



Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Centro de Ciências Exatas e da Terra  
Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica

**TESE DE DOUTORADO**

**ZONEAMENTO DA DINÂMICA COSTEIRA – APLICAÇÃO DE  
GEOTECNOLOGIAS EM APOIO À GESTÃO COSTEIRA  
INTEGRADA NA PRAIA ATALAIA-PA E TRECHO DE PRAIAS  
ENTRE OS MUNICÍPIOS DE GUAMARÉ E MACAU-RN,  
SETOR SOB INFLUÊNCIA DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA.**

**Autora:**

**DÉBORA VIEIRA BUSMAN**

**Orientador:**

**Prof. Dr. VENERANDO EUSTÁQUIO AMARO**

**Co-orientador:**

**Prof. Dr. PEDRO WALFIR MARTINS E SOUZA FILHO**

**Tese n.º 47/PPGG.**

**Natal-RN, Março de 2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA**

**TESE DE DOUTORADO**

**ZONEAMENTO DA DINÂMICA COSTEIRA – APLICAÇÃO DE  
GEOTECNOLOGIAS EM APOIO À GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA NA  
PRAIA ATALAIA-PA E TRECHO DE PRAIAS ENTRE OS MUNICÍPIOS DE  
GUAMARÉ E MACAU-RN, SETOR SOB INFLUÊNCIA DA INDÚSTRIA  
PETROLÍFERA.**

Autora:

**Débora Vieira Busman**

Tese apresentada em 04 de março de dois mil e dezesseis, ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN como requisito à obtenção do Título de Doutorado em Geodinâmica e Geofísica, com área de concentração em Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

**Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (orientador)**

**Profa. Dra. Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro**

**Prof. Dr. Pedro Souza Pereira**

**Profa. Dra. Ada Cristina Scudelari**

**Prof. Dr. Ricardo Farias Amaral**

Natal-RN, Março de 2016.

## Catalogação da Publicação na Fonte

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Sistema de Bibliotecas  
Biblioteca Central Zila Mamede / Setor de Informação e Referência

Busman, Débora Vieira.

Zoneamento da dinâmica costeira - aplicação de geotecnologias em apoio à gestão costeira integrada na praia Atalaia-PA e trecho de praias entre os municípios de Guamaré e Macau-RN, setor sob influência da indústria petrolífera. / Débora Vieira Busman. - 2016.

185 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro.

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho.

1. Erosão costeira – Tese. 2. Vulnerabilidade socioambiental – Tese. 3. Gestão costeira – Tese. 4. Risco socioambiental – Tese. 5. Risco de inundação – Tese. 6. Criticidade de gestão - Tese. I. Amaro, Venerando Eustáquio. II. Souza Filho, Pedro Walfir Martins e. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 551.435.33

# DEDICATÓRIA

Dedico esta tese à minha querida e amada família,  
por todo amor e dedicação.  
Que seja eterno!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jeová Deus, fonte de vida e energia, pela oportunidade que me dá dia a dia de viver uma vida plena de alegria e pelo amor leal tão forte e sem fronteiras com que cuida de nós;

À minha querida e preciosa família, sempre ao meu lado, na minha mente e coração, pelo intenso amor que não conhece distâncias e por comigo vivenciar o verbo amar em grau superlativo;

Ao meu orientador Prof. Dr. Venerando Amaro, por ser não apenas um excelente profissional e mentor, sempre dando apoio, sugestões inteligentes e por nos instigar na pesquisa, mas ainda mais pelo grande ser humano, de caráter, força e integridade, com quem tenho o prazer de conviver;

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Pedro Walfir Souza Filho, por acreditar nesta pesquisa quando ainda não estava no papel, quando era apenas uma ideia, e pela constante ajuda e apoio indispensáveis nos trabalhos realizados no Pará;

Aos colegas dos laboratórios GEOPRO em Natal/RN e LAIT em Belém/PA, por todo auxílio dado e por tornarem esta trajetória mais divertida;

À equipe técnica e administrativa do GEOPRO e do LAIT, que tem ajudado em laboratório e em campo, por serem tão queridos e prestativos em todos os momentos;

À secretária da pós-graduação Nilda, santa Nilda, sempre tão prestativa e tão querