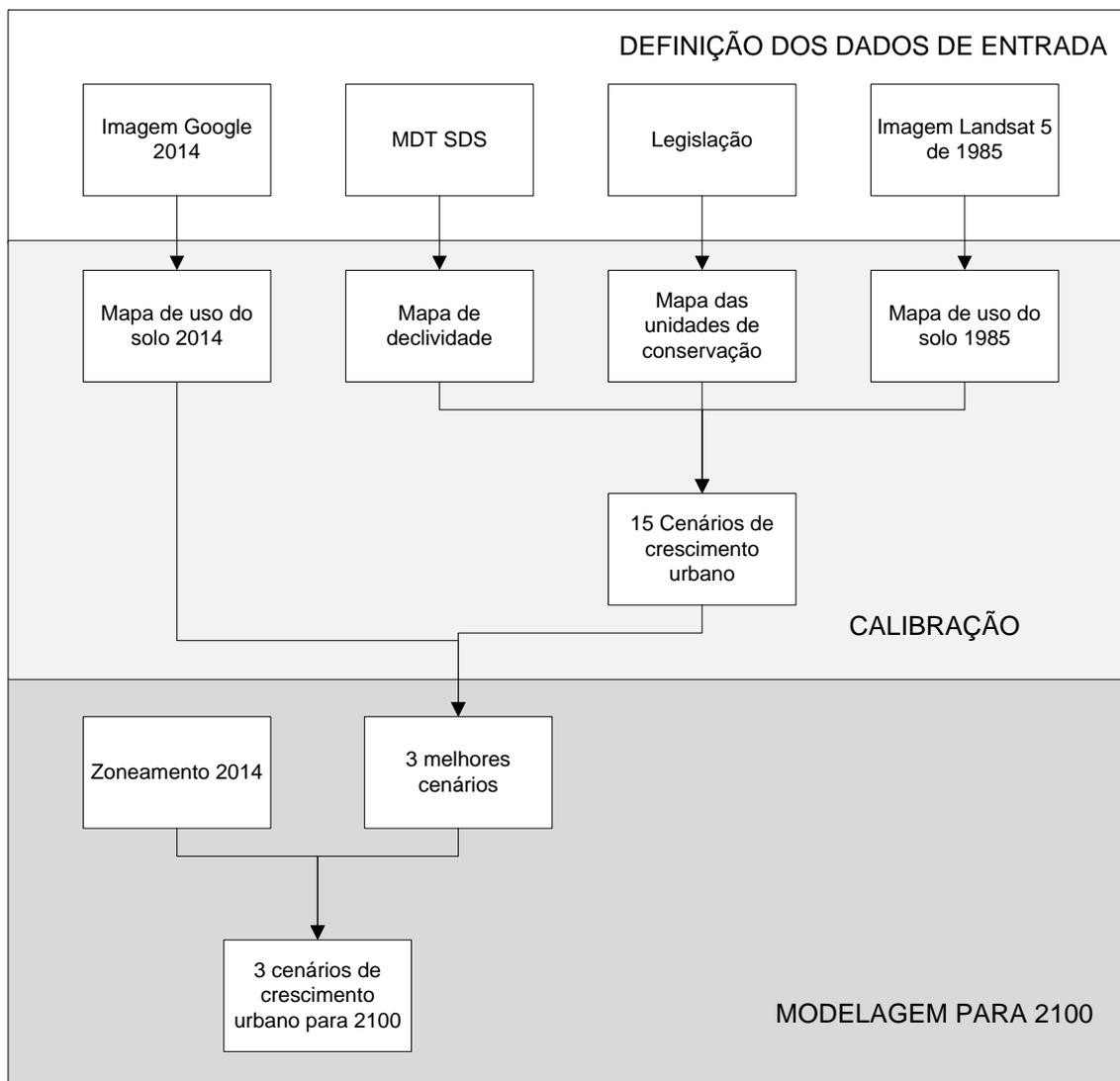


FIGURA 12 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ETAPA DE MAPEAMENTO DO CRESCIMENTO URBANO DE FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100

### 3.2.1.1. Dados de entrada e processamento

Devido à capacidade de processamento computacional limitada, foi definido o tamanho da célula (resolução espacial) de 400 metros. Neste estudo as células

assumiram 3 tipos básicos de espaço: (1) ambiente não urbanizado, dado pelo território natural e ocupado por atividades rurais; (2) ambiente urbanizado, que podem ser áreas urbanas de baixa ou alta densidade; (3) áreas institucionais, podendo ser de zoneamento ou de leis específicas.

Foram utilizadas duas imagens base de Florianópolis. A primeira do ano de 1985 do satélite Landsat 5, com composição das bandas azul verde e vermelho. A segunda imagem do ano de 2014 foi obtida através do *software Google Earth* (GOOGLE, 2013). Ambas as imagens foram georreferenciadas (*datum* horizontal WGS84, sistema de projeção UTM) em um SIG, importadas e classificadas no *CityCell*.

As classes utilizadas no programa estão discriminadas no QUADRO 3.

Nome	Descrição	Categoria	Comportamento	Peso	Mutante ou Fixa
Vias	Principais rodovias	Urbano	Atração	0,5	Fixa
Zoneamento	Zoneamento de Florianópolis	Institucional	Resistência	1	Fixa
Unidade de Conservação	Unidades de conservação existentes	Institucional	Resistência	1	Fixa
Declividade	Declividade com mínimo de 1 e máximo de 1,5	Natural	Resistência	1	Fixa
Urbano2014	Área coberta por urbanização em 1985	Urbano	Atração	1	Mutante
Oceano	Lagoas e oceano	Natural	Resistência	1	Fixa
Praia	Praias	Natural	Resistência	1	Fixa
Mangue	Mangue	Natural	Resistência	1	Fixa
Veg. Arbórea	Vegetação Arbórea e de grande porte	Natural	Resistência	1	Mutante
Urbano85	Área coberta por urbanização em 1985	Urbano	Atração	1	Mutante
Veg. Arbustiva	Vegetação arbustiva, campos e solo exposto	Natural	Resistência	1	Mutante
Dunas	Dunas fixas e móveis	Natural	Resistência	1	Fixa
Continente	Área coberta por urbanização	Urbano	Atração	1	Fixa
Random	Grid aleatório com mínimo 0,1 e máximo 1	Natural	Resistência	1	Mutante

QUADRO 3 - CLASSES DE USO DO SOLO UTILIZADAS NO *CITYCELL* DISCRIMINADAS POR CATEGORIA, COMPORTAMENTO, PESO E MUTANTE OU FIXA

Com os dados de entrada delimitados realizou-se a definição dos processos envolvidos na modelagem. A regra para o desenvolvimento do CA foi a *Threshold Potencial*, apresentada no item 2.3.3. Os valores das variáveis da regra estão explicados na sequência de acordo com cada fase da modelagem, calibração e modelagem para o ano de 2100.

### 3.2.1.2. Calibração

A calibração foi realizada através da simulação do crescimento de Florianópolis do ano de 1985 até 2014. Os dados de entrada do modelo foram descritos no item 3.2.1.1.

Para a calibração foram elaborados três cenários distintos de potencial de crescimento, e para cada um destes três cenários, mais outros 5 cenários para a forma do crescimento. Ao todo foram processados 15 cenários distintos, estes estão simplificados no QUADRO 4.

CALIBRAÇÃO								
ID	DISTRIBUIÇÃO DA TENSÃO					POTENCIAL DE CRESCIMENTO		
	A1	A2	B	C1	C2	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03
a	20%	20%	20%	20%	20%	2	1,5	1,3
b	40%	40%	10%	5%	5%	2	1,5	1,3
c	5%	5%	80%	5%	5%	2	1,5	1,3
d	5%	5%	10%	40%	40%	2	1,5	1,3
e	20%	20%	40%	10%	10%	2	1,5	1,3

QUADRO 4 - CENÁRIOS DE CRESCIMENTO UTILIZADOS PARA MODELAR O CRESCIMENTO DE FLORIANÓPOLIS DE 1985 A 2014

Estes cenários foram escolhidos devido a variável expressa pelo potencial de crescimento, do qual varia de 1,3 a 2 permitisse ajustar o valor da velocidade e intensidade de crescimento quantitativamente diferente, ou seja, quanto menor o valor, maior seria a velocidade e intensidade do crescimento, desta forma o cenário 01 cresce mais devagar do que o cenário 03.

A distribuição de tensão foi distribuída conforme padrões conhecidos de expansão urbana, do seguinte modo: A) distribuição axial; B) distribuição polar e C)

distribuição difusa. A distribuição axial é dedicada a capturar as rotas preferenciais de ligação entre as células do sistema, estando associada ao sistema de circulação urbana e sendo dividida em dois grupos: A1) referente às células do caminho preferencial propriamente dito; A2) referente a células encontradas na vizinhança do caminho preferencial. A distribuição polar evidencia a diferenciações espaciais na escala mais local, no entorno imediato do atributo gerador de tensões. E, por fim, a distribuição difusa pretende capturar aspectos com mais imprevisibilidade locacional no tecido urbano, porém especificável segundo dois padrões: C1) referente à promoção imobiliária formal, e C2) referente aos processos de autopromoção imobiliária e promoção imobiliária informal (POLIDORI, 2004).

A variação na distribuição das tensões foi adaptada de Polidori (2004), do seguinte modo: a) sem predomínio de algum tipo de distribuição (20% para todos); b) com predomínio da distribuição de tensões axiais (80% para as axiais e 10% para as demais); c) com predomínio da distribuição de tensão polar (80% para a polar e 10% para as demais); d) Com predomínio de tensões difusas (80% para as difusas e 10% para as demais); e) com predomínio das tensões axiais e polar (40% para cada e 20% para a difusa).

### *3.2.1.3. Modelagem para o ano de 2100*

O ponto de partida da modelagem foi o ano de 2014 com horizonte temporal do ano 2100 (86 anos). Os dados de entrada foram os descritos no QUADRO 3.

Sendo assim, a modelagem de Florianópolis para o ano de 2100 seguiu o melhor cenário de distribuição das tensões de cada potencial de crescimento. Ou seja, foram escolhidos três cenários, com três velocidades de crescimento distintas.

### 3.2.2. Crescimento populacional

Para complementar os dados de crescimento urbano, foi elaborada projeção para estimar o crescimento populacional. Foi utilizada a metodologia oficial do IBGE desenvolvida por Madeira e Simões (1972).

O método requer a existência de projeção populacional, que leve em consideração a evolução das componentes demográficas (fecundidade, mortalidade e migração), para uma área maior que o município, tal como a Unidade da Federação, Grande Região ou País.

O método de tendência de crescimento demográfico adotado teve como princípio fundamental a subdivisão de uma área maior, cuja estimativa era conhecida, em  $n$  áreas menores, de tal forma que fosse assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, pré-conhecida, da área maior através da soma das estimativas das áreas menores.

Para a determinação da população em dado ano  $t$ , foram adotadas as equações 1a e 1b, para a determinação dos coeficientes ( $a_i$  e  $b_i$ ) utilizou-se o período delimitado por dois Censos Demográficos.

$$P_i(t_0) = a_i \cdot P(t_0) + b_i \quad \text{EQUAÇÃO 1a}$$

$$P_i(t_1) = a_i \cdot P(t_1) + b_i \quad \text{EQUAÇÃO 1b}$$

Onde:

$P_i(t_0)$  = População da área menor no primeiro censo

$P(t_0)$  = População da área maior no primeiro censo

$P_i(t_1)$  = População da área menor no segundo censo

$P(t_1)$  = População da área maior no segundo censo

Após calcular o valor dos coeficientes  $a$  e  $b$  para determinada área, utilizou-se a equação 2 para projetar a população da área menor para o ano de interesse. No caso, a partir da aplicação do modelo descrito, foram estimadas as populações de Santa Catarina, considerando-se como área maior o Brasil, cuja projeção foi elaborada pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2011), e como área menor o estado de Santa Catarina.

$$P_i(t) = a_i.P(t) + b_i \quad \text{EQUAÇÃO 2}$$

Onde:

$P(t)$  = População estimada da área maior

$P_i(t)$  = População estimada a ser conhecida da área menor

A estimativa para o município de Florianópolis foi obtida, também, pela aplicação do modelo descrito, ressaltando-se que o município foi considerado como área menor em relação à Santa Catarina.

Foram utilizados dados dos censos de 2000 e 2010 do IBGE para a população inicial de Florianópolis e Santa Catarina.

### 3.3. ESTIMATIVA DO IMPACTO ECONÔMICO

A provável elevação do nível médio do mar deverá acarretar consequências físicas e econômicas em diversas atividades humanas. Estas consequências podem ser classificadas em duas grandes categorias: impactos de mercado, que afetam diretamente a economia e impactos fora do mercado, que afetam a vida humana e o ambiente (saúde e biodiversidade, por exemplo). Neste estudo somente foram avaliados os impactos de mercado. Dentro destes, a elevação do NMM pode ser classificada nas dimensões direta e indireta.

Conforme a metodologia deste estudo exposta na FIGURA 10, a estimativa do impacto econômico foi calculada em duas etapas, custos diretos e indiretos. As etapas metodológicas utilizadas estão ilustradas no fluxograma da FIGURA 13 e será explicada detalhadamente nos itens seguintes.

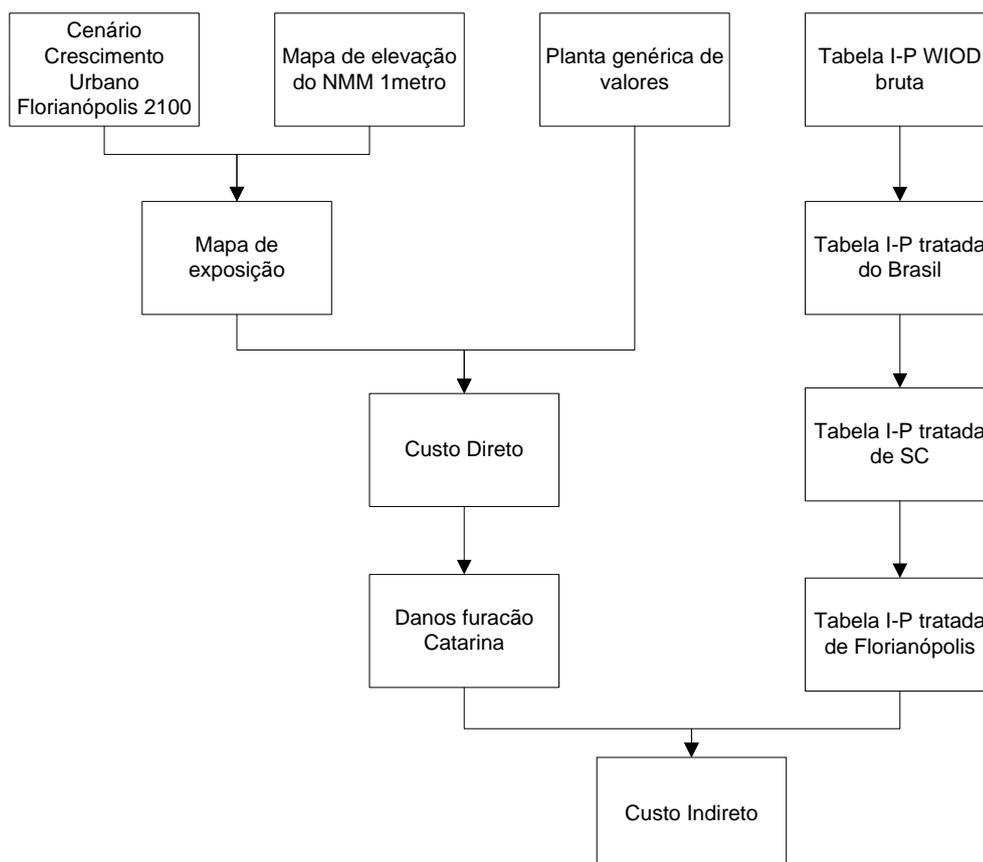


FIGURA 13 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ETAPA DE ESTIMATIVA DO IMPACTO ECONÔMICO DEVIDO AO AUMENTO DO NMM PARA FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100

As mudanças climáticas podem afetar o nível da água ao redor de Florianópolis de duas maneiras. Primeiramente através da elevação gradual do NMM, e segundo por mudanças do nível do mar devido a tempestades, por exemplo, aumento do número de ciclones tropicais, ocasionando ressacas na costa. Para fins de cálculo da estimativa do impacto econômico foi considerada a segunda forma, com a elevação do NMM como um evento único.

### 3.3.1. Custos diretos

Nesta etapa foi elaborado um mapa de exposição, o qual mostrou a distribuição espacial das propriedades na área de estudo e o cruzamento com o alcance da elevação do NMM, para estimar a exposição afetada. A distribuição

espacial da expansão urbana de Florianópolis a partir do modelo *CityCell* foi o dado de entrada para esta etapa.

Para obter a estimativa do custo direto, foi cruzado o mapa urbano modelado para 2100 com a planta genérica de valores (PGV) de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2013). O município de Florianópolis atualizou sua PGV no ano de 2013.

A planta genérica de valores foi vetorizada com base no valor do metro quadrado das principais vias e extrapolada para os bairros. O valor expresso na PGV reflete o valor de mercado do terreno e da construção que existe nele.

Desta forma, foram cruzadas três informações para obter o custo direto: (a) abrangência da elevação do NMM; (b) cenário modelado escolhido da expansão urbana de Florianópolis para o ano de 2100 e; (c) planta genérica de valores.

### 3.3.2. Custos Indiretos

A última etapa visou estimar o custo das perdas sistêmicas na economia devido a algum desastre. Para quantificar os custos indiretos do aumento do NMM em Florianópolis foi utilizado o modelo ARIO a partir do *software Matlab*. Este modelo é baseado no modelo I-P, e possui como equação (3) básica a seguinte:

$$Y = AY + C \quad \text{Equação 3}$$

A matriz A é a tabela I-P propriamente dita, o vetor Y representa o total produzido pelas indústrias, e o vetor C é a demanda total.

A matriz A foi formada pelas entradas e saídas (insumo-produto) dos setores econômicos, do qual as linhas representam as entradas e as colunas representam as saídas. Esta matriz demonstra as interações entre os setores econômicos. Ao se multiplicar a matriz A pelo vetor Y (total produzido) foi obtida a quantidade necessária de entradas e saídas utilizadas pela própria indústria para produzir bens e serviços.

No modelo ARIO foi realizada uma modificação para distinguir as entradas produzidas localmente, e que poderão sofrer com o impacto do desastre, e as entradas produzidas fora da área afetada. Desta forma as importações foram removidas da tabela I-O (HALLEGATTE, 2008).

### 3.3.2.1. *Dados de entrada*

No Brasil, o órgão oficial pela construção oficial das matrizes de insumo-produto é o IBGE. Entretanto, a última informação publicada do IBGE sobre o tema foi do ano de 2005 (IBGE, 2008). Desta forma, optou-se por obter a matriz insumo-produto do WIOD do ano de 2011 (WIOD, 2014).

Esta matriz forneceu a informação de 35 setores industriais em dólares americanos. Para inseri-los no ARIO, estes setores foram agrupados em apenas 15, sendo eles: (1) Agricultura, silvicultura, pesca e caça; (2) Mineração; (3) Utilitários; (4) Construção; (5) Fabricação; (6) Venda no atacado; (7) Venda no varejo; (8) Transporte e armazenagem; (9) Informação; (10) Finanças, seguro, imobiliária, arrendamento; (11) Serviços profissionais; (12) Serviços educacionais, de saúde e assistência social; (13) Artes, entretenimento, recreação, alojamento, serviços de alimentação; (14) Outros serviços, exceto governamentais; e (15) Governamentais.

Para a construção da matriz I-P local para Florianópolis, devido à falta de dados para o PIB por setor industrial para o município, foi elaborada uma matriz intermediária para Santa Catarina<sup>4</sup>. Para a matriz I-P de Santa Catarina, foi utilizado o PIB por setor industrial para o estado (para o ano de 2011) e a matriz I-P nacional, assumindo em cada setor industrial uma proporcionalidade entre o PIB e o consumo intermediário.

A matriz I-P de Florianópolis foi construída com base na proporcionalidade do PIB total do Município, ao invés do PIB por setor industrial, pois conforme mencionado, não existia esta informação. Mesmo para Santa Catarina, o IBGE apresentava a informação de 11 setores industriais, alguns destes setores foram divididos para formar os 15 setores necessários para o ARIO.

---

<sup>4</sup> O IBGE apenas disponibiliza o PIB por setor para os Estados

Os parâmetros de comportamento ditam como se comporta a economia frente a um evento qualquer. Apesar dos parâmetros de comportamento mudarem de acordo com a economia de cada local, foram utilizados os parâmetros padrões de acordo com Hallegatte (2008), conforme demonstra a

TABELA 5. Os parâmetros estão explicados no item 2.4.2.1.

TABELA 5 - PARÂMETROS DE COMPORTAMENTO UTILIZADOS, PARA SIMPLIFICAR FOI ASSUMIDO QUE  $\tau = \tau_A^{\uparrow} = \tau_A^{\downarrow} = \tau_{LED} = \tau_E$

Parâmetro	Valor
$\alpha^b$	100%
$\alpha^{max}$	120%
$\tau_{\alpha}$	6 meses
$\tau$	6 meses
$\varepsilon$	0,9
$\gamma_p$	0,07% por mês

Para os dados do desastre foi utilizado o resultado da avaliação do custo direto calculado no item 3.3.1. A distribuição destes danos nos setores industriais foi realizada de acordo com observações empíricas do furacão Catarina.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1.ÁREA DE ESTUDO – CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS

O povoado de Nossa Senhora do Desterro foi fundado a partir de meados do século XVII pelo vicentista Francisco Dias Velho. Em 1726 foi criada a Vila, com a denominação de Desterro, com ocupação da ilha muito lenta, ocupando praticamente apenas a porção central. A partir de 1748 iniciou-se o povoamento açoriano em Desterro, cuja ocupação foi mais intensiva e com desenvolvimento da agricultura (REIS, 2012).

A partir da consolidação do Porto do Desterro, a atividade portuária passou a ganhar maior expressão, assim como as atividades político-administrativas. Na década de 1920 o porto entrou em declínio, sendo nesta mesma década a construção da Ponte Hercílio Luz, que liga a ilha ao continente. Até a década de 1970 a economia do local estagnou, só retornando a crescer a partir desta década com o despertar do turismo na região (REIS, 2012), atividade consolidada nos dias atuais.

Foi no século XIX que a então Desterro tornou-se a capital do estado de Santa Catarina, e no final do século passado o Município recebeu o nome Florianópolis (PMF, 2014).

### 4.2. Geografia

Florianópolis situa-se no litoral de Santa Catarina, possuindo uma porção insular e uma porção continental (FIGURA 14). A Ilha de Santa Catarina é afastada da linha da costa por uma distância de até 5 km, a ilha desenvolve-se entre as latitudes 27°22' e 27°50', paralelamente ao litoral, com eixo longitudinal que mede aproximadamente 55 km na direção N-S. Está separada do continente pelas baías norte e sul, que apresentam do Estreito, onde se encontram as pontes Pedro Ivo

Campos e Colombo Salles que ligam a ilha ao continente, e onde a profundidade atinge 28 metros (REIS, 2012).

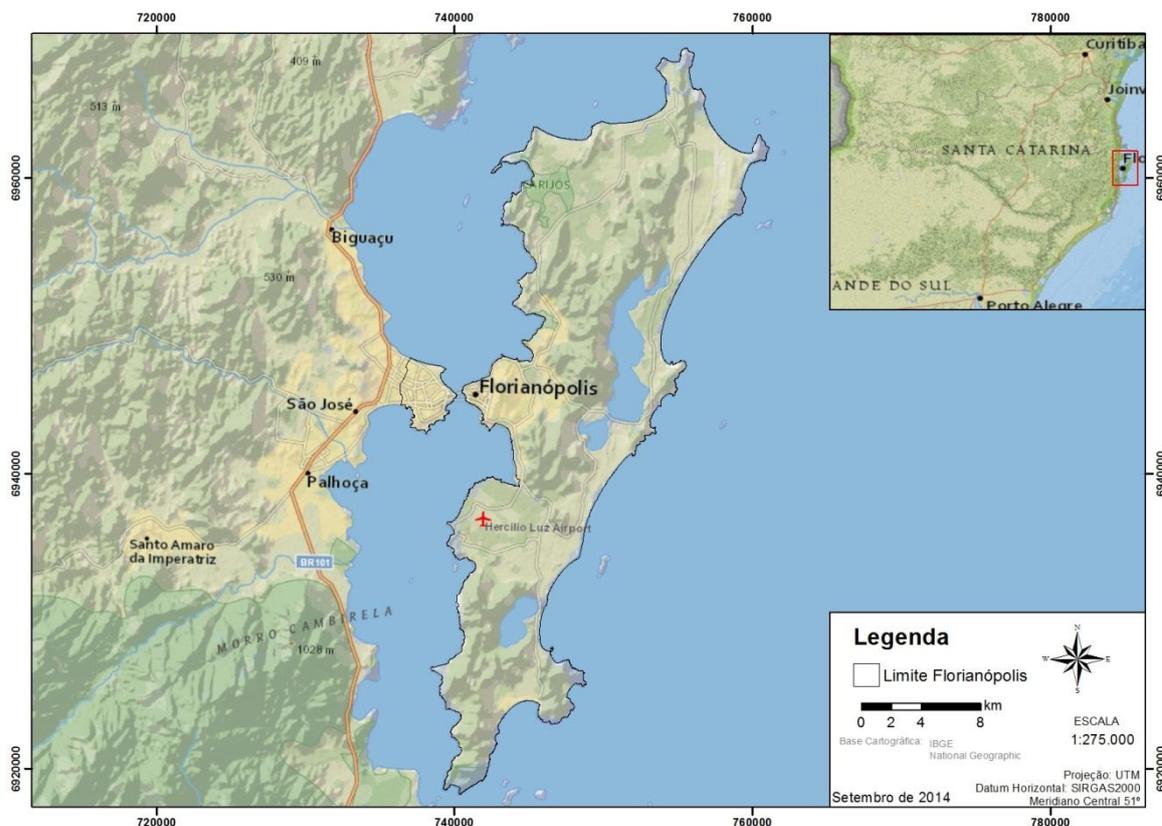


FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS.

Na ilha ao longo dos seus 174,3 km de perímetro total, há diversidade de ecossistemas costeiros, destacando-se as 117 praias arenosas, dunas, lagoas, restingas, costões e mangues (HORN, 2006a).

A formação geológica da ilha revela um processo em que grandes blocos configuraram inicialmente um arquipélago com cerca de vinte ilhas graníticas, atravessadas por diques basálticos. Estas ilhas foram posteriormente unidas por aluviões e sedimentos marinhos depositados em muitos milênios (REIS, 2012).

Conforme ilustra a FIGURA 15, a geologia é constituída por duas províncias principais, (1) o embasamento cristalino, mais antigo, representado pelas unidades litográficas Granito Ilha e Granito Imaruí-Capivari e, (2) a planície costeira, mais recente, representada pelos depósitos litorâneos (CPRM, 2004).

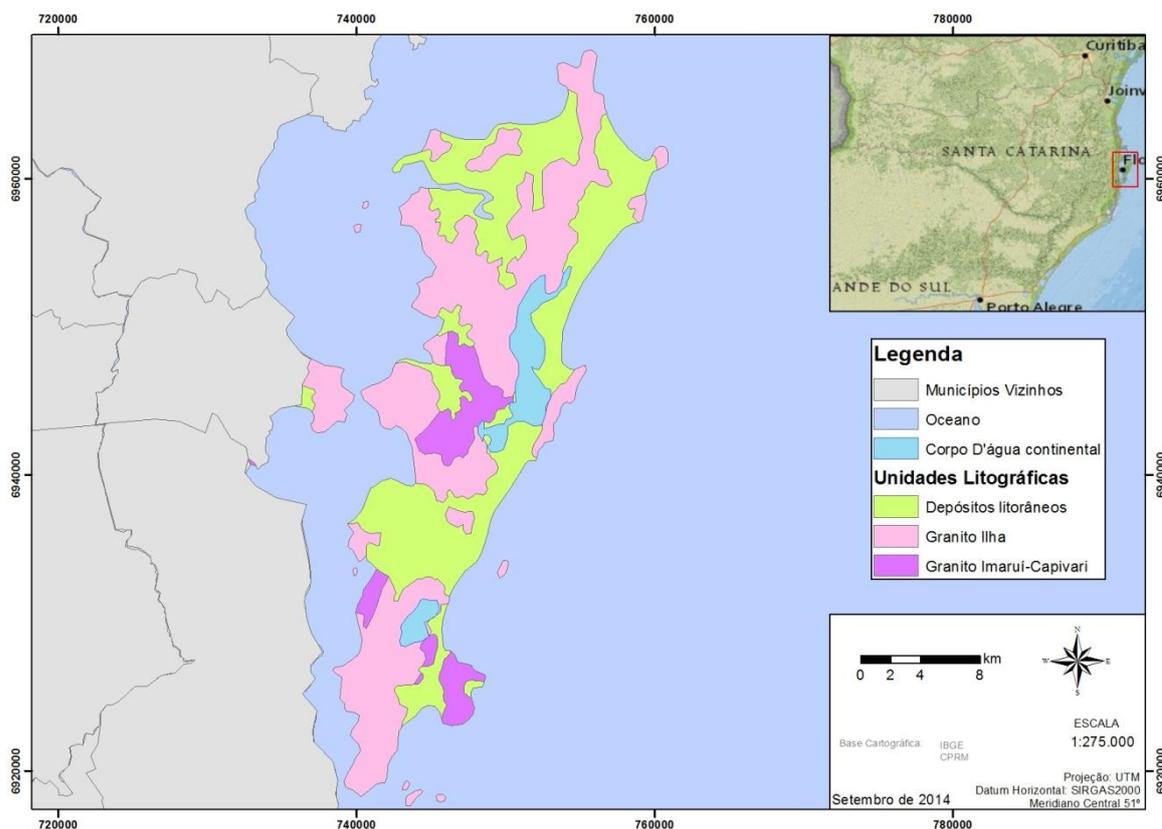


FIGURA 15 - MAPA GEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS.

A face oeste da ilha em contato com as águas tranquilas das Baías Norte e Sul, possui elevações suaves, e tem sua costa desenhada por pequenas enseadas. As várias planícies costeiras aí existentes são drenadas por bacias fluviais terminadas em pequenos estuários, com destaque para as baías do Ratoões (61 km<sup>2</sup>) e do Rio Tavares (31 km<sup>2</sup>), ambas contendo manguezais em seus baixos e médios cursos. Já a face leste, exposta ao mar aberto, às ondas oceânicas e aos ventos apresenta planícies margeadas por praias bastante extensas. Apresenta também grandes lençóis de dunas móveis ou já cobertas por vegetação (REIS, 2012).

A BR101 e a BR282 (FIGURA 16) são os principais acessos à ilha, tanto no sentido norte como sul. A BR282 encontra as pontes Pedro Ivo Campos e Colombo Machado Salles, já citadas anteriormente, com extensão aproximada de 1.250 m, que interliga o continente à ilha de Santa Catarina. As rodovias estaduais pavimentadas que servem o município são SC401, SC402, SC403, SC404, SC405 e SC406 (IPUF, 1998).

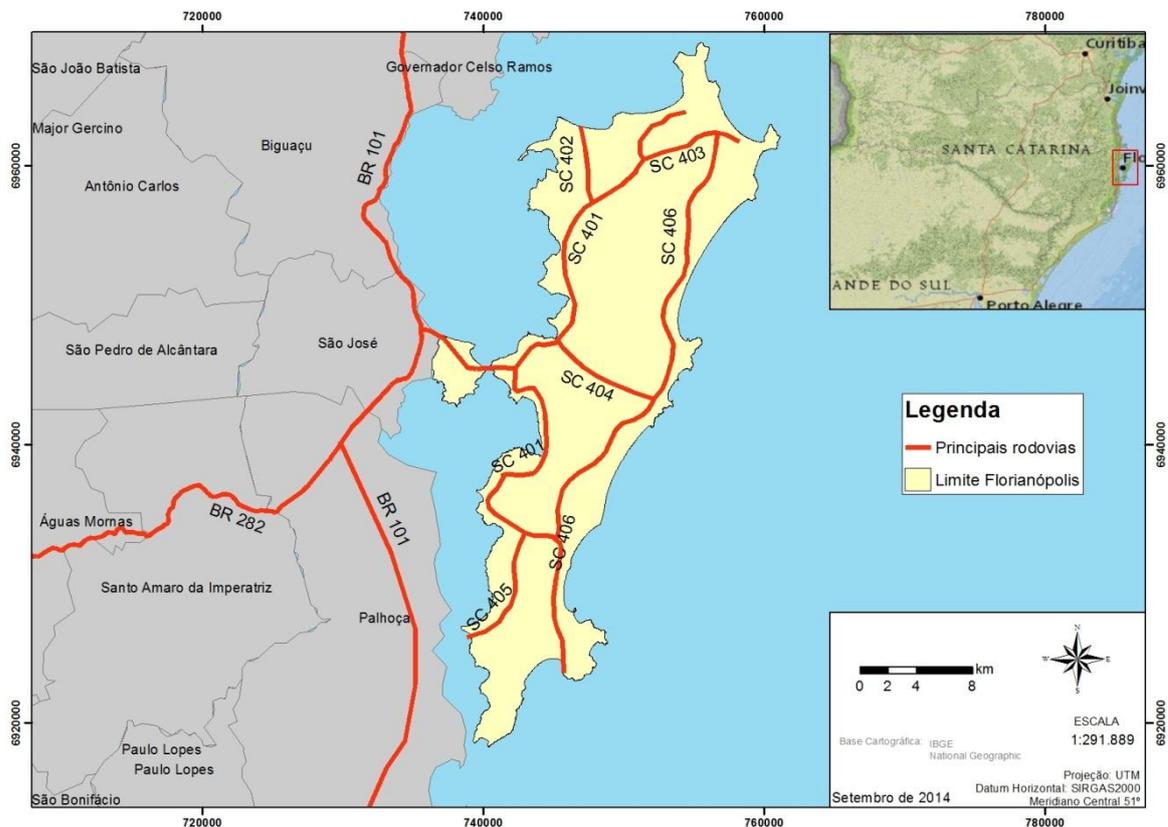


FIGURA 16 - PRINCIPAIS VIAS DE ACESSO EM FLORIANÓPOLIS

Segundo o IBGE (2014) a população estimada em 2014 era de 461.524 habitantes, e Florianópolis possui uma área territorial de 675,41 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 623,68 hab/km<sup>2</sup> em 2010. A FIGURA 17 ilustra o crescimento populacional em Florianópolis, passando de 138.337 habitantes em 1970, para 421.240 habitantes em 2010.

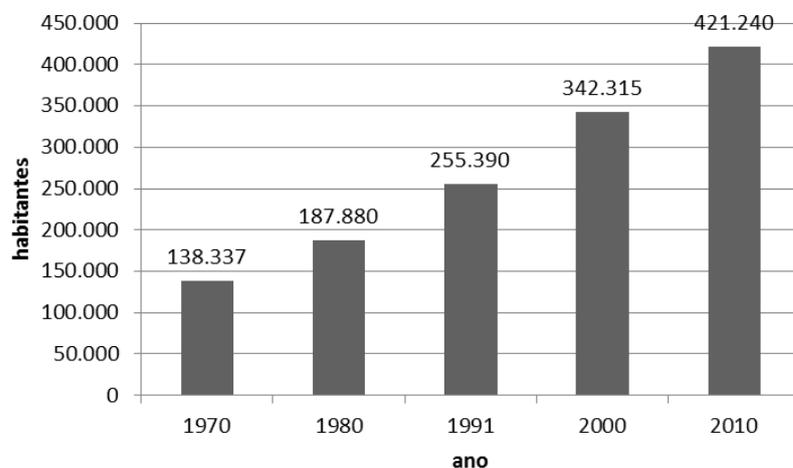


FIGURA 17 - CRESCIMENTO POPULACIONAL ENTRE 1970 E 2010 EM FLORIANÓPOLIS  
 FONTE: IBGE, 2010

### 4.3. Economia

De acordo com o IBGE (2010), 229.002 habitantes estavam economicamente ocupados. O setor econômico que mais emprega em Florianópolis é o terciário, com 200.246 pessoas (88%), sendo representada principalmente pela prestação de serviço, atividades administrativas públicas e o turismo. Já o setor primário absorve apenas 1% da mão de obra de Florianópolis (3.171 empregados), e o setor secundário com 25.587 pessoas (11%) (FIGURA 18).

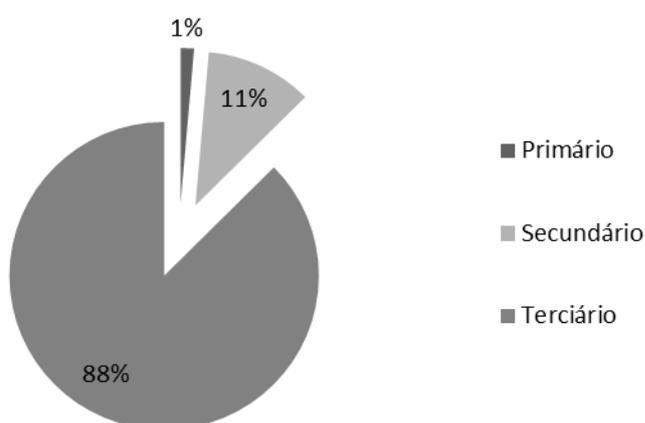


FIGURA 18 - PESSOAS COM 10 OU MAIS ANOS EMPREGADAS POR SETOR DE ATIVIDADE ECONÔMICA.  
 FONTE: IBGE, 2010

No setor terciário se destacam as atividades de comércio com 20% do total deste setor e da administração pública com 21.760 empregados (11%), demonstrando o caráter de empregos públicos da capital catarinense.

Segundo o Cadastro Central de Empresas do IBGE (2012), no ano de 2012, Florianópolis possuía 24.463 empresas, concentradas principalmente no setor terciário. As classes das empresas são demonstradas na FIGURA 19. O setor de comércio e administração pública são os setores com o maior número de empresas, que somados são 45% do total de empresas no Município.

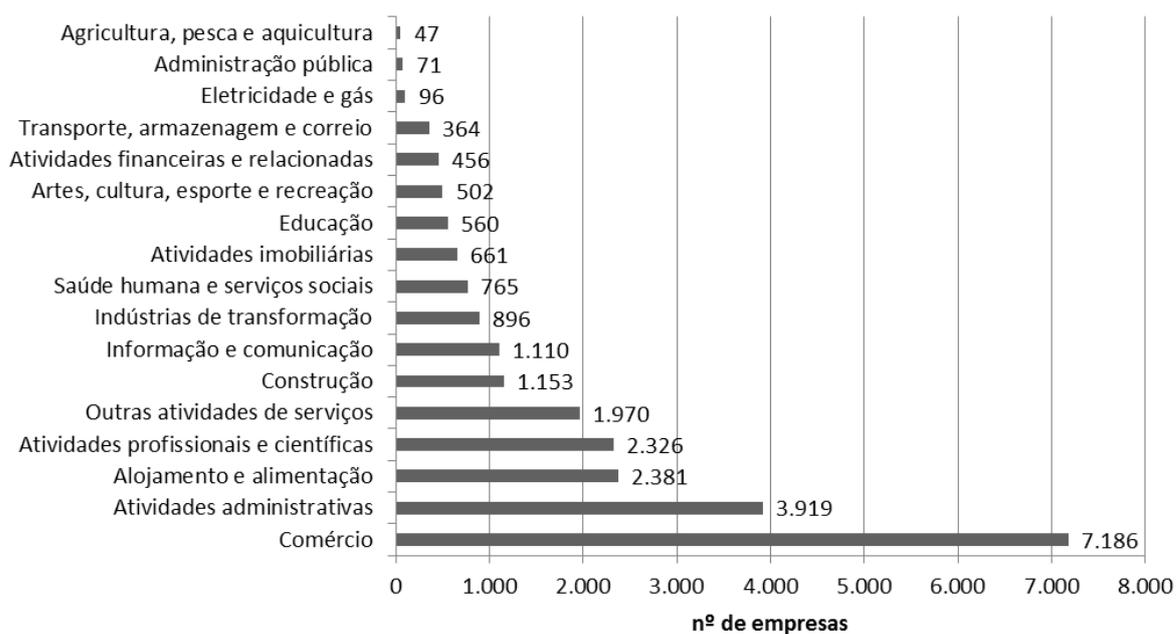


FIGURA 19 - NÚMERO DE EMPRESAS NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS POR TIPO DE ATIVIDADE.

FONTE: IBGE, 2015

A FIGURA 20 ilustra o crescimento do número de empresas em Florianópolis. Em 2011 houve queda no número de empresas, porém em 2012 este número voltou a aumentar. Associado a isso houve melhoria na economia do município, indicando o aumento progressivo do PIB municipal, que atingiu quase 12 bilhões de reais no ano de 2011, evidenciando que a queda no total de empresas não foi relevante para o declínio da economia municipal no período.

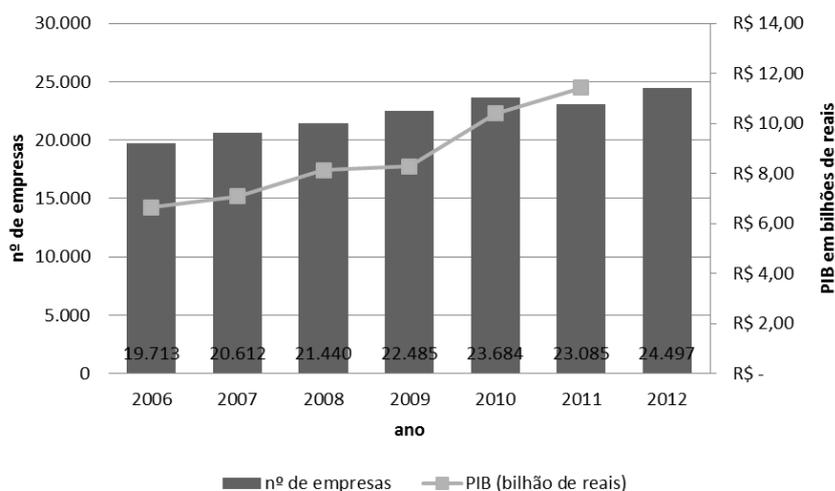


FIGURA 20 - EVOLUÇÃO NO NÚMERO DE EMPRESAS E DO PRODUTO INTERNO BRUTO DE FLORIANÓPOLIS.

FONTE: IBGE, 2010 e 2012

#### 4.4. Erosão e variabilidade do nível médio do mar

A ilha de Santa Catarina apresenta acelerado processo de urbanização devido à expansão imobiliária impulsionada pela indústria do turismo e pela migração de contingentes rurais e não rurais. Contudo, este crescimento urbano tem ocorrido de forma desordenada caracterizada por ocupações instaladas em locais inadequados como encostas, mangues, dunas e praias. Exemplo deste crescimento pode ser observado na região da Lagoa da Conceição, cuja urbanização assentou-se em ritmo acelerado sobre os depósitos da planície costeira (HORN, 2006).

Simó e Horn Filho (2004) apresentaram as principais evidências erosivas nas praias da Ilha de Santa Catarina, causadas por processos naturais (Praias da Daniela, Juererê, Santinho e Moçambique) e por processos naturais incrementados por ação antrópica (Praias do Forte, Canasvieiras, Ponta das Canas, Brava, Ingleses e Barra da Lagoa).

Mazzer (2007) analisou as variações da linha de costa em escala histórica, a partir de suas variações de longo prazo (entre décadas) e em curto prazo (entre anos) em seis praias no sul de Florianópolis. O resultado de seu trabalho está na TABELA 6.

TABELA 6 - TAXAS DE EROSIÃO EM DIVERSAS PRAIAS DE FLORIANÓPOLIS

<b>Praia</b>	<b>Taxa escala interdecadal (m/ano)</b>	<b>Taxa escala interanual (m/ano)</b>
Praia da Solidão	- 1,10	+ 0,22
Praia dos Açores-Pântano do Sul	- 0,90	- 1,15
Praia da Lagoinha do Leste	- 0,14	- 2,04
Praia do Matadeiro	- 0,01	- 3,45
Praia da Armação	- 0,52	+ 2,00

FONTE: MAZZER, 2007.

Mazzer (2007) concluiu que o processo erosivo predominava no trecho do sudeste da Ilha de Santa Catarina, demonstrando a tendência geral de erosão costeira neste segmento da linha de costa. As variações de respostas em escala interdecadal entre as praias ressaltam a influência da configuração espacial e dos

aspectos morfodinâmicos de médio prazo. Já em escala interanual refletem as respostas de processos ligados a eventos de alta energia e variações sazonais e interanuais, nas condições hidrodinâmicas e meteorológicas.

Estes processos além de diminuir a faixa de areia da praia e o conseqüente recuo da linha de costa, comprometem as ocupações próximas ao ambiente praias, pois favorecem o avanço do mar propiciando o alcance de ação das ondas em episódios tempestivos (HORN, 2006a).

É previsto segundo cenários elaborados pelo IPCC (2013b) que a média de altura das ondas irá aumentar nos oceanos do hemisfério sul, devido à alteração na velocidade dos ventos, ocasionando aumento no número de ressacas na costa brasileira. Isto levará a um aumento da erosão nas praias.

Durante os meses de abril e maio de 2010, a Praia da Armação sofreu um fenômeno de intensa, rápida e progressiva erosão, o que causou danos na área urbana e colocou em risco a segurança de seus moradores (NICOLAU & THIELSEN, 2011). Em caráter emergencial, no mesmo ano foi construída uma barreira artificial a partir da utilização de um enrocamento de pedra arrumada mecanicamente, ao longo da área afetada pela ação erosiva das ondas do mar. Estas obras podem num primeiro momento servir como proteção às edificações, entretanto, pode também acentuar a erosão praias e o conseqüente recuo da linha de costa (HORN, 2006).

No município de Florianópolis não existe medição de longo prazo do nível médio do mar. Entretanto, em Imbituba (90 km de Florianópolis) existe uma estação maregráfica do IBGE. De acordo com o IBGE (2013a), foi registrado aumento do nível do mar nas estações de Macaé/RJ e Imbituba/SC, com elevação média de 37 mm/ano e 2,5 mm/ano, respectivamente, porém não se pode atribuir este aumento das médias apenas às mudanças climáticas, visto que o período de medição foi de apenas 5 anos (2002 a 2006). Conforme o IOC (1985), esse passa a ser representativa se esta medição for de no mínimo 30 anos.

#### 4.5. MAPEAMENTO DO AUMENTO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

Conforme levantado na revisão da literatura, a falta de dados sobre o nível médio do mar no Brasil, e na América do Sul em geral, dificulta a avaliação futura

dos impactos do aumento do NMM na região (IPCC, 2014). Sendo assim, foram utilizados os dados globais de elevação no NMM para avaliação do município de Florianópolis.

A elevação do NMM na costa de Florianópolis foi considerada permanente, e não apenas um evento que elevará o NMM e depois irá retroceder, como eventos de cheias de rios. Desta forma, os mapas com a elevação do NMM poderão trazer as novas linhas de costa para o Município, e todas as construções que forem atingidas serão completamente destruídas pela força do mar.

Conforme previsto por Neves e Mueher (2008), de forma generalizada ocorre erosão ao longo de todo o litoral, fenômeno este que se intensificará na ocorrência da elevação do nível do mar, de aumento de frequência ou intensidade de tempestades e de mudanças no clima de ondas. Sendo assim, foi considerado que além da elevação do mar, esta irá causar erosão nas praias, como por exemplo, na FIGURA 21 que mostra a praia da Armação em Florianópolis no ano de 2010 devido a forte ressaca. Portanto, a elevação do NMM será acompanhada de fortes ressacas até atingir a marca prevista nos cenários.



FIGURA 21 - EROSÃO COSTEIRA DEVIDO A RESSACA NA PRAIA DA ARMAÇÃO EM FLORIANÓPOLIS EM 2010

FONTE: [clickrbs.com.br](http://clickrbs.com.br)

#### 4.5.1. Área atingida

Com o cruzamento do MDE e o cenário de elevação do NMM estimado pelo IPCC para o ano de 2100, chegou-se ao mapa exposto na FIGURA 22. A área atingida pela elevação do NMM seria de 13,4% de seu território, ou seja, 54,63 km<sup>2</sup> (área total de Florianópolis medida no SIG foi de 409,09 km<sup>2</sup>).

Foi cruzada a informação dos cenários de elevação com passos de 10 anos, com aumento do NMM de 10 mm/ano para Florianópolis, e obteve-se a quantidade de área perdida devido à erosão, conforme detalha o gráfico da FIGURA 23. Esta área perdida refere-se, principalmente, a retração da linha da costa.

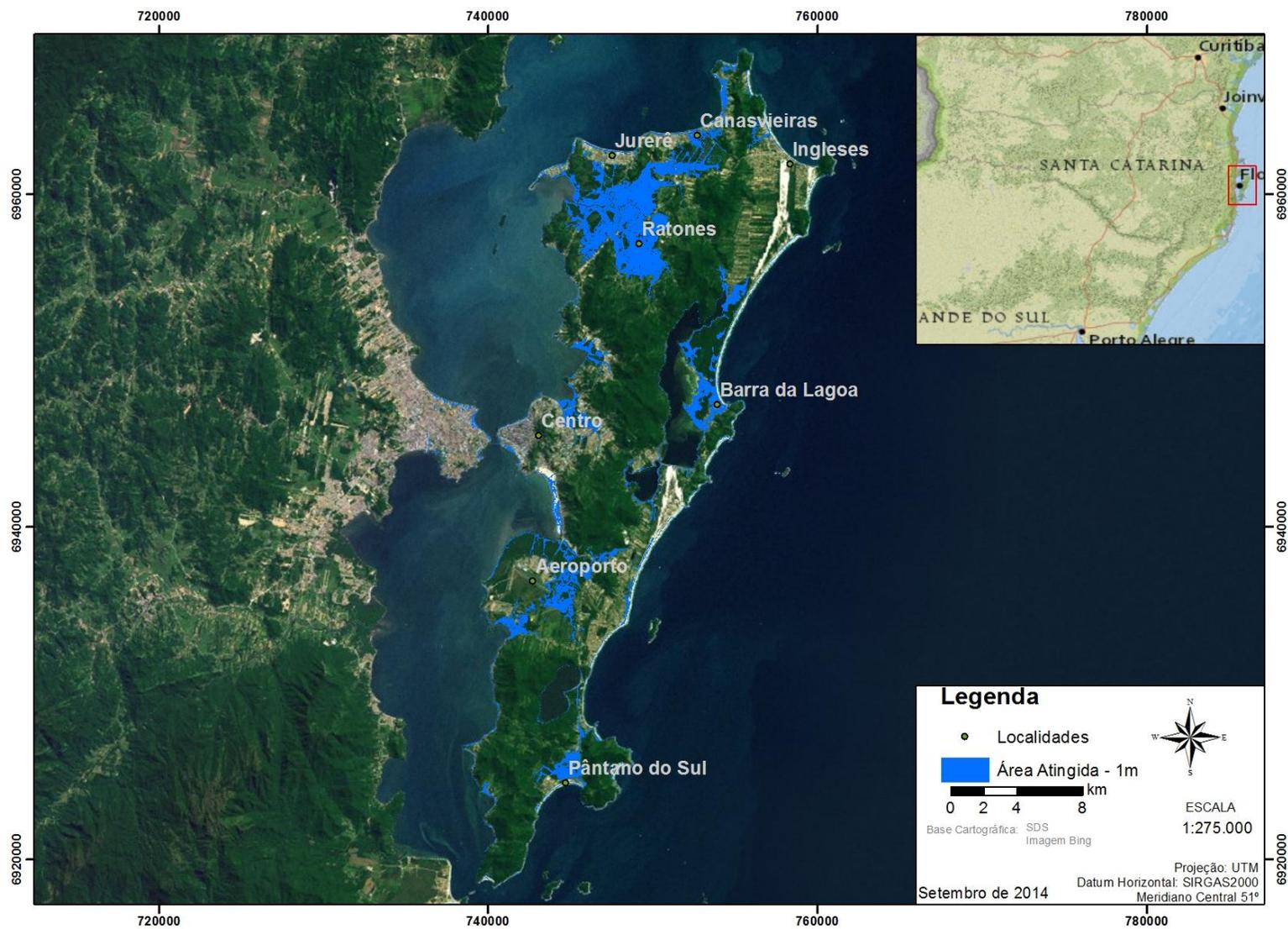


FIGURA 22 - ÁREA ATINGIDA PELA ELEVAÇÃO DO NMM EM FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100

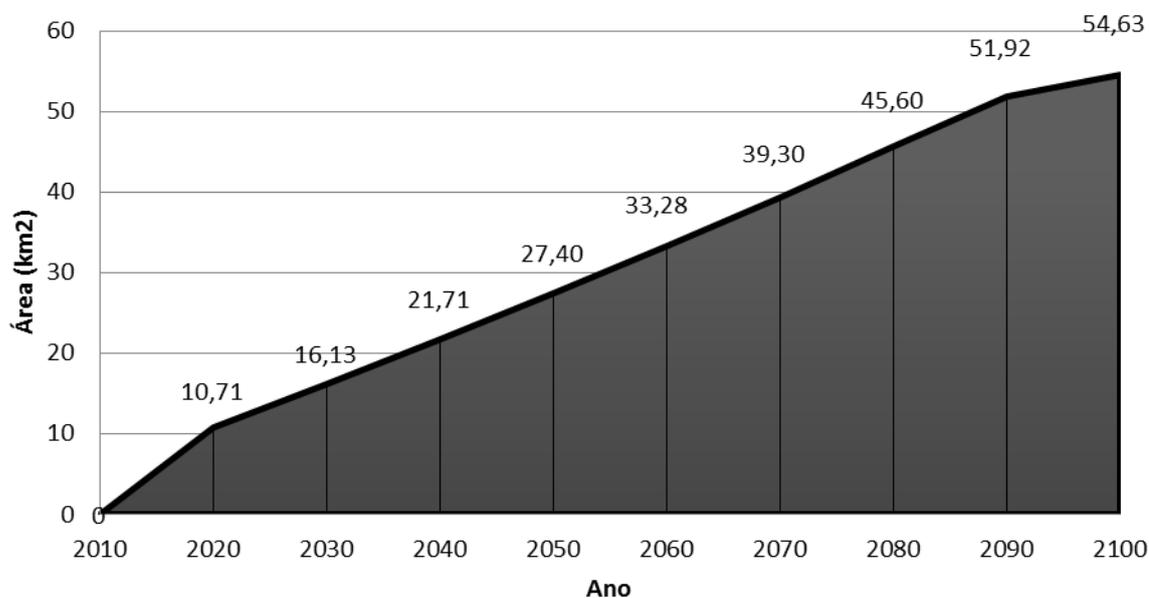
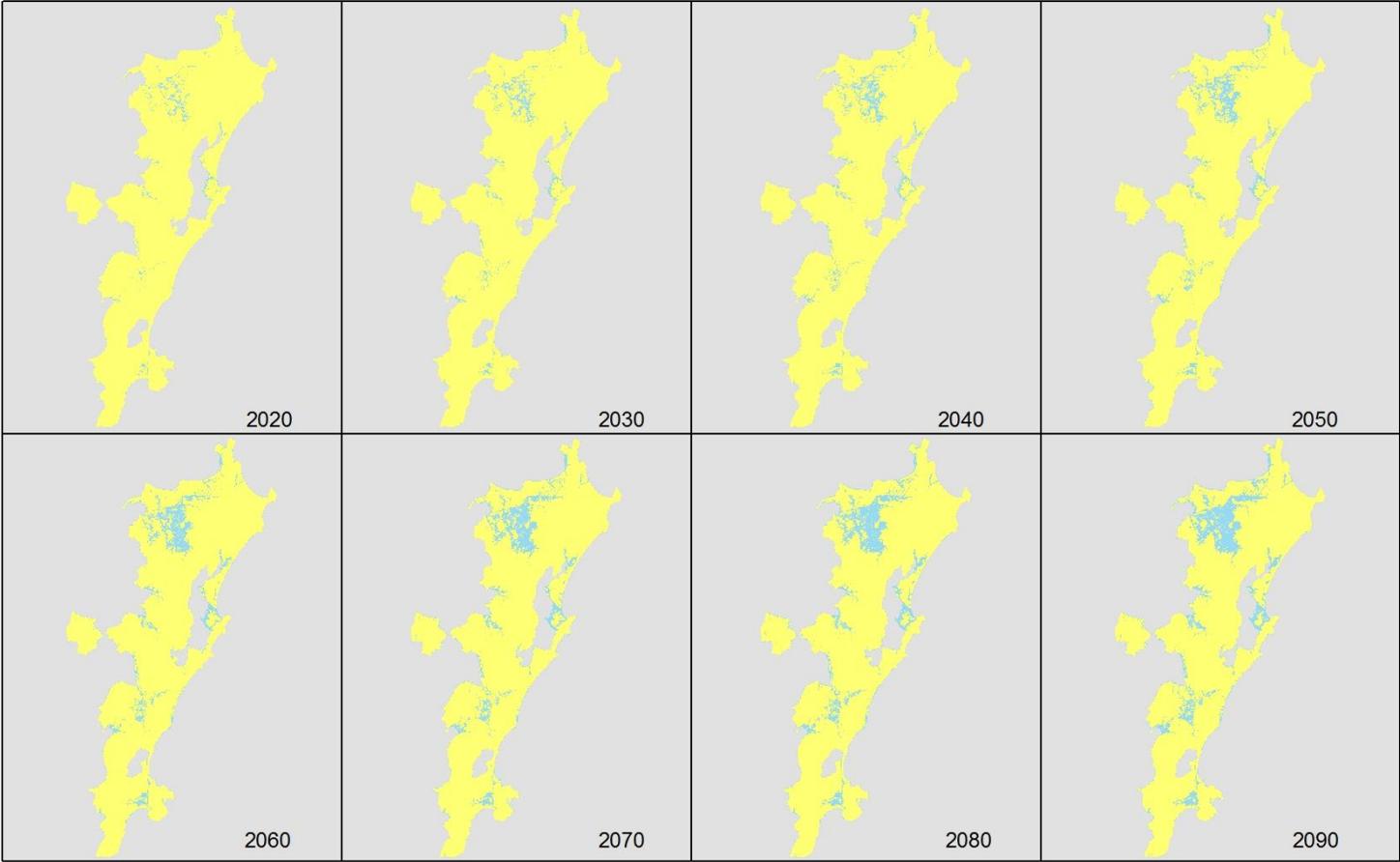


FIGURA 23 - AUMENTO DA ÁREA PERDIDA AO LONGO DOS ANOS DEVIDO À ELEVAÇÃO DO NMM

Na FIGURA 24, podemos observar visualmente o resultado da elevação ao longo de 2020 a 2090. Conforme a FIGURA 24, na possibilidade deste aumento do NMM, ele ocorrerá de forma gradual. Avaliar as consequências de apenas um evento (cenário para 2100) não é o suficiente para estimar o risco ao longo do tempo, pois, haverá tempo para que o Município se prepare para esta elevação do NMM. Poderão ocorrer obras de engenharia para a contenção desta elevação e planejamento na ocupação do território, entre outras alternativas para lidar com este provável impacto do aquecimento global.



**Legenda**

Área atingida Florianópolis

FIGURA 24 - ÁREA ATINGIDA PELA ELEVAÇÃO DO NMM EM FLORIANÓPOLIS EM DIVERSOS ANOS

#### 4.5.2. Uso do Solo

O mapa de uso do solo está apresentado na FIGURA 25. A nomenclatura das classes seguiu o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013b). Foram utilizadas sete classes de uso do solo, sendo elas: área urbanizada, dunas, mangue, água, praia, campestre e florestal.

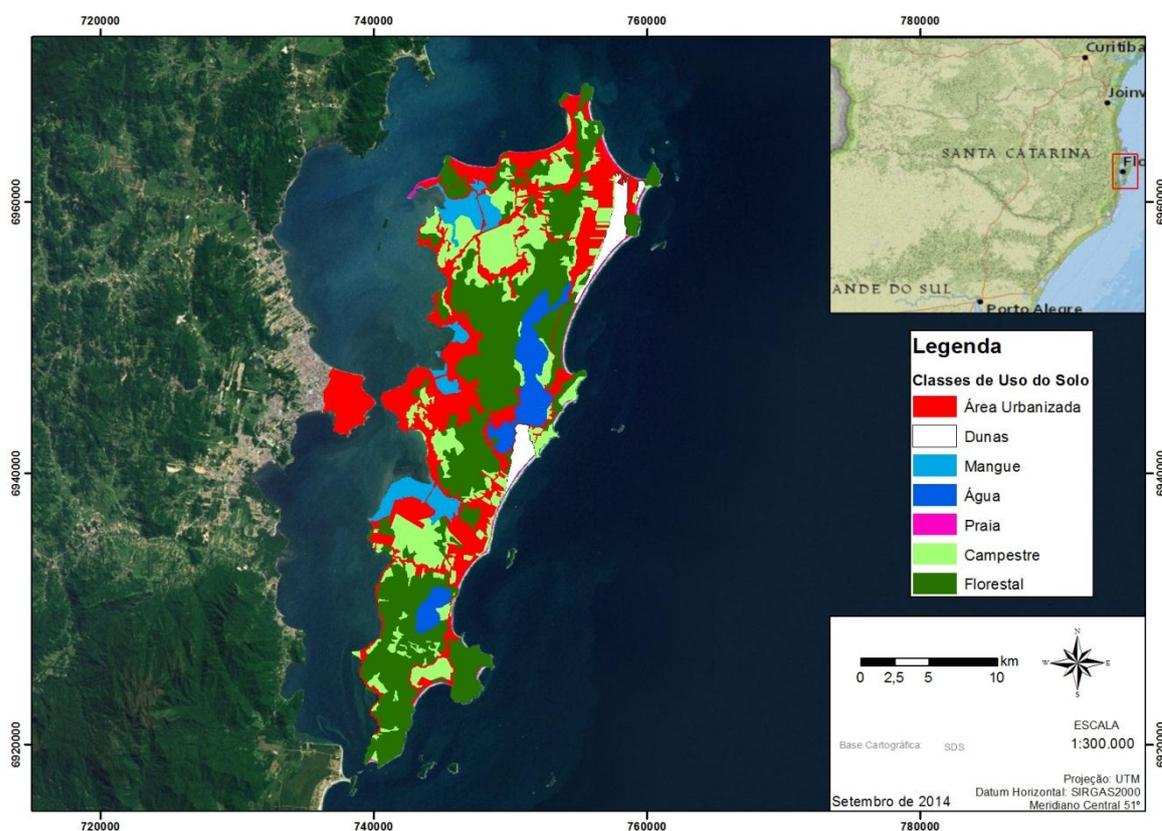


FIGURA 25 - MAPA DE USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS

Na classe área urbanizada (FIGURA 26a) estão as áreas correspondentes às cidades e às áreas urbanas isoladas. Compõe esta classe áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações, terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isoladas das áreas urbanas.

A classe dunas (FIGURA 26b) compreende as dunas com vegetação esparsa ou sem vegetação. A classe mangue (FIGURA 26c) foi considerada a vegetação de formações de influência fluviomarinha.

Na classe água (FIGURA 26d) foram contempladas apenas as lagoas (da Conceição e do Peri). O restante das águas interioranas, bem como as águas costeiras não foram consideradas. Isto se deve principalmente ao pequeno porte dos rios de Florianópolis. Na classe praia (FIGURA 26e) foi considerada as formações pioneiras de influência marinha (restinga) e também a porção arenosa da praia.

Na classe florestal (FIGURA 26f) foi considerada a formação arbórea, incluindo a fisionomia da floresta ombrófila densa. Os mangues foram excluídos desta categoria e foram classificados a parte. Nesta categoria estão incluídas eventuais áreas de reflorestamento.

A classe campestre (FIGURA 26g) foi caracterizada por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Nesta categoria estão inclusas também áreas utilizadas para a agropecuária, e foram excluídas as áreas de restinga.

A classe predominante (TABELA 7) encontrada foi a florestal perfazendo 38% do total mapeado. Em seguida a área urbanizada com 27,5% da área mapeada, seguida pela campestre, com 19,3%.

Embora três classes sejam predominantes no total da área mapeada, o uso do solo não está configurado de forma homogênea, havendo variabilidade espacial na ocorrência das classes de uso, portanto, variam também as funções que cada objeto e conjunto de objetos exercem neste espaço geográfico.

A TABELA 7 também mostra o quanto de cada classe seria atingida pela elevação do NMM. Nota-se que as classes atribuídas a localidades próximas à costa foram as mais atingidas, como as praias e mangues, ambas com 46,8% de sua área total.

TABELA 7 - CLASSES DE USO DO SOLO, SUAS RESPECTIVAS ÁREAS DE COBERTURA E PORCENTAGEM DE ÁREA ATINGIDA PELA ELEVAÇÃO DO NMM UTILIZANDO DADOS DE 2010

<b>Classe</b>	<b>Porcentagem total</b>	<b>Percentual atingido</b>
Área Urbanizada	27,5%	9,1%
Dunas	3,1%	1,8%
Mangue	5,3%	46,8%
Água	6,0%	-
Praias	0,9%	46,8%
Campestre	19,3%	26,9%
Florestal	38,0%	3,9%



FIGURA 26 - EXEMPLO DAS CLASSES DE USO DO SOLO UTILIZADAS PARA O MAPEAMENTO EM FLORIANÓPOLIS. (a) ÁREA URBANIZADA; (b) DUNAS; (c) MANGUE; (d) ÁGUA; (e) PRAIA; (f) FLORESTAL; (g) CAMPESTRE.

Conforme visto no mapa de uso do solo e na TABELA 7, por estar em áreas baixas, um dos principais ecossistemas afetados é o mangue. Sendo assim, todos os mangues de Florianópolis seriam de alguma forma atingidos pela elevação do NMM.

Bezerra, Amaral e Kampel (2013) explicam que caso isso ocorra, pode haver inundação permanente e erosão de áreas ocupadas pelo manguezal, com deslocamento da área de influência das marés. O que poderia ocasionar perdas de diversidade biológica em decorrência de alterações no hidroperíodo e na zonação das espécies vegetais do manguezal, e poderá ocorrer também, migração do manguezal em direção ao continente, caso não existam barreiras à sua colonização (ex. construções antrópicas).

Em Florianópolis, os manguezais localizados na porção central do Município estão enclausurados pela área urbana e não poderão migrar para outras regiões. Já os mangues localizados no sul e norte poderão realizar este processo. Além do mangue, todas as praias poderão ser atingidas, trazendo impacto desastroso para um Município que vive em grande parte em função do turismo.

A outra classe com o maior percentual atingido seria a praia, com quase metade delas (46,8%) sendo afetadas. A utilização das praias de Florianópolis como balneário reflete um longo processo de expansão iniciado no início do século passado (REIS, 2012). Porém, foi a partir da década de 1970 que o crescimento da atividade turística acelerou-se exponencialmente.

Segundo a Santa Catarina Turismo (SANTUR, 2014), órgão do governo Estadual, através de pesquisa com os turistas, a principal atratividade de Florianópolis é a imensa variedade de praias (urbanizadas, rústicas, com águas calmas ou agitadas, extensas ou ancoradas em pequenas baías), além de outros atrativos proporcionados pela apropriação dos seus diversos ambientes naturais.

A classe campestre representa, principalmente, os baixios com vegetação arbustiva ou com gramíneas, e geralmente fazem a transição entre a área urbana e florestada. Eventualmente é praticada alguma forma de agricultura ou pecuária.

A área urbanizada seria atingida em 10,12 km<sup>2</sup> com a elevação do NMM. É nesta classe onde estão concentradas as residências e comércios, e onde será o foco desta dissertação ao estimar os impactos econômicos. Desta forma, esta classe é abordada com mais detalhe no item 4.7.

Outras duas classes pouco afetadas são as dunas e florestas. As florestas em Florianópolis estão localizadas, em sua grande parte, nas morrarias, sendo pouco afetadas. As dunas, como também possuem cota mais alta, formadas por grandes estoques de sedimentos, também seriam pouco afetadas.

#### 4.5.3. População afetada

Para o cálculo da população afetada pela elevação do NMM utilizou-se a informação populacional de 2010 dos setores censitários, para o impacto do ano de 2100. O mapeamento e projeção do crescimento econômico urbano e populacional foram elaborados no item 4.6.

Para o ano de 2010, o número de habitantes afetados chegou a 179.964, ou 43% (o total de habitantes segundo as unidades censitárias do IBGE em Florianópolis era de 418.623), e o total de domicílios afetados foi de 62.578, ou 42% (o total de domicílios existentes no município em 2010 era de 147.434).

Vale ressaltar, entretanto, que estes dados estão possivelmente superestimados, uma vez que a intersecção entre a área atingida e o setor censitário deu-se da seguinte forma: caso a área atingida fizesse intersecção com um setor censitário, este já era contabilizado como atingido, por menor que fosse a área atingida.

A FIGURA 27 ilustra esta situação. O setor censitário 515, no centro da imagem, teve apenas uma pequena parcela atingida pela elevação do NMM (assinalado em vermelho), contudo foi considerado que todo aquele setor censitário seria atingido. Pela imagem percebe-se que no setor censitário 515 a área atingida é em sua maioria terrenos baldios e estradas, todavia, neste trabalho foi considerado que todos os 372 habitantes e 131 domicílios contidos neste setor foram atingidos.

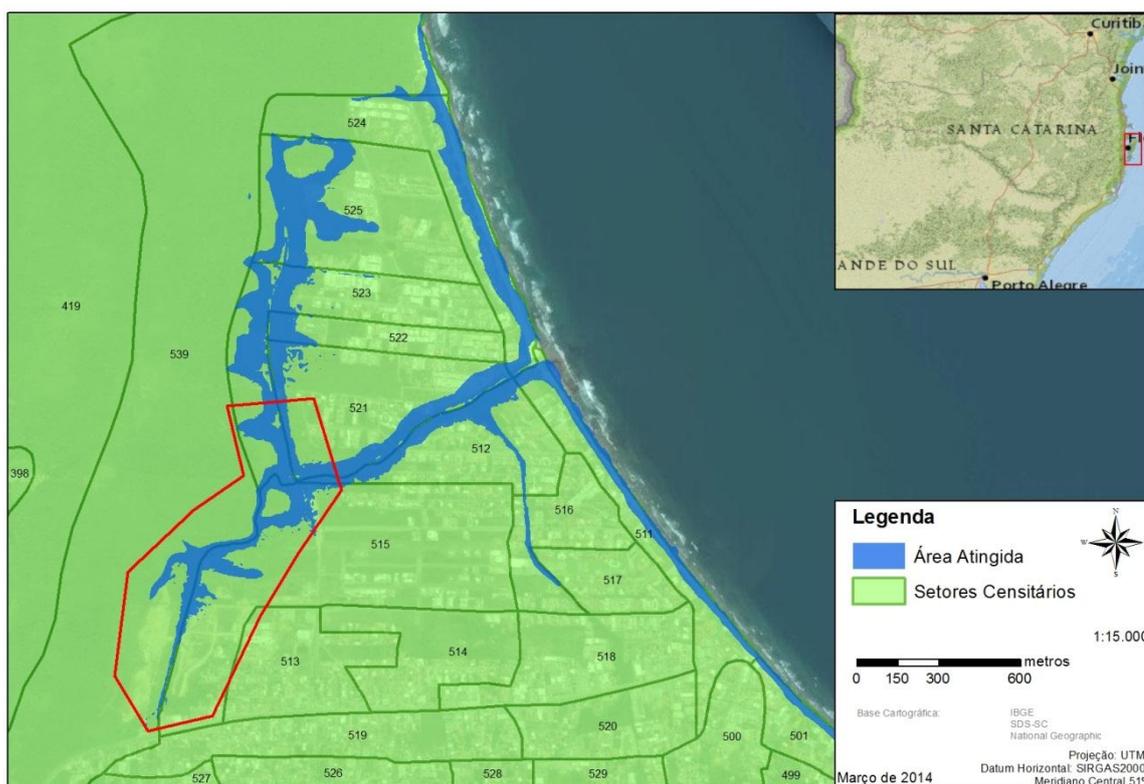


FIGURA 27 - SETORES CENSITÁRIOS DO IBGE (EM VERDE), ELEVAÇÃO DO NMM (EM AZUL) E ÁREA EM DESTAQUE DELIMITADA EM VERMELHO

De acordo com o mapeamento e explicitado na TABELA 8, em números absolutos o bairro mais atingido seria o Centro, local que abriga a maior parte da população (59%) de Florianópolis. O total de habitantes atingidos no Centro seria de 75.479 (ou 30% do seu total). Já em números relativos ao seu total, os bairros Barra da Lagoa, Pântano do Sul e Ratoões seriam os mais atingidos, com 100% de seus habitantes. O bairro menos atingido seria o Ingleses do Rio Vermelho, com apenas 3.712 habitantes, ou 12% dos habitantes do bairro.

TABELA 8 - NÚMERO DE DOMICÍLIOS E HABITANTES ATINGIDOS PELA ELEVAÇÃO DO NMM POR BAIRRO EM FLORIANÓPOLIS

<b>BAIRRO</b>	<b>DOMICÍLIOS ATINGIDOS</b>	<b>HABITANTES ATINGIDOS</b>	<b>% DOMICÍLIOS</b>	<b>% HABITANTES</b>
Barra da Lagoa	2.074	5.526	100%	100%
Cachoeira do Bom Jesus	4.594	13.766	76%	75%
Campeche	5.810	16.481	54%	55%
Canasvieiras	5.118	14.583	80%	81%
Centro	26.350	75.479	30%	30%
Inglesees do Rio Vermelho	1.394	3.712	14%	12%
Lagoa da Conceição	3.901	10.292	88%	88%
Pântano do Sul	2.617	7.356	100%	100%
Ratones	1.168	3.650	100%	100%
Ribeirão da Ilha	6.046	18.819	71%	70%
São João do Rio Vermelho	1.836	5.193	40%	39%
Santo Antônio de Lisboa	1.670	5.107	82%	81%
<b>TOTAL</b>	<b>62.578</b>	<b>179.964</b>	<b>42%</b>	<b>43%</b>

A área urbana de Florianópolis desenvolveu-se prioritariamente nas áreas de depósito de sedimentos marinhos, mais baixas, sendo assim, a malha viária acompanhou este traçado. A elevação do NMM poderia trazer diversos prejuízos para as principais rodovias do Município. Ao todo são sete grandes pontos atingidos pelas águas (FIGURA 28). Toda a porção norte da ilha ficaria isolada com a elevação do NMM prejudicando bairros que seriam muito pouco afetados diretamente, já que muitas rodovias ficariam comprometidas.

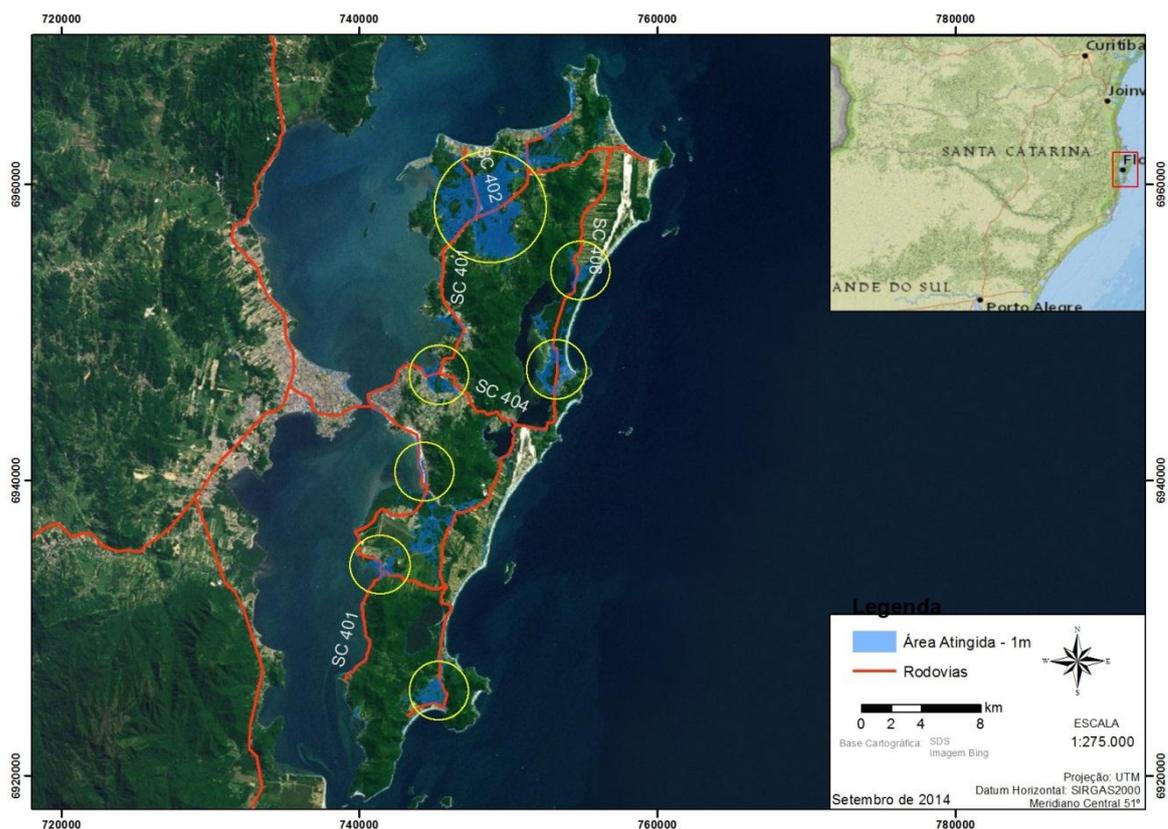


FIGURA 28 - PRINCIPAIS RODOVIAS ATINGIDAS PELA ELEVAÇÃO DO NMM EM FLORIANÓPOLIS

#### 4.5.4. Limitações do mapeamento do aumento do nível médio do mar em Florianópolis

Este mapeamento possui algumas limitações devido à imprecisão dos dados de altimetria. Estes dados, apesar de apresentarem a altitude geoidal, sem a necessidade de conversão da altitude elipsoidal, apresentam o modelo geoidal global EGM2008. Para uma maior confiabilidade dos dados, o ideal seria converter as altitudes para um modelo geoidal local a fim de melhorar a precisão dos dados de altimetria. Entretanto, como esta conversão possui uma alta complexidade e não é o foco deste estudo, não foi realizada.

Também existe a limitação quanto a escala do MDT, de 1:5.000. As escalas têm relação direta com as precisões a serem obtidas e se refletem nas escalas dos mapas restituídos e no intervalo da curva de nível – ICN (SILVA e COSTA, 2010). Diversos autores já elaboraram esta relação, conforme a TABELA 9.

TABELA 9 - RELAÇÃO DA ESCALA DO MAPA E DO ICN SEGUNDO DIVERSOS AUTORES

<b>Escala do mapa</b>	<b>ICN</b>	<b>Autor</b>
1:5.000	5,0	DNIT, 2006
	2,0	Main Roads WA, 2002
	5,0	FHA, 2008
	2,0	Canonica, 1963

Sendo assim, para a elevação do NMM para o cenário do IPCC (foi adotado 1 m) a escala do mapa deveria ser maior do que 1:5.000, para poder traçar curvas de nível com intervalo de, pelo menos, 1 metro. Como a melhor base cartográfica disponível para uso público foi a de 1:5.000 foi utilizada esta, assim sendo possível replicá-la em outras áreas do litoral catarinense.

#### 4.6. MAPEAMENTO E PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO E POPULACIONAL

A segunda etapa deste estudo mapeou o crescimento urbano e projetou o crescimento populacional em Florianópolis a partir de um cenário social global. Nesta etapa, o crescimento populacional para 2100 não considerou a elevação do NMM como obstáculo, ou seja, a mancha urbana pode crescer sem que este seja fator limitante.

Projetar o crescimento da economia e da expansão urbana é uma tarefa difícil, e muitas vezes é mais fácil avaliar os impactos futuros na sociedade e economia atuais. A vantagem deste método é controlar a incerteza e reduzir a quantidade de parâmetros desconhecidos. Entretanto, esta abordagem não é sempre aceitável, especialmente em países em desenvolvimento, onde o crescimento urbano é acelerado fazendo com que a exposição e vulnerabilidade variem muito em um pequeno espaço de tempo (HALLEGATTE, 2011b).

#### 4.6.1. Expansão urbana em Florianópolis

##### 4.6.1.1. *Calibração*

A calibração entre os anos de 1985 e 2014 (FIGURA 29 e FIGURA 30) obedeceu aos parâmetros estabelecidos na metodologia, sendo três cenários distintos de potencial de crescimento, e para cada um destes três cenários, outros cinco cenários com diferentes formas de crescimento.

A variação na intensidade de crescimento urbano, que equivale à variação de velocidade, pode provocar mudanças estruturais na cidade, para além do aumento do tamanho final da área ocupada da cidade, sendo esperado que crescimentos lentos produzam resultados diferentes de crescimentos rápidos (MCCANN e EWING, 2003).



FIGURA 29 - GRID URBANO SOBRE IMAGEM DE FLORIANÓPOLIS NO ANO DE 1985



FIGURA 30 - GRID URBANO SOBRE IMAGEM DE FLORIANÓPOLIS DO ANO DE 2014

#### 4.6.1.1.1. Cenário 1

A calibração no cenário 1 tem potencial de urbanização igual a 2, ou seja, foi o cenário que apresentou as menores taxas de crescimento. Conforme o QUADRO 5, a forma de crescimento que mais se assemelhou com o ano de 2014, foi o predomínio polar, indicada pela porcentagem de acertos do número total de células simuladas, com 73,53% de acerto.

CENÁRIO 01 – Crescimento 2,0											
ano 1985	ano 2014	ID	Tipo de crescimento	DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES					nº de células	taxa de crescimento anual em 29 anos, em %	% de acertos do nº total de células simuladas
nº total de células urbanas	nº total de células urbanas			A1	A2	B	C1	C2			
682	1088	1A	Sem predomínio	20%	20%	20%	20%	20%	805	0,23%	69,96%
		1B	Predomínio axial	40%	40%	10%	5%	5%	815	0,28%	70,25%
		1C	Predomínio polar	5%	5%	80%	5%	5%	894	0,60%	73,53%
		1D	Predomínio difuso	5%	5%	10%	40%	40%	763	0,05%	67,74%
		1E	Composição axial e polar	20%	20%	40%	10%	10%	818	0,29%	70,81%

QUADRO 5 - RESUMO DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO NO CENÁRIO 01; MELHOR RESULTADO COM PREDOMÍNIO DE CRESCIMENTO POLAR.

A FIGURA 31 ilustra este crescimento em quatro momentos.

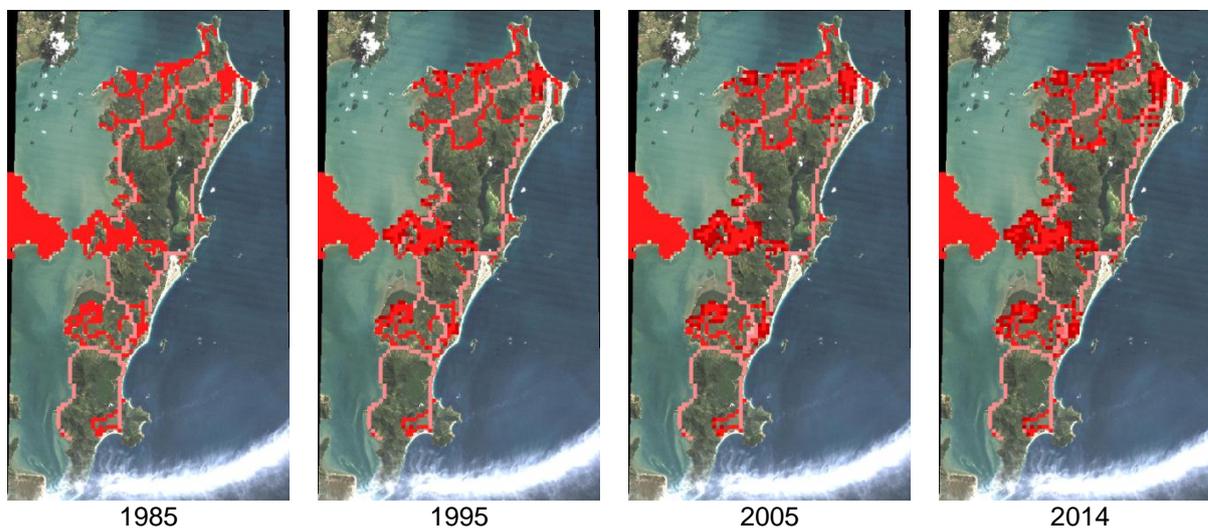


FIGURA 31 - CRESCIMENTO DO CENÁRIO 1C COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 2 PARA FLORIANÓPOLIS ENTRE OS ANOS 1985 E 2014.

## 4.6.1.1.2. Cenário 2

A calibração no cenário 2 tem potencial de urbanização igual a 1,5. Da mesma maneira que o cenário 1, a forma de crescimento que mais se assemelhou com o ano de 2014, foi o predomínio polar, indicada pela porcentagem de acertos do número total de células simuladas, com 76,14% de acerto (QUADRO 6).

CENÁRIO 02 – Crescimento 1,5											
ano 1985	ano 2014	ID	Tipo de crescimento	DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES					nº de células	taxa de crescimento em 29 anos, em %	% de acertos do nº total de células simuladas
nº total de células urbanas	nº total de células urbanas			A1	A2	B	C1	C2			
682	1088	2A	Sem predomínio	20%	20%	20%	20%	20%	866	0,49%	72,91%
		2B	Predomínio axial	40%	40%	10%	5%	5%	889	0,58%	73,70%
		2C	Predomínio polar	5%	5%	80%	5%	5%	963	0,86%	76,14%
		2D	Predomínio difuso	5%	5%	10%	40%	40%	794	0,19%	69,89%
		2E	Composição axial e polar	20%	20%	40%	10%	10%	882	0,55%	73,70%

QUADRO 6 - RESUMO DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO NO CENÁRIO 02; MELHOR RESULTADO COM PREDOMÍNIO DE CRESCIMENTO POLAR.

A FIGURA 32 ilustra este crescimento em quatro momentos.

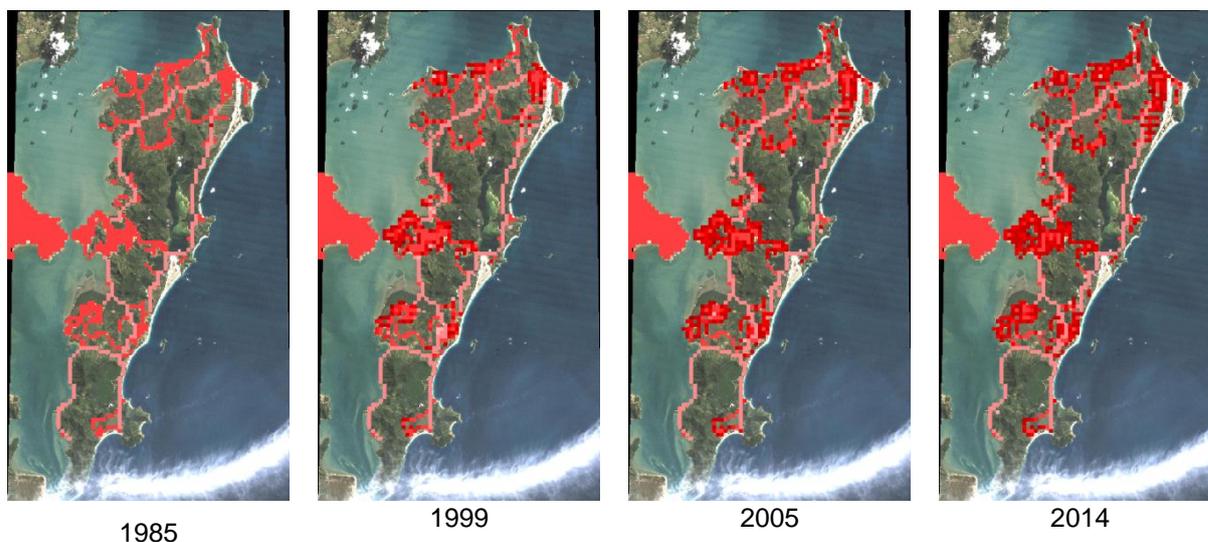


FIGURA 32 - CRESCIMENTO DO CENÁRIO 2C COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,5 PARA FLORIANÓPOLIS ENTRE OS ANOS 1985 E 2014

## 4.6.1.1.3. Cenário 3

A calibração no cenário 3 tem potencial de urbanização igual a 1, ou seja, foi o cenário que apresentou as maiores taxas de crescimento. Da mesma maneira que os cenários anteriores, a forma de crescimento que mais se assemelhou com o ano de 2014, foi o predomínio polar, indicada pela porcentagem de acertos do número total de células simuladas, com 77,50% de acerto (QUADRO 7).

CENÁRIO 03 – CRESCIMENTO 1,3											
ano 1985	ano 2014	ID	Tipo de crescimento	DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES					n° de células	taxa de crescimento em 29 anos, em %	% de acertos do n° total de células simuladas
n° total de células urbanas	n° total de células urbanas			A1	A2	B	C1	C2			
682	1088	3A	Sem predomínio	20%	20%	20%	20%	20%	910	0,66%	74,46%
		3B	Predomínio axial	40%	40%	10%	5%	5%	937	0,76%	75,88%
		3C	Predomínio polar	5%	5%	80%	5%	5%	995	0,97%	77,50%
		3D	Predomínio difuso	5%	5%	10%	40%	40%	915	0,68%	74,59%
		3E	Composição axial e polar	20%	20%	40%	10%	10%	934	0,75%	75,47%

QUADRO 7 - RESUMO DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO NO CENÁRIO 03; MELHOR RESULTADO COM PREDOMÍNIO DE CRESCIMENTO POLAR.

A FIGURA 33 ilustra este crescimento em quatro momentos.

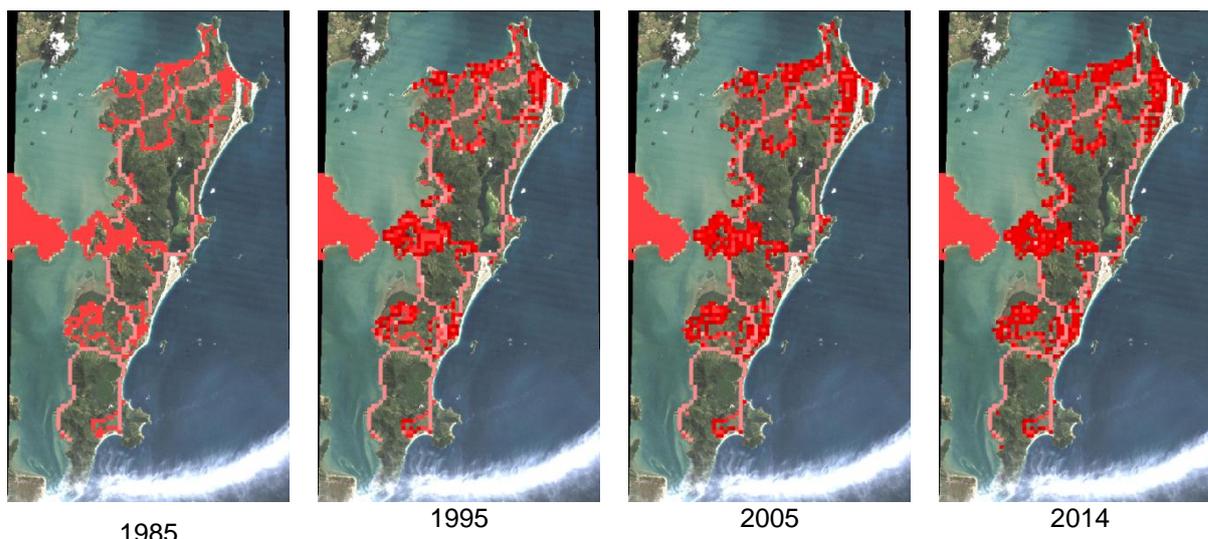


FIGURA 33 - CRESCIMENTO DO CENÁRIO 3C COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,3 PARA FLORIANÓPOLIS ENTRE OS ANOS 1985 E 2014

A porcentagem de acerto do número total de células simuladas traz a intersecção das porcentagens das células do estado final (urbano 2014) com a última interação do modelo, em relação ao total de células existentes da união desses dois grupos. Ou seja, quanto maior o número de células coincidentes, em relação ao total de células da comparação, maior a porcentagem de acerto.

Outro parâmetro para análise de similaridade é o número total de células ao final da simulação comparado ao total em 2014 (TABELA 10). O cenário 3C, além de apresentar a maior porcentagem de acerto em relação ao ano de 2014 com o número total de células simuladas, também foi o que apresentou a maior semelhança com o número total de células ao final da simulação, com erro de 8,5%.

TABELA 10 - DIFERENÇA NO NÚMERO TOTAL DE CÉLULAS URBANAS DE 2014 E AO FINAL DA SIMULAÇÃO DOS TRÊS CENÁRIOS COM FORMA DE CRESCIMENTO PREDOMINANTE POLAR

<b>Cenário</b>	<b>Nº de Células urbanas 2014</b>	<b>Nº de Células urbanas por cenário</b>	<b>Diferença absoluta</b>	<b>Diferença (%)</b>
1C	1088	894	194	17,8%
2C		963	125	11,5%
3C		995	93	8,5%

A forma de distribuição predominantemente polar ilustra bem o crescimento urbano em Florianópolis. Conforme aponta Reis (2012), a estrutura urbana que vem se consolidando no Município é o resultado de crescimento local, ou seja, dos núcleos preexistentes (bairros). Apesar do pequeno crescimento ao longo das vias (axial), e do crescimento difuso, são os bairros que atraem a população e aumentam a mancha urbana.

Este tipo de urbanização se deve ao fator histórico e geográfico. O crescimento em Florianópolis é ditado por fortes limitações à ocupação urbana, com grandes descontinuidades da mancha urbanizada. As áreas definidas por encostas íngremes, manguezais e dunas, atualmente protegidas por legislação ambiental, constituem os espaços menos transformados pela ocupação humana.

Reis (2012) também define a forma de crescimento de Florianópolis como sendo por processos de crescimento baseados em parcelamento simples, consolidando localidades costeiras e interiores.

Desta forma, os cenários que melhor representaram o crescimento urbano em Florianópolis foram os três com predominância polar. A distribuição polar evidencia a diferenciações espaciais na escala mais local, no entorno imediato do atributo gerador de tensões.

#### 4.6.1.2. Modelagem para o ano de 2100

Conforme a calibração demonstrou, os cenários que melhor representaram o crescimento urbano em Florianópolis tiveram uma predominância na distribuição

polar. Desta forma, foram escolhidos os três cenários de crescimento com predominância polar, com três potenciais de crescimento: 2, 1,5 e 1,3.

#### 4.6.1.2.1. *Crescimento lento*

A simulação começou com 1.088 células urbanas, ao final de 86 iterações (equivalente a 86 anos) chega a 1.160 células, um crescimento de 72 células (equivalente a 11,52 km<sup>2</sup>) ou 6,62%.

O crescimento da mancha urbana é visto na FIGURA 34.

No gráfico da FIGURA 35 pode-se observar o crescimento médio em porcentagem. O pico de crescimento acontece entre os anos 2030 e 2034 (próximo de 17%), após este ano a taxa de crescimento médio decresce até chegar em 2100 com 7,45%, entretanto o crescimento urbano ainda permanece.

Este pico de crescimento ocorre devido à disponibilidade de áreas passíveis de urbanização, a partir dos anos de 2030 e 2034 existirão poucas áreas com disponibilidade de urbanizar. A quantidade de recursos necessários para transformar áreas não urbanizadas em urbanas será cada vez maior.

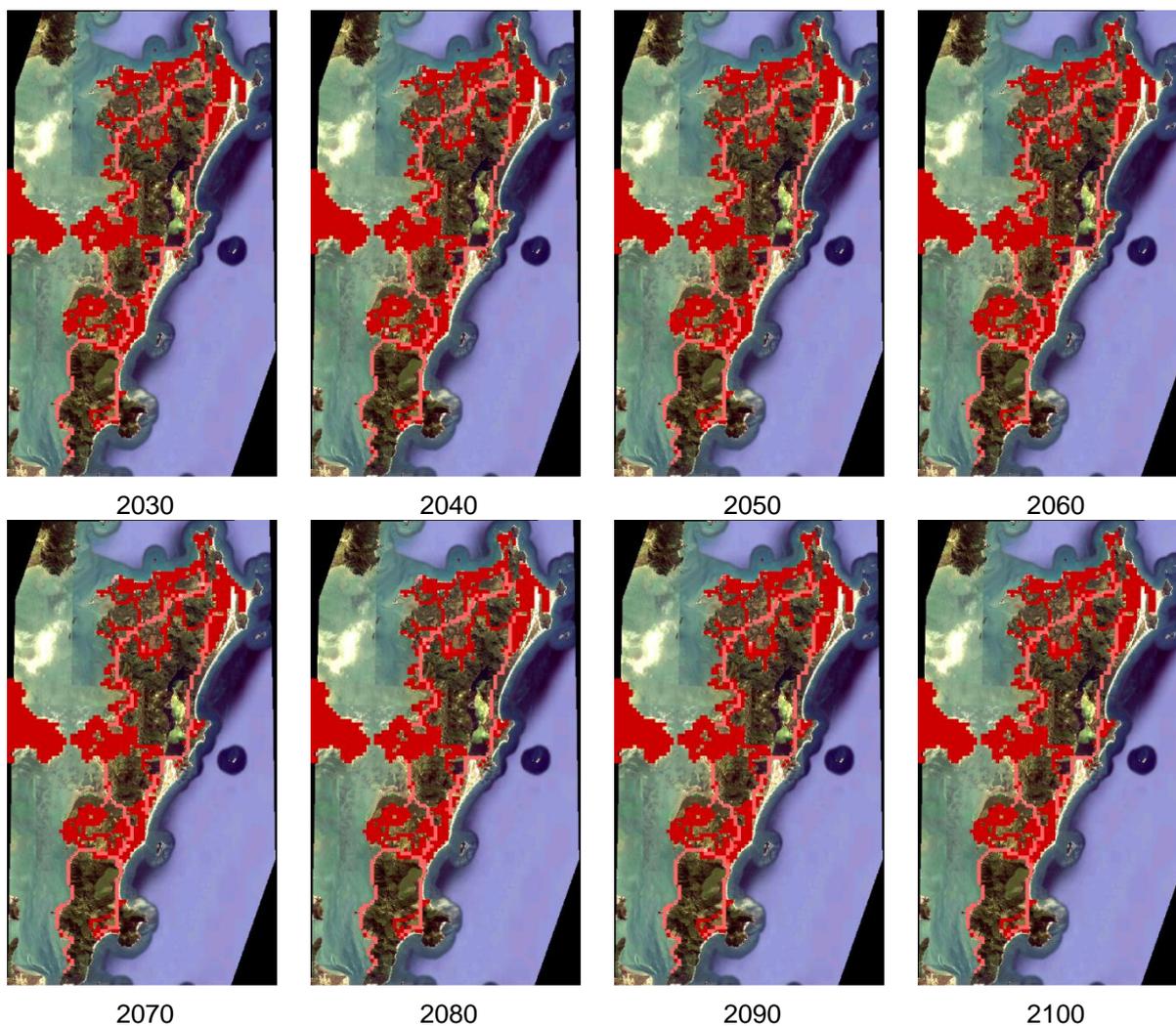


FIGURA 34 - MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 2 PARA FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100

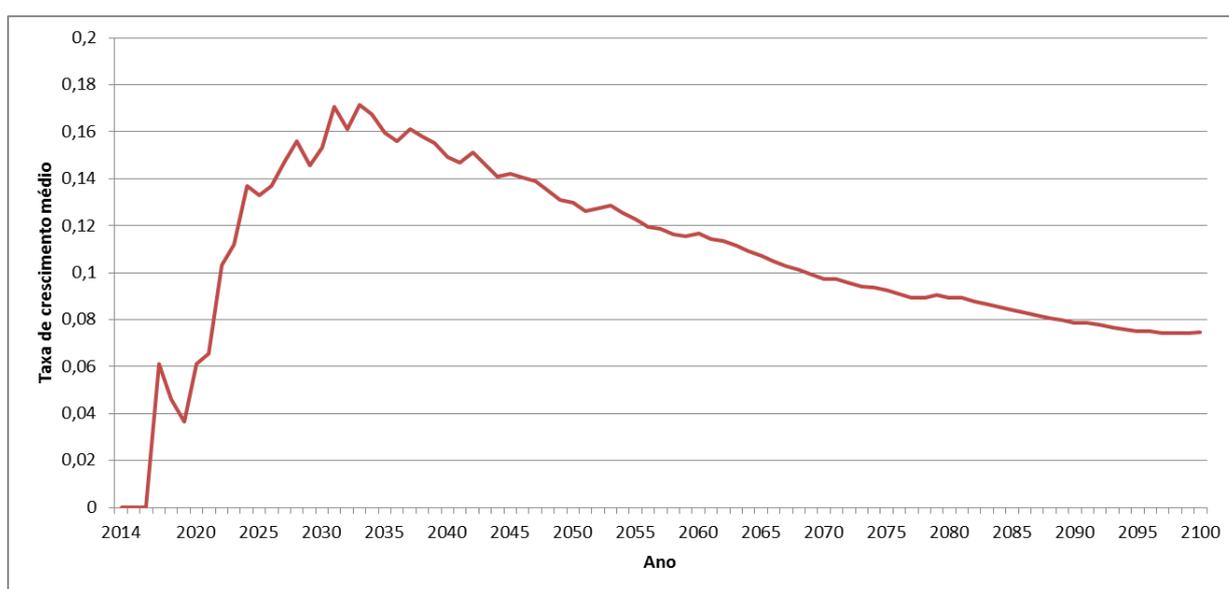


FIGURA 35 - MÉDIA DE CRESCIMENTO DAS CÉLULAS URBANAS EM FLORIANÓPOLIS DE 2014 A 2100 NA MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,5

#### 4.6.1.2.2. Crescimento médio

A simulação começou com 1.088 células urbanas, ao final de 86 iterações chega a 1.171 células, um crescimento de 83 células (equivalente a 13,28 km<sup>2</sup>) ou 7,63%.

O crescimento da mancha urbana é visto na FIGURA 36.

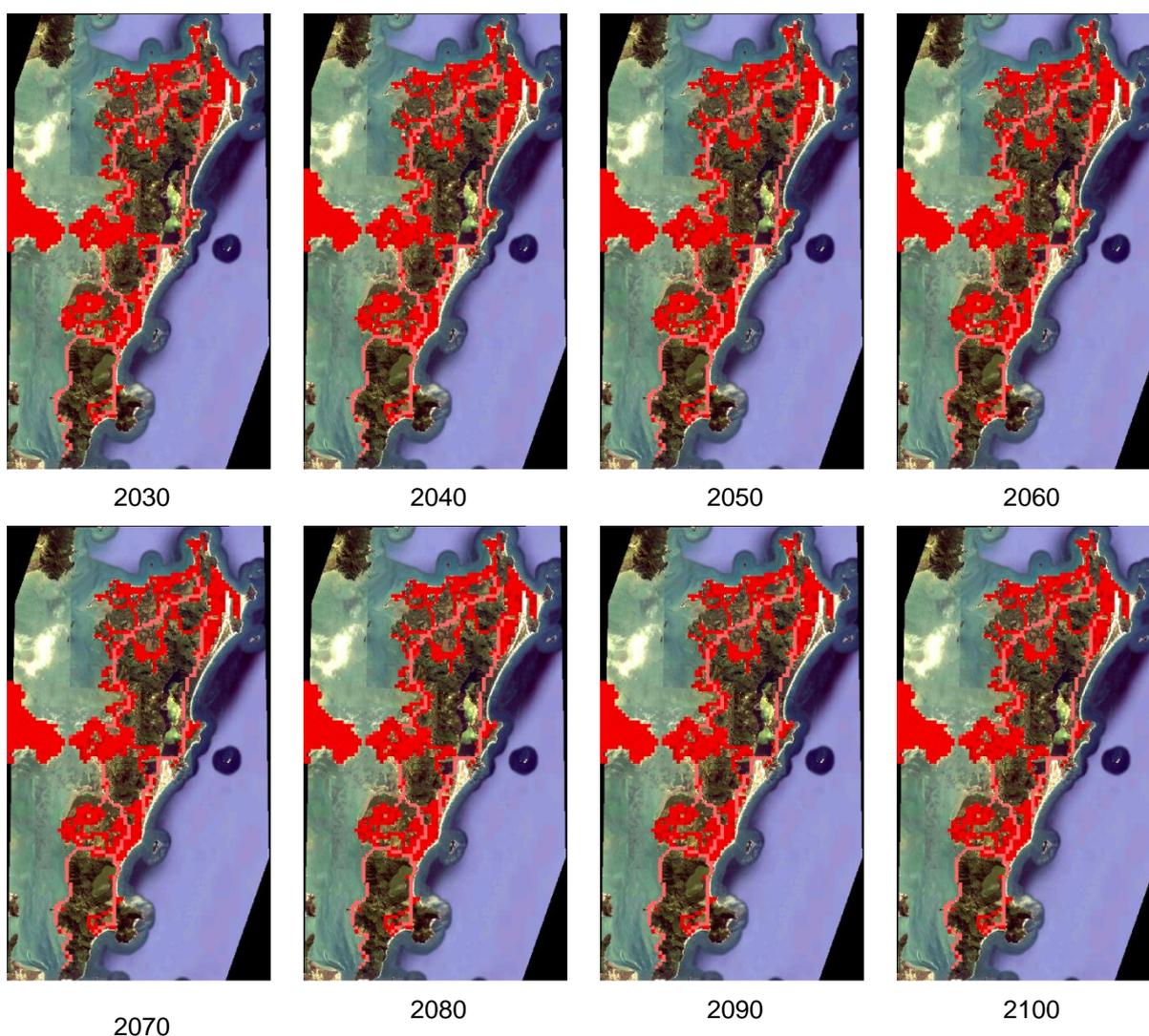


FIGURA 36 - MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,5 PARA FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100

No gráfico da FIGURA 37 pode-se observar o crescimento médio em porcentagem. O pico de crescimento médio acontece um pouco antes do que na modelagem de crescimento lento, entre os anos 2022 e 2026 (próximo de 35%),

após este ano a taxa de crescimento médio decresce até chegar em 2100 com 8,55%, entretanto o crescimento urbano ainda permanece.

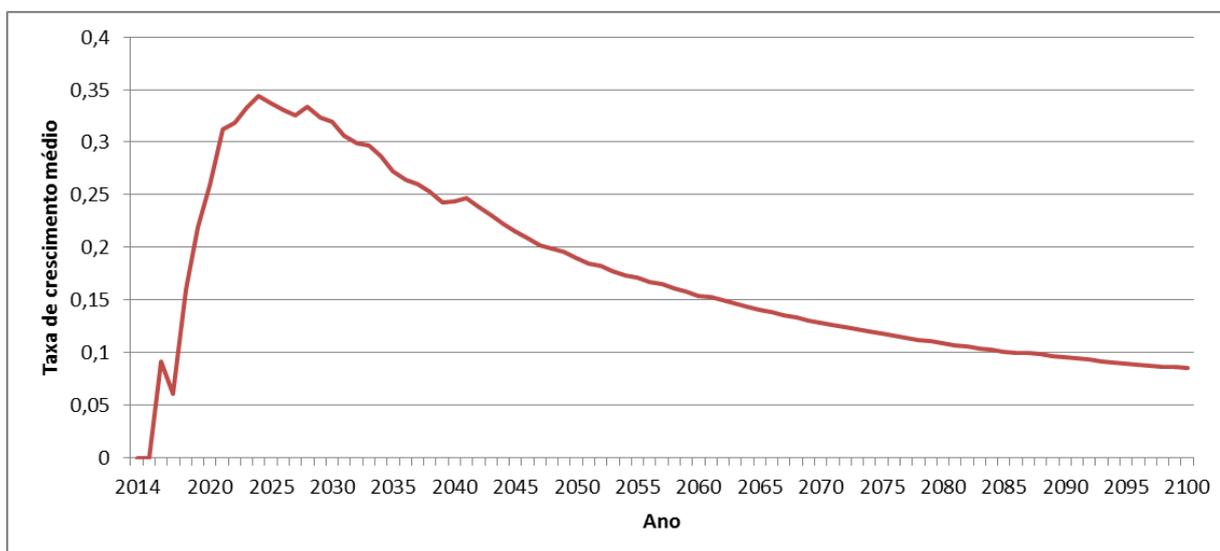


FIGURA 37 - MÉDIA DE CRESCIMENTO DAS CÉLULAS URBANAS EM FLORIANÓPOLIS DE 2014 A 2100 NA MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,5

#### 4.6.1.2.3. Crescimento acelerado

A simulação começou com 1.088 células urbanas, ao final de 86 iterações chega a 1.175 células, um crescimento de 87 células (equivalente a 13,92 km<sup>2</sup>) ou 8,00%.

O crescimento da mancha urbana é visto na FIGURA 38.

No gráfico da FIGURA 39 pode-se observar o crescimento médio em porcentagem. O pico de crescimento médio acontece um pouco antes do que nas modelagens de crescimento lento e médio, entre os anos 2020 e 2024 (próximo de 50%), após este ano a taxa de crescimento médio decresce até chegar em 2100 com 8,95%, entretanto o crescimento urbano ainda permanece.

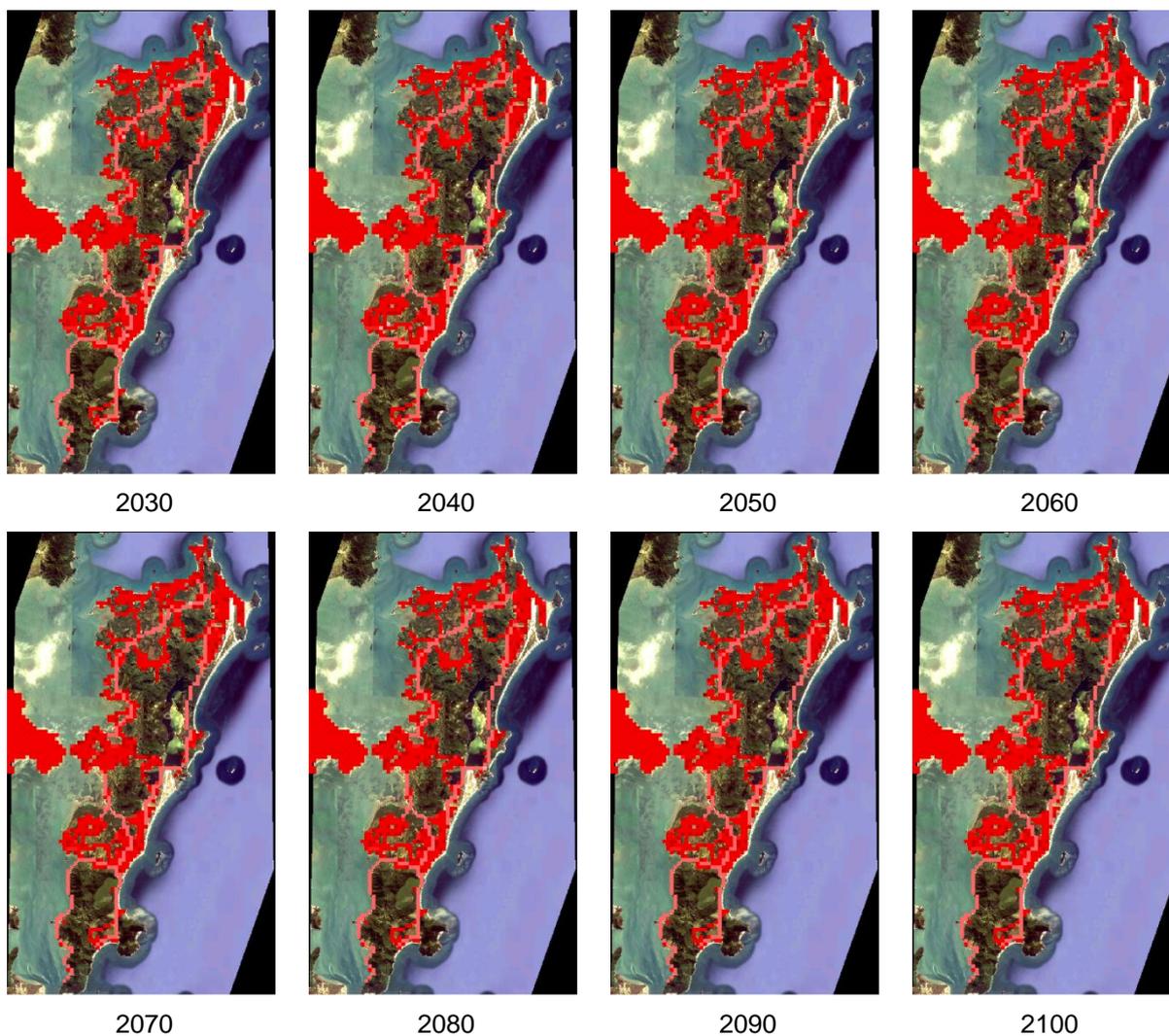


FIGURA 38 - MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,3 PARA FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100

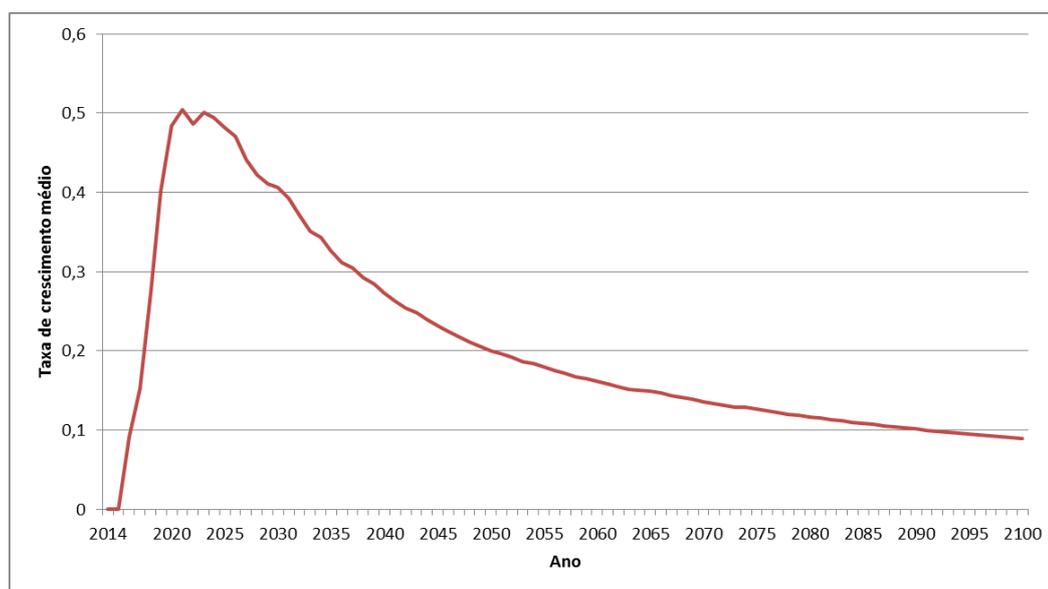


FIGURA 39 - MÉDIA DE CRESCIMENTO DAS CÉLULAS URBANAS EM FLORIANÓPOLIS DE 2014 A 2100 NA MODELAGEM COM POTENCIAL DE CRESCIMENTO 1,3

O pequeno crescimento de Florianópolis, mesmo na modelagem com potencial de crescimento de 1,3, vai ao encontro do que foi discutido no item 4.6.1.1, pois o crescimento urbano é confinado a pequenas porções do território, fazendo com que a expansão seja pequena. Na FIGURA 40 é possível observar a pequena variabilidade visual entre os crescimentos modelados.

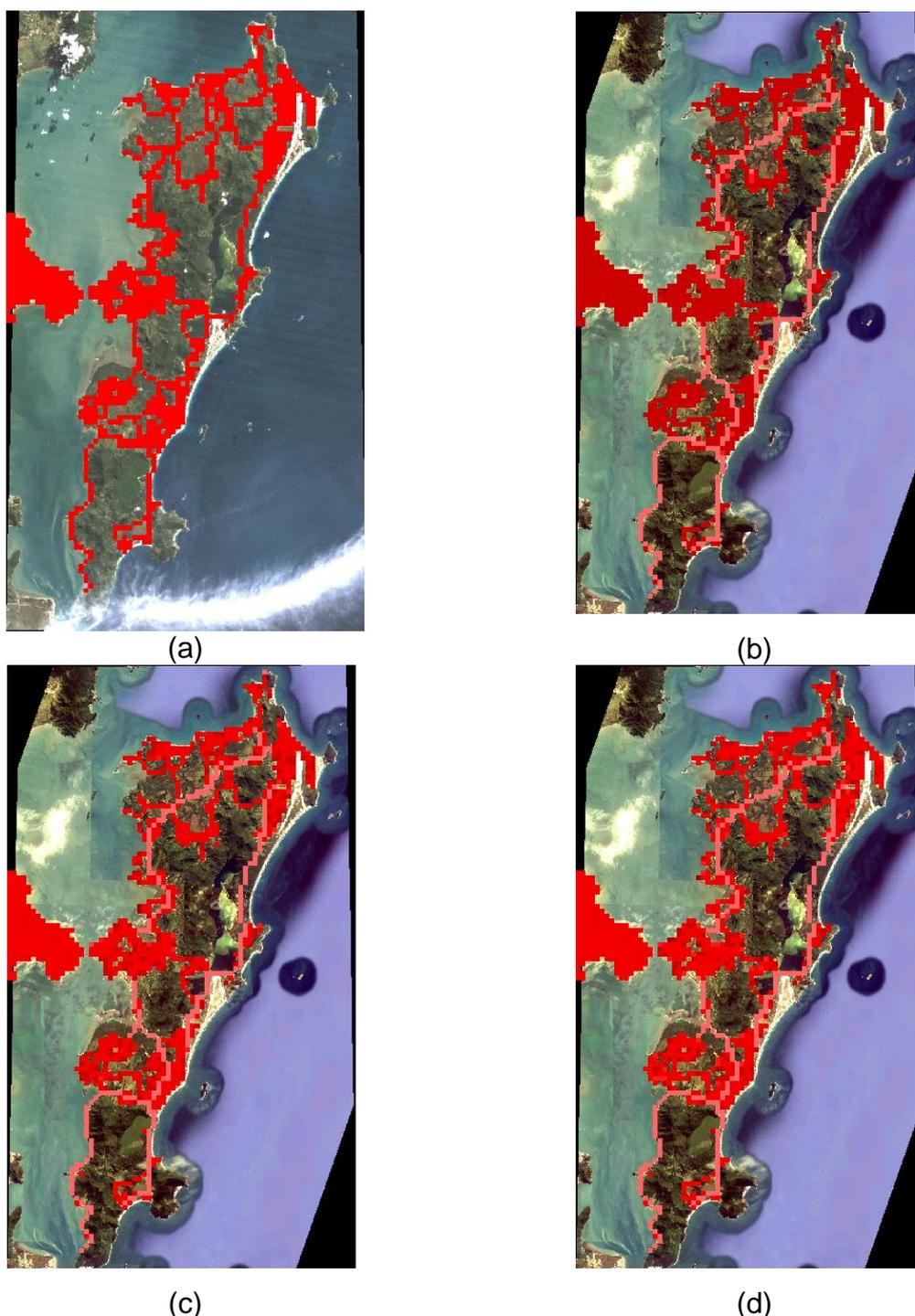


FIGURA 40 - ÁREA URBANA DE FLORIANÓPOLIS EM 2014 (a), E SIMULAÇÕES PARA 2100 COM CRESCIMENTO LENTO (b), MÉDIO (c) E ACELERADO (d)

A Ilha de Santa Catarina tem cerca de 45% de sua área formada por unidades de conservação (HORN, 2006b), além disso possui diversas áreas definidas por encostas íngremes, manguezais e dunas, atualmente protegidas por legislação ambiental. Estes são locais que dificilmente serão urbanizados, restando desta forma, poucas áreas passíveis de urbanização.

O que poderá acontecer no Município é um adensamento da mancha urbana já existente. Ao invés de outras áreas serem convertidas em manchas urbanas, esta será cada vez mais densa a fim de comportar o crescimento da cidade.

Este padrão de adensamento populacional já vem acontecendo em Florianópolis. Conforme demonstrado na TABELA 11, enquanto que a área urbanizada cresceu 27,88%, o número de habitantes aumentou em 111,19%.

TABELA 11 - CRESCIMENTO DE ÁREA URBANIZADA E POPULACIONAL EM FLORIANÓPOLIS ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2014.

<b>Ano</b>	<b>Área urbanizada* (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Habitantes**</b>
1985	140,00	218.533
2014	179,04	461.524
% crescimento	27,88%	111,19%

FONTE: \* CALCULADO NO CITYCELL. \*\* IBGE, 2014

Assim, pode-se observar que existem poucas áreas passíveis de urbanização em Florianópolis, seja por dificuldades geográficas (alta declividade, lagos, dunas) ou por restrições legais (zoneamento, unidades de conservação, áreas de preservação permanente). A tendência observada nos últimos anos, e a modelada pelo programa *CityCell* é o adensamento populacional, ao invés da conversão para novas áreas urbanizadas, aumentando a volumetria do ambiente construído na cidade.

Por fim, foi escolhido o crescimento acelerado para estimar os custos diretos na etapa de avaliação dos impactos econômicos. A escolha aconteceu devido à dinâmica de crescimento acelerada da capital catarinense, conforme discutida no item 5.2.2 de crescimento populacional.

#### 4.6.2. Crescimento populacional

Com a expansão da mancha urbana definida para Florianópolis, esta etapa irá projetar o crescimento populacional para o Município.

Conforme apresentado, o crescimento populacional utilizou a metodologia de Madeira e Simões (1972), a partir de uma projeção da ONU (2011) para 2100 da população mundial.

A ONU (2011) projeta para o Brasil (FIGURA 41) crescimento populacional até 2100, e no ano de 2050 o país atingirá a população máxima de 222.843.000 habitantes. A partir deste ano a população entra em declínio até atingir 177.349.000 habitantes em 2100. Por outro lado a população mundial continua a crescer até o ano de 2100, quando chegará a pouco mais de 10 bilhões de habitantes.

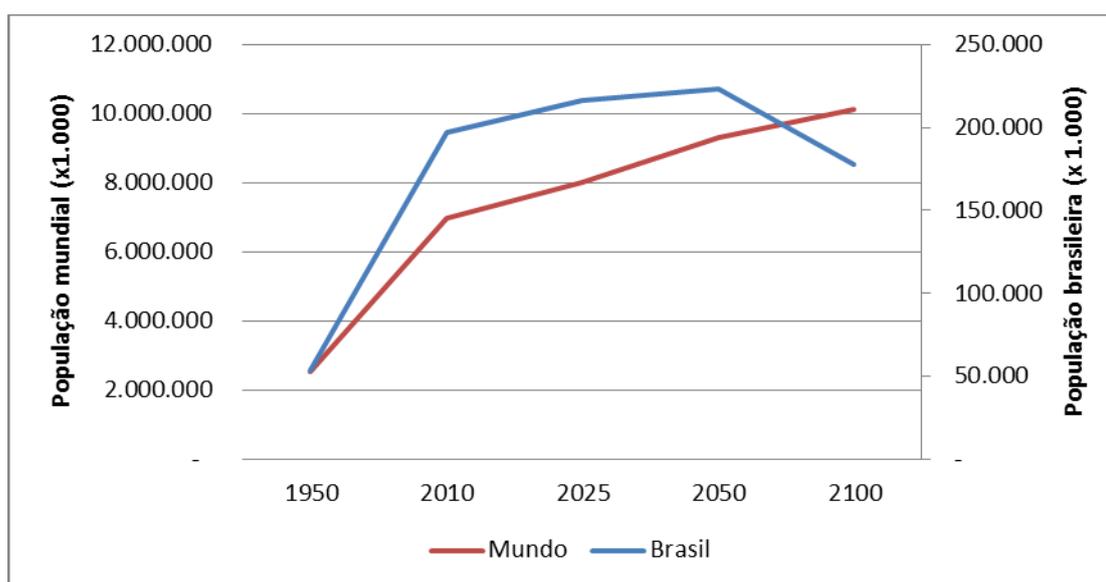


FIGURA 41 - CRESCIMENTO POPULACIONAL MUNDIAL E BRASILEIRA.  
FONTE: ONU, 2011

Tomando como base a projeção para o Brasil realizado pela ONU, chegou-se a um decréscimo da população de Florianópolis e Santa Catarina, conforme a TABELA 12.

TABELA 12 - ESTIMATIVA POPULACIONAL PARA 2100 EM DIVERSAS ABRANGÊNCIAS GEOGRÁFICAS.

<b>Local</b>	<b>População 2010</b>	<b>População 2100</b>
Mundo	7.000.000.000*	10.124.926.000*
Brasil	190.755.799*	177.349.000*
Santa Catarina	6.248.436**	5.676.691***
Florianópolis	421.240**	370.570***

FONTE: \*ONU, 2011; \*\*IBGE, 2010, \*\*\*CALCULADO (MADEIRA E SIMÕES, 1972)

Do mesmo modo que no mundo, o decréscimo populacional no Brasil também não deverá ser homogêneo. Capitais, geralmente, tendem a crescer mais que outras cidades, por diversos fatores. Florianópolis, além de capital, é uma cidade litorânea, do qual possui dinâmica diferente de crescimento.

Conforme descreve Moraes (2007), o litoral se particulariza por apropriação cultural que o identifica como espaço de lazer e os espaços preservados são ainda mais valorizados nesse sentido, isto sustenta uma das indústrias litorâneas de maior dinamismo da atualidade, a que serve às atividades turísticas e de veraneio. A posição litorânea também revela favorabilidade na circulação, detendo a primazia na alocação dos pontos terminais dos fluxos de mercadorias, além de servir de bases terrestres imediatas de exploração de todos os recursos marinhos. As características levantadas acarretam quadro atual onde cerca de dois terços da humanidade habitam zonas costeiras.

Além disto, a modelagem da expansão urbana em Florianópolis realizada mostrou, apesar de pequeno, um crescimento ininterrupto até o ano de 2100. Desta forma, optou-se por tomar como base o crescimento mundial, ao invés do brasileiro, para projetar o crescimento populacional de Florianópolis.

Através da mesma metodologia aplicada para Florianópolis com base na estimativa mundial de crescimento populacional para 2100, o Município chegará a 696.499 habitantes. Sendo assim, esta será a população considerada nas próximas etapas do estudo.

Considerando esta população para o ano de 2100, e realizando a mesma proporção da população afetada (43%) pela elevação do NMM (item 4.5.3) o número de pessoas atingidas subiria para 299.421.

## 4.7. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS

### 4.7.1. Custos Diretos

O custo direto foi estimado a partir da combinação da abrangência da elevação do NMM para 2100, do cenário modelado escolhido da expansão urbana de Florianópolis para o ano de 2100 e da planta genérica de valores. Conforme já mencionado, como a elevação do NMM traduz-se em perda de área seca na ilha, todas as construções atingidas serão totalmente destruídas.

O cruzamento entre a planta genérica de valores e o cenário de expansão urbana para 2100 está representado na FIGURA 42. Neste mapa é possível observar que as áreas que possuem o metro quadrado mais caro em Florianópolis são a região central, Jurerê, orlas da região do continente dos Ingleses.

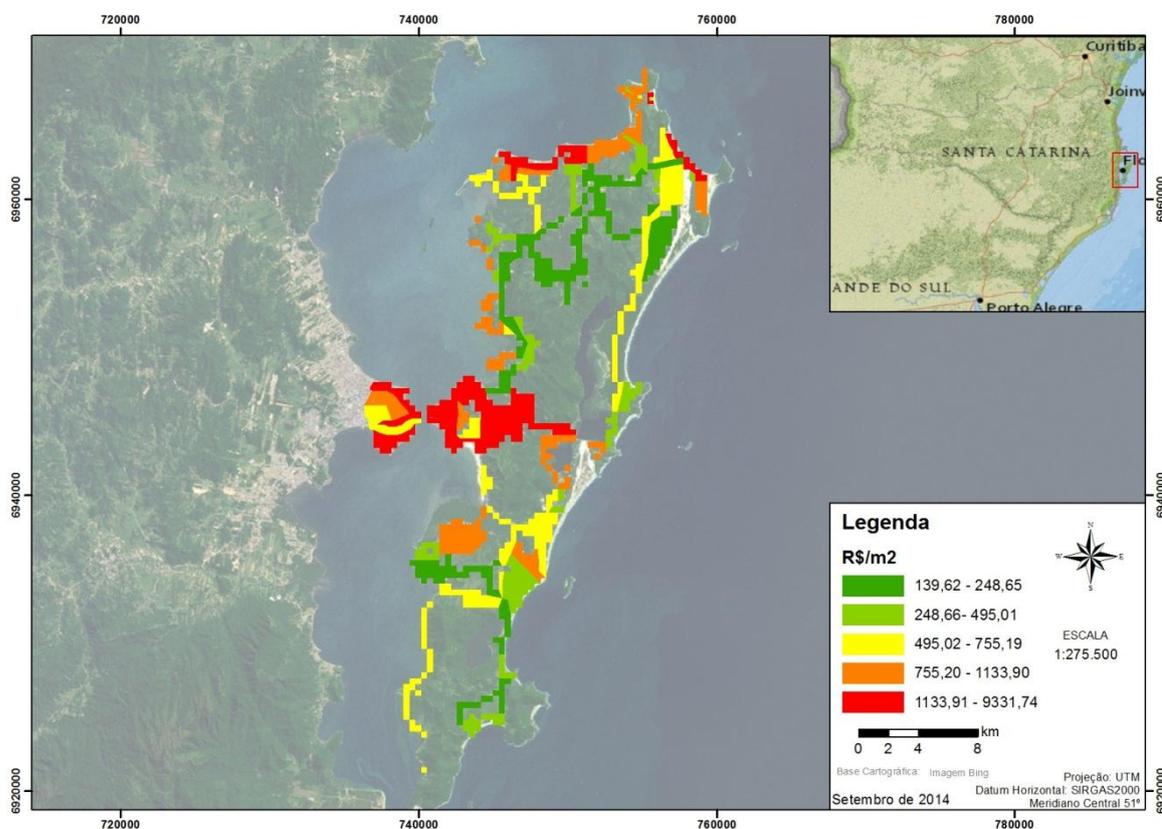


FIGURA 42 - PLANTA GENÉRICA DE VALORES SIMPLIFICADA DE FLORIANÓPOLIS PARA O ANO DE 2100

Ao cruzar este mapa com a elevação do NMM obteve-se o mapa da FIGURA 43. Neste mapa os valores em reais por metro quadrado foram multiplicados por sua área de abrangência, obtendo-se o valor em reais para cada polígono. Ao contrário do mapa da FIGURA 42, o mapa da estimativa do custo direto espacializado da FIGURA 43 está em valor absoluto. Apesar das regiões mais caras serem a região central, Jurerê, orlas da região do continente dos Ingleses, nenhum destes aparece com o maior dano direto. A região mais afetada foi Canasvieiras, a qual possui um valor por metro quadrado relativamente alto (entre R\$ 755,00 e R\$ 1.133,00 o metro quadrado, conforme FIGURA 42) e é geograficamente muito atingida, com uma área urbana bem consolidada.

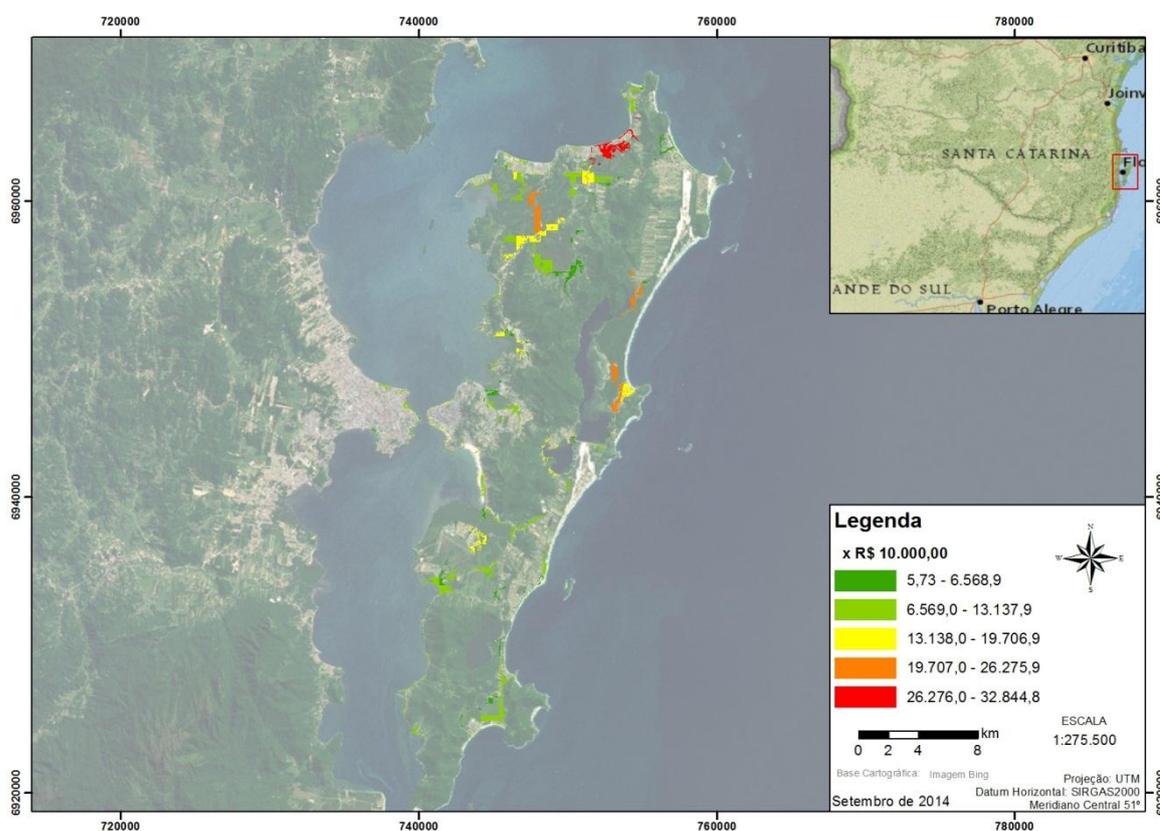


FIGURA 43 - MAPA DA ESTIMATIVA DO CUSTO DIRETO DE FLORIANÓPOLIS DEVIDO AO AUMENTO NO NMM MODELADO PARA 2100

Desta forma, a partir do cruzamento destas informações chegou-se ao valor total, para Florianópolis, de 13 bilhões de reais (em valores atuais) de custo direto com a elevação do nível médio do mar para o cenário projetado de 2100.

Os impactos de mercado diretos são apenas uma fração do total de danos econômicos devido aos impactos físicos da elevação do NMM. Os danos diretos resultam do contato direto da água de inundação devido à erosão costeira com os

bens, portanto, relacionados à deterioração física dos bens. Estes danos incluem o preço de relocar a construção danificada.

A força dos danos diretos podem ser mudanças nas condições medianas (por exemplo, a subida gradual do nível médio do mar) ou mudanças extremas (tempestades e ressacas). Hallegatte (2011b) observa que a avaliação dos impactos devido às mudanças nas condições médias e mudanças extremas deveriam ser distintas, em parte porque sua predição requer metodologias diferentes, mas também porque elas irão demandar diferentes estratégias de adaptação.

Neste estudo, no entanto, não houve distinção na metodologia, ou seja, para a estimativa do impacto econômico foi considerado que haverá um evento único de ressaca que irá devastar toda a área mapeada do qual se encontra abaixo de 1 metro.

A ligação entre a elevação do NMM e as perdas diretas não é constante no tempo, pois esta ligação pode ser modificada através do gerenciamento de risco e de estratégias de adaptação (HALEGGATTE, 2011b). É improvável que nenhuma ação de adaptação seja realizada no futuro pelo governo, empresas e população.

#### 4.7.2. Custos Indiretos

Conforme já mencionado, os custos diretos de realocação e reconstrução de construções danificadas são apenas uma fração do total do custo de um desastre, particularmente em eventos de grande escala. Ranger et. al (2010) explica que depois do evento, o total de custos econômicos podem ser amplificados através de: (1) difusão setorial e espacial dos custos diretos para um sistema econômico mais amplo; (2) respostas sociais ao desastre; (3) restrições financeiras que comprometem a reconstrução; e (4) restrições técnicas diminuindo a velocidade da reconstrução.

Para o cálculo do custo indireto foi utilizado o ARIIO, o qual utiliza a matriz I-P do local afetado. Sendo assim, a tabela de I-P local simplificada de Florianópolis está exposta no QUADRO 8. Conforme detalhado na metodologia, esta tabela foi derivada da matriz I-P nacional.

	Agricultura, Silvicultura, Pesca e Caça (1)	Mineração (2)	Utilities (3)	Construção (4)	Indústria de transformação (5)	Comércio atacadista (6)	Comércio varejista (7)	Transporte e Armazenagem (8)	Informação (9)	Finança, seguro, corretagem, aluguel e arrendamento (10)	Serviços profissionais e técnicos (11)	Educação, saúde, e assistência social (12)	Artes, entretenimento, recreação, alojamento (13)	Outros serviços, exceto governamental (14)	Governo (15)	Consumo final das famílias	Exportação	Saídas totais
1	49,2410	0,0077	0,0626	0,2097	390,3846	0,0291	0,0435	0,5315	0,2489	0,0087	0,5038	0,9233	6,6748	0,2740	0,5269	130,0102	91,1581	555,3970
2	4,8746	4,5276	37,1717	13,3594	310,1027	0,1525	0,2276	0,3826	0,1791	0,0492	0,3885	0,0850	0,0536	0,1973	0,1979	5,0878	107,9726	387,8482
3	2,5847	0,9792	103,5685	1,0411	87,8844	6,8917	10,2864	7,4124	3,4706	3,3873	8,3012	11,6686	2,8476	3,8215	9,3990	110,6284	4,5921	315,4138
4	0,0023	0,8927	0,0847	16,1144	7,2116	0,3649	0,5447	2,0933	0,9801	15,9093	2,0336	16,1955	0,0432	1,0792	17,6149	3,7480	3,6657	647,8760
5	88,9878	4,6661	29,1479	147,1925	1.105,7986	17,1621	25,6159	47,5721	22,2740	14,5583	47,9576	35,6395	50,9522	24,5260	16,3262	1.011,3538	478,5038	3.130,2942
6	13,0916	0,5042	2,7461	13,9736	131,9499	4,5657	6,8147	7,6746	3,5934	3,2310	8,0899	5,8210	6,7178	3,9567	2,3958	144,2561	2,4698	360,9394
7	19,5403	0,7526	4,0988	20,8568	196,9464	6,8147	10,1715	11,4551	5,3634	4,8226	12,0749	8,6883	10,0269	5,9057	3,5759	215,3144	3,6864	538,7327
8	4,7548	2,5560	12,4147	7,2071	95,9688	14,0652	20,9934	24,1098	11,2886	21,8667	25,3599	18,5138	2,2260	12,4299	21,4936	186,6459	21,7338	539,3887
9	2,3775	1,2781	6,2077	3,6038	47,9873	7,0330	10,4974	12,0556	5,6446	10,9340	12,6807	9,2574	1,1131	6,2153	10,7474	93,3286	10,8676	269,7107
10	10,3589	6,9759	24,0417	17,4165	289,7316	37,0241	55,2616	47,5127	22,2462	103,3176	51,8047	30,5862	6,4678	24,4954	85,6536	891,9638	40,2723	1.808,8685
11	7,3856	1,9632	9,6270	9,3916	108,4314	11,3536	16,9462	19,4153	9,0905	16,4632	20,4273	14,8866	3,6386	10,0096	15,9427	176,3658	16,1353	492,4941
12	0,1622	0,0934	0,1239	0,2327	2,3084	0,3549	0,5298	0,3175	0,1486	1,1962	0,3673	1,2412	0,1457	0,1637	1,2595	281,1289	0,5320	795,6313
13	0,0437	0,1215	0,0564	0,5181	2,4644	0,3874	0,5783	1,0590	0,4958	0,9810	1,0687	3,3082	0,1880	0,5460	3,2466	205,8908	24,7785	248,9691
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	0,2658	0,1596	3,1452	0,4627	7,1072	0,9984	1,4903	1,3668	0,6400	1,4873	1,4772	1,5442	0,1750	0,7047	1,1978	11,3552	1,9252	891,6304
16*	234,8858	29,5837	257,6749	279,6530	3.220,6681	117,8058	175,8351	201,0998	94,1581	210,8725	211,6224	181,3933	95,5295	103,6780	207,9932	3.612,9841	0,0000	0,0000
17**	346,2579	20,6842	306,1191	328,7579	1.349,8970	312,9695	467,1336	242,4987	82,8576	779,0788	373,3405	381,2492	87,3631	182,6469	421,9086	0,0000	0,0000	0,0000
18***	608,7943	52,9101	603,3821	638,9864	4.914,2836	442,2204	660,0515	468,3328	188,5967	1.009,0267	610,3932	581,3806	195,1191	299,0768	651,5286	0,0000	0,0000	0,0000

QUADRO 8 - MATRIZ INSUMO PRODUTO LOCAL PARA O MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS NO ANO DE 2011, EXPRESSA EM DÓLARES AMERICANOS. \*Consumo intermediário total; \*\*Valor agregado. \*\*\*Saídas

Conforme mencionado, foi considerado um único evento de aumento do NMM para estimar o impacto econômico. Na FIGURA 44 e na FIGURA 45, considera-se que o desastre ocorre no  $t = 0$ .

A FIGURA 44 expressa a variação na produção de acordo com o VA em porcentagem, comparado a valores pré-desastre. Logo após o evento o VA decresce a quase 6%, para depois aumentar a níveis maiores do que os valores pré-desastre, devido ao setor de construção.

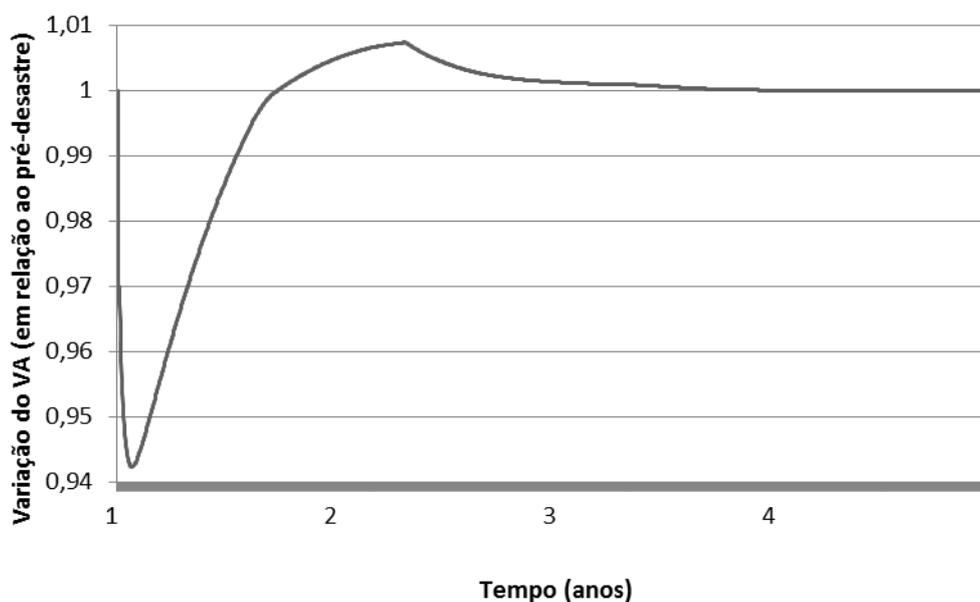


FIGURA 44 - VARIAÇÃO DO VALOR AGREGADO TOTAL EM FLORIANÓPOLIS EM PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AO PRÉ-DESASTRE

A reconstrução estará completa após cerca de 24 meses (2 anos), porém a produção total estará igual ou maior do que a condição inicial em menos de dois anos, graças à necessidade de reconstrução.

Conforme o cálculo do item 4.7.1, o desastre foi responsável pelo custo direto de 13 bilhões de reais, o que representa 20% do custo indireto estimado de 63 bilhões de reais. A FIGURA 45 mostra o montante necessário para reconstrução.

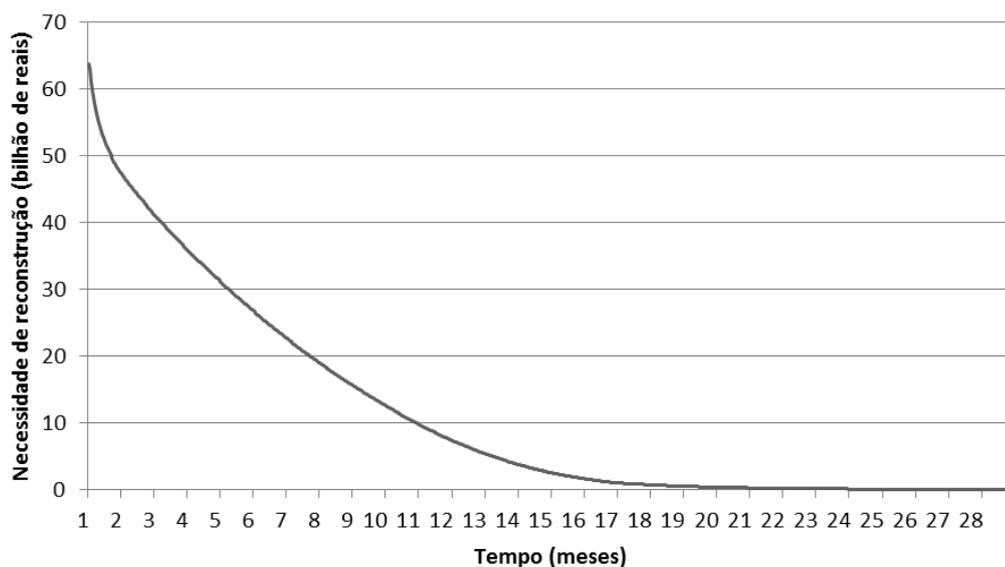


FIGURA 45 - NECESSIDADE DE RECONSTRUÇÃO EM FLORIANÓPOLIS EM BILHÕES DE REAIS

A simulação no ARIO, reproduzida na FIGURA 46, demonstra a alteração no VA nos 25 setores (eixo x) como uma função do tempo em meses (eixo y). A simulação mostra a redução do VA nos meses iniciais após o desastre em todos os setores, porém o setor de construção logo se recupera e aumenta o VA a níveis maiores do que antes do evento, devido a necessidade de reconstrução.

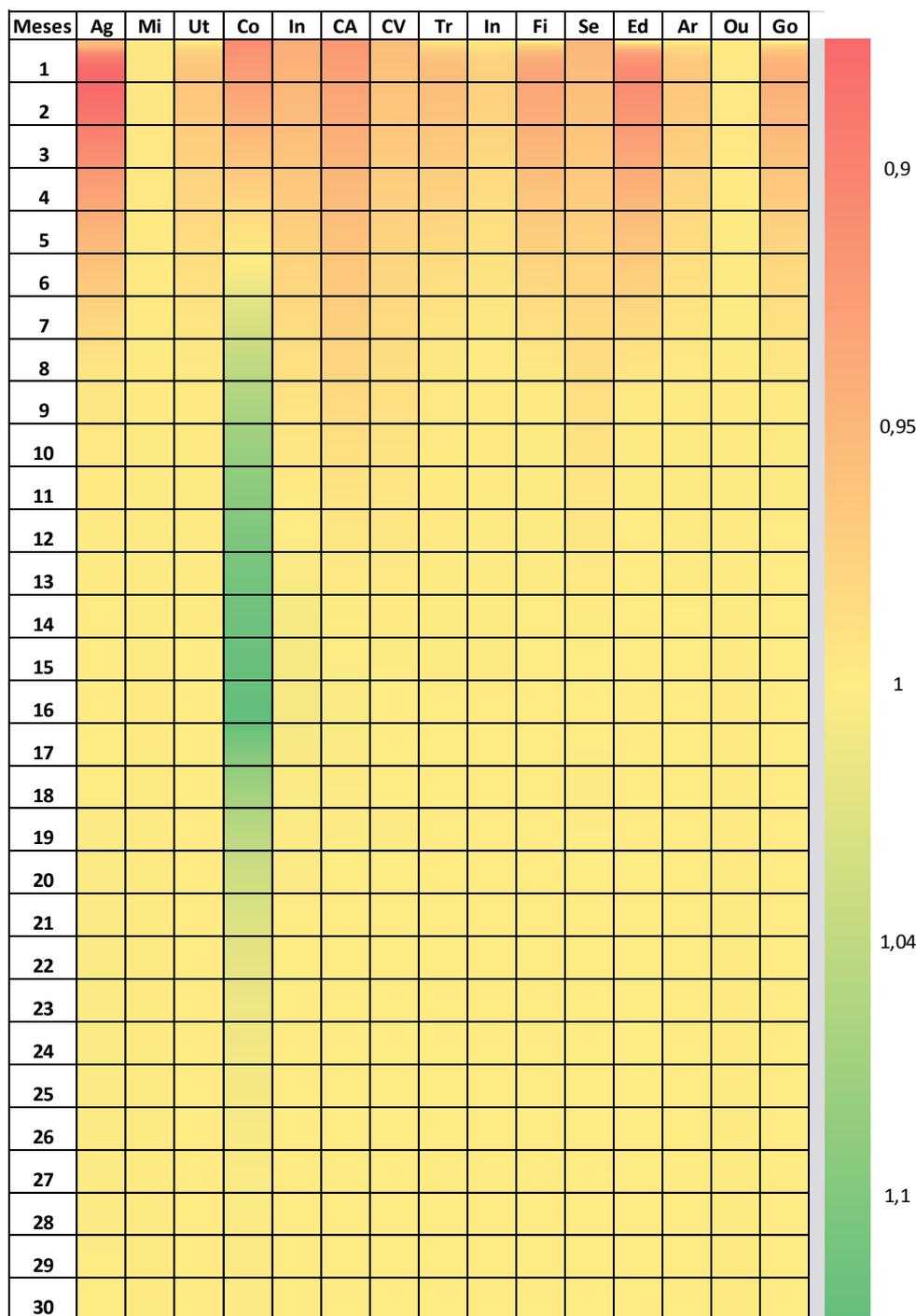


FIGURA 46 - MUDANÇA NO VA DOS SETORES EM PORCENTAGEM, ONDE A COR VERDE INDICA UM VA MAIOR DO QUE ANTES DO EVENTO, E A COR VERMELHA INDICA UM VA MENOR, CONFORME LEGENDA

A perda de empregos leva em consideração a população estimada pelo crescimento populacional. A FIGURA 47 reproduz a perda de empregos nos meses seguintes ao desastre. Após dois meses do evento ocorre o pico no desemprego, com 7% em relação ao momento pré-desastre, cerca de 31 mil empregos. Após estes dois meses iniciais, a taxa de desemprego diminui.

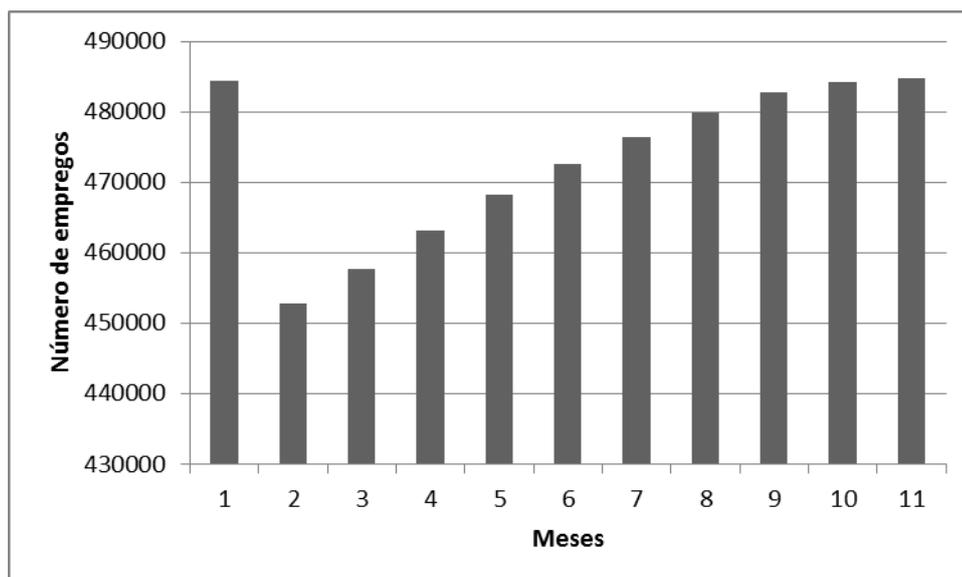


FIGURA 47 - EMPREGO TOTAL EM FLORIANÓPOLIS APÓS DESASTRE

Na FIGURA 48, é ilustrada a mudança na quantidade de empregos apenas do setor da construção. Após o desastre ocorre queda na quantidade de empregos, passado esses dois meses iniciais, ocorre alta demanda neste setor para suprir as necessidades de reconstrução.

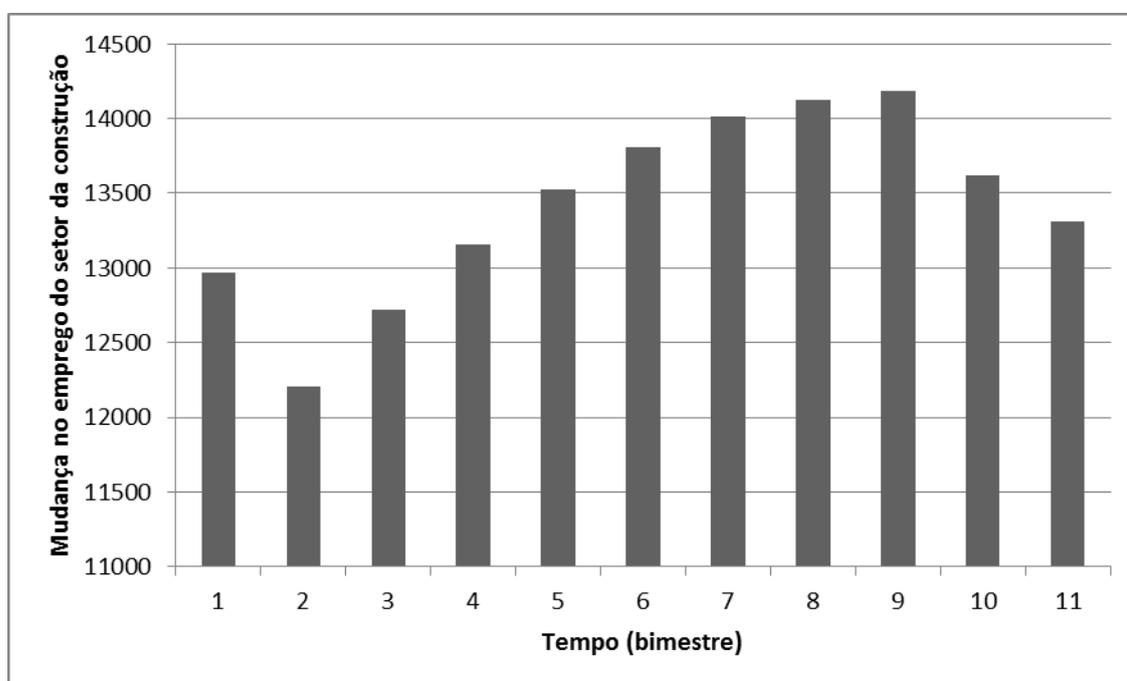


FIGURA 48 - EMPREGO TOTAL EM FLORIANÓPOLIS NO SETOR DE CONSTRUÇÃO

#### 4.8. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO

Como é possível observar a variabilidade climática impõe um desafio importante à sociedade, e futuras mudanças no clima parecem inevitáveis, isto torna o desenvolvimento de estratégias de adaptação necessárias (PBMC, 2014). As consequências de longo prazo das mudanças climáticas são um argumento importante em favor de políticas de mitigação e não devem ser desconsideradas.

Não considerar as mudanças climáticas atualmente pode levar ao aumento na vulnerabilidade e limitar a viabilidade de adaptação futura. Devido as projeções do IPCC (2013b) para a América do Sul, além do aumento do nível médio do mar, Florianópolis pode presenciar aumento na quantidade de ciclones tropicais, ondas de calor e aumento de precipitação. Gerenciar estes riscos de forma combinada pode levar a uma revisão das práticas adotadas de planejamento urbano no Município, de forma a reduzir o risco de desastres e criar medidas de adaptação frente às mudanças climáticas no dia a dia da cidade.

Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014), o poder público deverá estabelecer a obrigatoriedade de avaliação da dimensão climática nos processos decisórios referentes às políticas públicas. Dentre as principais ações, destaca-se:

- Ampliação da capacidade de observação sistemática e modelagem climática, geração de cenários climáticos futuros causados pelo aquecimento global e influência relativa do processo de urbanização;
- Implantar Sistemas de Prevenção e Alerta a Enchentes, Inundações e Deslizamentos, envolvendo a população, a defesa civil e órgãos competentes;
- Implantação de redes de monitoramento e formatação de banco de dados climáticos (informações históricas e registros atuais) nas cidades brasileiras principalmente aquelas mais afetadas por problemas relativos a eventos extremos;
- Avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre a saúde humana, promovendo medidas para prevenção e redução dos impactos em áreas urbanas;

- Aplicação de recursos destinados à pesquisa científica no estudo das causas e consequências do aumento de temperatura e mudanças dos regimes climáticos e hidrológicos, especialmente os extremos de determinadas regiões; bem como em pesquisa tecnológica visando à busca de alternativas para a redução da poluição atmosférica, poluição dos corpos d'água e do solo, elaboração de modelos hidrológicos e estudos integrados sobre os sistemas de captação, distribuição, drenagem e escoamento superficial, descarga de efluentes, assentamentos humanos em áreas de mananciais;

Um obstáculo específico para a adaptação em áreas urbanas são as modificações estruturais de infraestruturas que podem ser muito custosas e ocorrerem com muita morosidade.

Para medir os benefícios de medidas de adaptação é essencial considerar seus efeitos secundários positivos e negativos. Um exemplo de medida de adaptação que poderia ser considerado em Florianópolis é uma infraestrutura costeira designada para proteger a cidade contra o aumento do NMM e de ressacas, como um paredão de concreto nas praias. Esta estrutura iria acarretar uma drástica diminuição na atividade turística, pois iria deteriorar a beleza das praias, a saúde deste ecossistema, perda de lazer nas praias, entre outros prejuízos. Desta forma, uma parede de concreto na praia em Florianópolis não é uma opção para deter o aumento do NMM.

Devido aos estragos do tsunami no Japão no ano de 2011, o governo japonês está construindo uma muralha na costa atingida. A construção terá 12,5 metros de altura e se estenderá por pouco mais de 400 quilômetros ao longo da costa, o custo total será de 21 bilhões de reais. A principal crítica ao projeto afirma que a muralha vai prejudicar a paisagem, os ecossistemas marinhos e a indústria pesqueira local. Outra medida adotada pelo governo japonês é limitar o crescimento urbano em certas localidades atingidas pelo tsunami (TOBACE, 2015).

Não obstante, efeitos secundários negativos podem ser compensados em certa medida por efeitos secundários positivos. Criar políticas de zoneamento de uso do solo para limitar a urbanização e desenvolvimento em certas áreas que prejudicam a morfodinâmica das praias (por exemplo, excesso de urbanização em restinga de praias em processo erosivo em Florianópolis), iriam reduzir as perdas

(devido às ressacas, mesmo no NMM atual) nos dias atuais, e as ameaças do aumento do NMM só irá deixar esse zoneamento ainda mais desejável.

Outra forma de adaptação é preparar a sociedade para possíveis desastres. Hallegatte et. al (2010) cita, por exemplo, aumentar a resiliência da economia local, de modo a tornar os produtores de bens pouco dependentes de um pequeno grupo de fornecedores que estejam em zonas de risco.

Florianópolis, uma cidade que vive em grande parte do turismo, possui poucas e difíceis soluções para diminuir o impacto direto. Desta forma, pode ser levada para uma significativa perda devido aos custos indiretos e desemprego. Sendo assim, uma solução é buscar ajuda com o governo nacional para criar novas atividades para compensar estas possíveis perdas. Como o aumento do NMM pode prejudicar o modelo de negócio de Florianópolis, políticas específicas de adaptação podem ser úteis para ajudar no processo de transição com agilidade.

Este estudo demonstrou alguns impactos frente ao aumento do nível médio do mar e de ressacas, sendo estes riscos associados às mudanças climáticas. Importante limitação deste estudo é a não quantificação das incertezas das análises. As incertezas foram incorporadas em todas as etapas de análise. Cada uma das incertezas do QUADRO 9 poderá alterar significativamente o impacto econômico.

Fonte da incerteza	Descrição
Riscos futuros	Inclui incertezas nos cenários de emissões de gases do efeito estufa, alterando os cenários de elevação do NMM e a própria elevação do NMM em Florianópolis. Devido à precisão requerida o MDT utilizado deveria ter uma escala maior.
Exposição	A projeção do crescimento urbano e populacional foram realizadas a partir de um único cenário e poderão sofrer variações, os valores do custo direto foram calculados genericamente de acordo com a PGV.
Modelagem dos custos indiretos	Dados da economia de Florianópolis foram utilizados com base na economia de Santa Catarina. A distribuição das perdas diretas nos setores econômicos foi realizada de forma empírica, e podem ser refinados a partir de outros desastres passados. Foram utilizados parâmetros padrão do ARIQ, sem considerar a realidade econômica local do município, já que estes dados não estavam disponíveis. A matriz insumo produto utilizada foi do ano de 2011, sendo os impactos para 2100 calculados com base em valores deste ano. O impacto econômico foi considerado um evento único, entretanto, a elevação do NMM é gradual e deveria ser calculada desta forma.

QUADRO 9 - PRINCIPAIS INCERTEZAS INCORPORADAS NA ESTIMATIVA DO IMPACTO ECONÔMICO

Mais pesquisas devem ser realizadas para considerar as implicações das incertezas nas projeções climáticas para o planejamento das adaptações em Florianópolis. Por exemplo, este estudo deveria possuir gama maior de cenários de elevação do nível médio do mar e considera-lo no impacto econômico de forma gradual. O único cenário do futuro, como utilizado, não é totalmente adequado para fornecer informações sólidas para medidas de adaptação detalhada. Este estudo poderá servir de base e comparação para outros com cenários diferentes, de forma a estudos os diversos aspectos possíveis existentes.

Devido à incerteza das mudanças climáticas e do aumento do NMM, a antecipação na adaptação dos riscos requer elaborar defesas que permitam sua flexibilidade, de forma a levar em consideração as incertezas nas projeções e deixar possibilidade de melhorar as defesas se o aumento NMM for maior que o esperado.

Deve-se estabelecer um diálogo entre os diversos atores envolvidos, tais como órgãos públicos, empresas privadas e academia. O diálogo também deve acontecer dentro destes atores. Nos órgãos públicos deve haver maior interação entre setores governamentais, desde a melhora de coleta de dados do sistema

climático, até a promoção de medidas de adaptação e mitigação. Estas devem ser planejadas no longo prazo, e não apenas durante os quatro anos em que determinado governo está no poder.

Conforme Hallegatte et. al (2010), as incertezas sobre as mudanças climáticas são forte obstáculo para a implementação de medidas com antecedência. Enquanto que o custo das adaptações é imediato, os benefícios das medidas de adaptação são incertos e para o futuro. Por exemplo, realizar zoneamento restringindo a ocupação em zona que pode tornar-se vulnerável ao efeito de ressacas, possui custo político e econômico imediato, porém os benefícios desta medida de limitar perdas futuras são incertos.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou a aplicação de uma série de ferramentas para estimar o impacto econômico e informar o benefício de estratégias de adaptação para o aumento do NMM em Florianópolis para 2100. O objetivo deste trabalho não foi realizar uma avaliação minuciosa, mas estimar o impacto econômico do aumento do NMM para demonstrar a vulnerabilidade da capital catarinense, caso as previsões das mudanças climáticas do IPCC tornem-se realidade. O trabalho também expôs a real necessidade de buscar medidas de adaptação e mitigação efetivas.

Conforme o estudo demonstrou a elevação do NMM ocorrerá gradualmente no Município, contudo Florianópolis mostrou-se ser vulnerável a esta elevação e com pouca ou nenhuma proteção aos seus efeitos. Medidas estruturais simples, como a construção de diques, não cabem ao Município devido a suas características turísticas e paisagísticas. Devido às incertezas das projeções futuras acerca das mudanças climáticas, deve-se buscar alternativas de adaptação que forneçam benefícios para uma grande gama de cenários, tais como o zoneamento para gerenciar novas construções em áreas que já se encontram com alto risco devido à erosão costeira.

A modelagem da expansão urbana de Florianópolis mostrou que existem poucas áreas passíveis de ocupação urbana, principalmente devido aos ecossistemas difíceis de serem habitados, tais como morrarias íngremes, lagoas, dunas e mangues. Uma tendência que já ocorre na ilha é o adensamento da mancha urbana, fato que deverá se intensificar nos próximos anos. Foi verificado que a mancha urbana cresce num ritmo menor do que o crescimento populacional, e esta tendência deve perdurar.

Conforme estimado no estudo, de acordo com o cenário mais pessimista da elevação do NMM do IPCC para o ano de 2100 e o cenário modelado de expansão urbana e populacional para o mesmo ano com base na ONU, o custo total do aumento do nível do mar de 1 metro em um desastre súbito chegou em 63 bilhões de reais. Apenas o custo direto do impacto foi estimado em 13 bilhões de reais e as perdas de empregos foram de 31 mil postos de trabalho.

Além do impacto econômico, outros impactos não foram considerados neste estudo, tais como o impacto ambiental, perdas de vidas humanas, doenças, perda de competitividade estadual, perda de heranças culturais, perda de atratividades turísticas e muitas outras. Mesmo considerando apenas os impactos econômicos, o processo de reconstrução levaria em torno de dois anos.

As estimativas dos impactos das mudanças climáticas podem fornecer à população local um melhor entendimento dos benefícios de medidas agressivas de estratégias de adaptação. Como discutido, as estratégias políticas de adaptação precisam de um longo tempo para maturação para tornar-se efetivas (como o zoneamento). Estas estimativas em escala local despertam a atenção da população frente às mudanças climáticas para o debate sobre as opções possíveis de adaptação e mitigação.

Cabe ressaltar que esta metodologia é uma proposta e poderá ser replicada em outras situações (cheias de rios, secas e outros eventos) e em outros municípios. Mais pesquisas devem ser realizadas para detalhar os possíveis cenários de mudanças climáticas. Para que exista um conhecimento em escala local melhor, também é necessário que haja um monitoramento mais efetivo das variáveis que medem os efeitos das mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, J.C M. Datum Altimétrico Brasileiro. Cadernos de Geociências. Rio de Janeiro: Ed. IBGE, v. 5, 1990.
- BANCO MUNDIAL, Risk and Opportunity: Managing Risk for Development. Washington: World Bank, 2013
- BATISTA, P. V. de O. História de São Vicente. 2007. Disponível em: <<http://paulovictor.wordpress.com/2007/01/08/historia-de-sao-vicente/>>. Acesso em: 26 jul. 2014.
- BATTY, M.; XIE, Y.; SUN, Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. Computers, Environment and Urban Systems. Londres: Elsevier, v. 23, p. 205 – 233, 1999.
- BEZERRA, D. S.; AMARAL, S.; KAMPEL, M. Impactos da elevação do nível médio do mar sobre o ecossistema manguezal: a contribuição do sensoriamento remoto e modelos computacionais. Ciência e Natura. Santa Maria: UFSM, v. 35, n.2, p. 152-162, 2013.
- BIRD, E. Coastline changes. Nova Iorque: John Wiley and Sons, 1985.
- BLECIC, I.; CECCHINI, A.; PRASTACOS, P.; TRUNFIO, G. A.; VERIGOS, E. Modelling Urban Dynamics with Cellular Automata: A Model of the City of Heraklion. In: 7ª Agile Conference on Geographic Information Science, 2004, Heraklion. 2004. p. 313 – 323.
- CANONICA, A. Fotogrametria e Cálculo Eletroelectrónico nos Projetos de Vias de Comunicação. Lisboa: Separata do Boletim da Ordem dos Engenheiros. 1963.
- CHANGNON, S. A. Present and future economic impacts of climate extremes in the United States. Environmental Hazards. Champaign: Elsevier, v. 5, p. 47 – 50, 2003.
- CHORLEY, J.; HAGGET, P. Integrated models in geography. Londres: Methuen, 1967.
- CITY OF CHICAGO. Chicago climate action plan. 2008. Disponível em: <<http://www.chicagoclimateaction.org/filebin/pdf/finalreport/CCAPREPORTFINAL.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2014.
- COHEN, B. Urban growth in developing countries: a review of current trends and a caution regarding existing forecasts. World Development. Londres: Elsevier, v. 32, p. 23 – 51, 2004.
- COWEN, D. GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences? In.: PEUQUET, D.; MARBLE, D. Introductory readings in geographic information systems. Londres: Taylor & Francis, 1990.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS. Carta geológica do Brasil ao milionésimo: Folha Curitiba SG.22. Brasília: Secretaria de Minas e Metalurgia. 2004.

DALAZOANA, R. Estudos dirigidos a análise temporal do Datum Vertical Brasileiro. 2005. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005

DIAMOND, J. Colapso. São Paulo: Editora Record, 2007.

DNIT. IS-226: Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Básicos de Rodovias. In: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço – 3ª edição. DNIT - Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/ipr\\_new/download\\_manuais.htm](http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_manuais.htm)>. Acesso: 19 março 2014.

DÖHRMANN, D.; MARC, G.; HIBBLEN, M. An econometric analysis of the demand surge effect. Working Papers. Braunschweig: Institut für Finanzwirtschaft, 2013.

FHA. Project Development and Design Manual. Washington-DC: U.S. Department of Transportation. 2008.

FLORIANÓPOLIS. Planta Genérica de Valores. Lei complementar 480 de 20 de dezembro de 2013. Secretaria Municipal da Casa Civil, Florianópolis, SC. Diário oficial eletrônico do município de Florianópolis, ed. 1122, 2013.

GLOSS – GLOBAL SEA LEVEL OBSERVING SYSTEM. The global sea level observing system, 2014. Disponível em: <<http://www.gloss-sealevel.org/>>. Acesso em: 07 dez. 2014.

GOOGLE. Google Earth 7.1.1.1888 (software). Google. Mountain View, 2013.

GREATER LONDON AUTHORITY. The London climate change adaptation strategy. 2008. Disponível em: <<http://www.london.gov.uk/sites/default/files/Adaptation-oct11.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

GTIII-SIRGAS – GRUPO DE TRABALHO III - SIRGAS. Sistema de referência geodésico para as américas – SIRGAS: Boletim Informativo 7. Comitê-SIRGAS. Santiago, 2002.

HALLEGATE, S. An Adaptive Regional Input-Output Model and its Application to the Assessment of the Economic Cost of Katrina. Risk analysis. Malden: Wiley Library, v. 28, p. 779 – 799, 2008.

HALLEGATTE S.; PRZYLUSKI, V. The economics of natural disasters: concepts and methods. Policy Research Working Paper. Washington: World Bank, 2010.

HALLEGATTE, S.; HENRIET, F.; CORFEE-MORLOT, J.; The economics of climate change impacts and policy benefits in city scale: a conceptual framework. Climatic Change. Paris: Springer, v 104, p.51 – 87, 2011a.

HALLEGATTE, S.; RANGER, N.; MESTRE, O; DUMAS, P.; MORLOT, J. C.; HERWEIJER, C.; WOOD, R. M.. Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen. *Climatic Change*. Paris: Springer, v 104, p.113 – 137, 2011b.

HALLEGATTE, S. The Indirect Cost of Natural Disasters and an Economic Definition of Macroeconomic Resilience. Impact appraisal for sovereign disaster risk financing and insurance project: phase 1. Londres: The World Bank, 2013.

HALLEGATTE, S. Modeling the role of inventories and heterogeneity in the assessment of the economic costs of natural disasters. *Risk Analysis*. Paris: Wiley Library, v. 34, p. 152 – 167, 2014.

HANSON, S.; NICHOLLS, R.; RANGER, N.; HALLEGATTE, S.; CORFEE-MORLOT, J.; HERWEIJER, C.; CHATEAU, J. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic Change*. Southampton: Springer, v. 104, p. 89 – 111, 2011.

HAWKINGS, S. O grande projeto: novas respostas para questões definitivas da vida. São Paulo: Editora Nova Fronteira, 2011.

HENRIQUES, C. M. S. de O. Modelos input-output multiobjectivo com coeficientes intervalares para o estudo das interações economia-energia-ambiente. 2008. 473 f Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2008.

HERNANDEZ, F.; SCHAEFFER, P. The CLS01 Mean Sea Surface: A Validation with the GSFC00.1 Surface. CLS Ramonville St. Agne, France, 2001.

HORN, N. Ilha de Santa Catarina. In: MUEHE, D. (coord). Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília: MMA, 2006a.

HORN, N. Estágios de desenvolvimento costeiro no litoral da Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. *Revista discente Expressões Geográficas*. Florianópolis: UFSC, v. 2, p. 70 – 83, 2006b.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Matriz de insumo-produto Brasil 2000/2005. Contas Nacionais. Brasília: IBGE, v. 23, 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2010. 2010. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 29 jun. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Relatório de monitoramento da variação do nível médio do mar nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – 2001 – 2012. Rio de Janeiro. 2013a.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manuais técnicos em geociências: manual técnico de uso da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 3 ed., 2013b.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@. 2014. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 02 set. 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de Dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 12 jan. 2015.

IOC - INTERGOVERNAMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Paris: UNESCO, 1985

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Genebra: IPCC, 2007.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2013: summary for policymakers. Genebra: IPCC, 2013a.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Sea level change. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2013: the physical science basis. Genebra: IPCC, 2013b.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Central and South America. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Genebra: IPCC, 2014.

IPIF - INSTITUTO DE PLANEJAMENTO URBANO DE FLORIANÓPOLIS - IPIF. Mapa físico - político do município de Florianópolis. 4ªed., revisada e atualizada. Florianópolis, 1998.

JENKINS, K. L. Modelling the Economic and Social Consequences of Drought under Future Projections of Climate Change. 2011. 222 f. Tese (Doutorado em Filosofia). University of Cambridge, Cambridge, 2011.

KALIL, A. F. D. Uma contribuição ao estudo do nível médio do mar no estado do Rio de Janeiro. 1997. Dissertação (Mestrado). Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, 1997.

KLEIN, A. H. F., MENEZES, J. T., DIEHL, F. L., ABREU, J. G. N., POLETTE, M., SPERB, R. M., SPERB, R. C. Litoral centro norte. In: MUEHE, D. (coord). Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília: MMA, 2006.

LUO, J. Modeling spatial variations of urban growth patterns in Chinese cities: The case of Nanjing. Landscape and Urban Planning. Michigan: Elsevier, v. 91, p. 51-64, 2009.

MADEIRA, J. L.; SIMÕES, C. C. da S. Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação, de 1960/1980 por uma nova metodologia. *Revista Brasileira de Estatística*, v.33, n.129, p.3-11, 1972.

MAIN ROADS WA. Digital Photogrammetric Mapping. Document N. 67/08/44. Government of Western Australia. 2002.

MAIRIE DE PARIS. Plan climat de Paris. 2007. Disponível em: <<http://www.paris.fr/portail/viewmultimediacdocument?multimediacdocument-id=33859>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

MAZZER, A. M. Proposta metodológica para análise da vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira: aplicação em praias arenosas da costa sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina). 170f. (Doutorado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MCCANN, B. A.; EWING, R. Measuring the health effects of sprawl: a national analysis of physical activity, obesity and chronic disease. *Smart Growth America*. Washington, 2003

MILLER, R., P.; BLAIR, P. D. Input-output analysis: Foundations and extensions, New Jersey: Prentice Hall, 2ed., 2009.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos do Brasil. Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010.

MORAES, A. C. R. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. São Paulo: Annablume: ed. 2, 2007.

MOURA, A. C. M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte: Editora da autora, ed. 2, 2005.

MUEHE, D. Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. Brasil: v. 5, p. 173-183, 2010.

NEVES, C.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias Estratégicas*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, v. 27, 2008.

NICOLAU, A. P. S.; THIELSEN, S. Análise hidrodinâmica e de padrões de transporte de sedimentos e propostas para a recuperação da praia da Armação do Pântano do Sul – Florianópolis/SC. 131f. (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

NOGUEIRA, R. E. Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis: Editora da UFSC, ed. 2, 2008.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. World population prospects, the 2010 revision: comprehensive tables. Nova Iorque: ONU, v. 1, 2011.

PAN, M.; SJÖBERG, L. E. Unification of vertical datums by GPS and gravimetric geoid models with application to Fennoscandia. *Journal of Geodesy*. Delft: Springer, v. 72, n. 2, 1998.

PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do grupo de trabalho 2 do PBMC ao primeiro relatório da avaliação nacional sobre mudanças climáticas. Rio de Janeiro: COPPE, 2014.

PEREIRA FILHO, A. J.; PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I.; LIMA, R. S.; VIANNA, M. New perspectives on the synoptic and mesoscale structure of Hurricane Catarina. *Atmospheric Research*, v. 95, p. 157 – 171, 2009.

PERES, O. M. Crescimento urbano e hidrografia: dinâmicas morfológicas e articulação à paisagem natural. Dissertação de Mestrado UFPel PROGRAU. [S.l.], p. 132. 2010

PFEFFER W.T.; HARPER J.T.; O'NEEL S. Kinematic constraints on glacier contributions to 21st century sea level rise. *Science*. Washington: Science v. 321, p. 1340–1343, 2008

POLETTE, M. Planície do Perequê/Ilha de São Sebastião – diagnóstico e planejamento ambiental costeiro. Dissertação de mestrado em Ecologia e Recursos Naturais. Programa de pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, p. 136, 1993.

POLIDORI, M. C. Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. Tese de Doutorado UFRGS PPGECCO. p. 352. 2004.

POLIDORI, M. C.; KRAFTA, R. Crescimento urbano – fragmentação e sustentabilidade. *Anais do X Encontro Nacional da Anpur: Novas escalas e estratégias territoriais na gestão ambiental*. Pelotas, 2008.

POLIDORI, M. Simulações de crescimento urbano como instrumento de planejamento urbano e ambiental. Relatório de Pesquisa CNPQ. Pelotas. 2010.

PORTUGALI, J.; CASAKIN, H. The scope of complex artificial environments. *Complex Artificial Environments*. Heidelberg: Springer, 2005.

PMF - PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. Cidade. Disponível em <<http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/turismo/index.php>>. Acesso em: 06 set. 2014.

PUGH, D. T. *Tides, Surges and Mean Sea-Level*. Chichester: Swidon: John Wiley and Sons. 1996.

RAHMSTORF, S. Sea-level rise a semi-empirical approach to projecting future. *Science*. Washington: Science v. 315, p. 368 – 370, 2007

RANGER, N.; HALLEGATE, S.; BHATTACHARYA, S.; BACHU, M.; PRIYA, S.; DHORE, K.; RAFIQUE, F.; MATHUR, P.; NAVILLE, N.; HENRIET, F.; HERWEIJER, C.; POHIT, S.; CORFEE-MORLOT, J. An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai. *Climatic Change*. Southampton: Springer v. 104, p. 139 – 167, 2010.

REIS, A. F. Ilha de Santa Catarina: permanências e transformações. Florianópolis: Editora da UFSC, 2012.

RIO DE JANEIRO (Município). Política municipal de mudanças climáticas. Lei 5.248, de 27 de janeiro de 2011. Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Rio de Janeiro, RJ, 27 jan. 2011. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/exibeConteudo?article-id=2209009>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

ROSE, A. Economic principles, issues and research priorities in hazard loss Estimation. In: OKUYAMA, Y.; CHANG, S. E. (eds.) *Modelling Spatial and Economic Impacts of Disasters*. New York: Springer, 2004. Disponível em <[http://books.google.com.br/books?id=9dgd2oH2zUYC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.br/books?id=9dgd2oH2zUYC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 02 ago. 2014.

ROSMAN, P. C. C. (coord.). Vulnerabilidades da zona costeira brasileira às mudanças climáticas: extrato sobre custos patrimoniais de adaptação. Rio de Janeiro: Fundação Coppetec, 2009.

SANTOS, A. M. S. P. Urbanização brasileira: um olhar sobre o papel das cidades médias na primeira década do século XXI. *Revista brasileira de estudos urbanos e regionais*. São Paulo: Anpur v.12, n. 2, p. 103 – 122. 2010.

SANTUR - SANTA CATARINA TURISMO. Estatísticas e indicadores turísticos. Disponível em <<http://turismo.sc.gov.br>> Acesso em: 06 dez. 2014.

SÃO PAULO (Município). Política de mudança do clima no município de São Paulo. Lei 14.933, de 05 de junho de 2009. Secretaria do Governo Municipal, São Paulo, SP, 05 jun. 2009. Disponível em: <[http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios\\_juridicos/cadlem/integr\\_a.asp?alt=06062009L%20149330000%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20&secr=28&depto=0&descr\\_tipo=LEI](http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integr_a.asp?alt=06062009L%20149330000%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20&secr=28&depto=0&descr_tipo=LEI)>. Acesso em: 31 jul. 2014.

SARAIVA, M. V. P.; POLIDORI, M. C.; PERES, O. M.; TORALLES, C. P. CityCell – Urban Growth Simulator (software). LabUrb – Laboratório de Urbanismo da FAUrb. Pelotas: UFPel. 2011.

SARAIVA, M. V. P. Simulação de crescimento urbano em espaços celulares com uma medida de acessibilidade: método e estudo de caso em cidades do sul do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado) – Programa de PósGraduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, 2013.

SARAIVA, M. V. P.; POLIDORI, M. C. CityCell - Urban Growth Simulator 4.0.1 (software). LabUrb - Laboratório de Urbanismo da FAUrb. Pelotas: UFPel, 2014.

SAURIM, E. Crescimento urbano simulado para Santa Maria - RS. Dissertação de Mestrado - PROPUR UFRGS. Porto Alegre. 2005

SDS - SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL/SC. Levantamento aerofotogramétrico. 2014. Disponível em <[http://www.sds.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=34&Itemid=209&lang=brazilian\\_portuguese](http://www.sds.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=209&lang=brazilian_portuguese)> Acesso em: 19 mar. 2014.

SEEBER, G. Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications. Berlin: Walter de Gruyter, ed. 2, 2003.

SILVA, D. C.; COSTA, G. C. Aerofotogrametria em projetos de estradas. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 13p. 2010.

SILVA, E. A. Cenários de Expansão Urbana na Área Metropolitana de Lisboa. Revista de Estudos Regionais – Região de Lisboa e Vale do Tejo. Lisboa: – 2º sem.. p. 23 a 41, 2011.

SIMÓ, D.H., HORN FILHO, N. O. Caracterização e distribuição das ressacas e áreas de risco na Ilha de Santa Catarina. Gravel. Porto Alegre: UFRGS, v. 02, p. 93-103, 2004.

STANILOV, K; BATTY, M. Exploring the Historical Determinants of Urban Growth Patterns through Cellular Automata. Transactions in GIS. Oxford: Blackwell Publishing v. 15, p. 253 – 271, 2011.

SUDHIRA, H.S.; RAMACHANDRA, T.V.; JAGADISH, K.S. Urban sprawl: metrics, dynamics and modeling using GIS. International journal of applied earth observation and geoinformation. Enschede: Elsevier v. 5, p. 29 – 39, 2003.

TOBACE, E. Japão constrói muralha contra tsunamis. BBC Brasil, mar. 2015. Disponível em: <[http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2015/03/150326\\_japao\\_muralha\\_tsunami\\_fn](http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2015/03/150326_japao_muralha_tsunami_fn)>. Acesso em 06 jun. 2015.

TORONTO ENVIRONMENT OFFICE. Ahead of the storm: preparing Toronto for climate change. 2008. Disponível em: <<http://www.climateneeds.umd.edu/reports/Toronto%20City-Preparing%20Toronto%20for%20Climate%20Change.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

TORALLES, C. P. Cidade e crescimento periférico: morfologia e modelagem da formação do tecido urbano. Dissertação de Mestrado UFPel PROGRAU. Pelotas. 2013.

TORRENS, P. M.; ALBERTI, M. Measuring Sprawl. Association of Collegiate Schools in Planning Conference. Londres: Centre for Advanced Spatial Analysis, 2000.

TORRENS, P. M.; O'SULLIVAN, D. Cellular automata and urban simulation: where do we go from here?. *Environmental and Planning B: Planning and Design*. Londres: Pion. v. 28. p. 163 – 168, 2001

VILIER, J.; KOK, M.; NICOLAI, R. P. Assessment of the losses due to business interruption caused by large-scale floods. In: STEENBERGEN, (ed.). *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*. Londres: Taylor & Francis Group, p. 2415 – 2423, 2014.

XAVIER-DA-SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Sistemas de informação geográfica: uma proposta metodológica. 2º Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1993, São Paulo. Anais..., São Paulo: USP, 1993.

XIAN, G.; CRANE, M. Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*. Minnesota: Elsevier v. 97. p. 203 – 215, 2005.

WIOD - WORLD INPUT-OUTPUT DATABASE. WIOD Home. 2015. Disponível em: <[http://www.wiod.org/new\\_site/home.htm](http://www.wiod.org/new_site/home.htm)>. Acesso em: 24 jul. 2014.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes. Genebra: WMO. 2014.

WU, J.; LI, N.; HALLEGATTE, S.; SHI, P.; HU, A.; LIU, X.; Regional indirect economic impact evaluation of the 2008 Wenchuan Earthquake. *Environmental Earth Science*. Heidelberg: Springer-Verlag v. 65, p. 161 – 172, 2012.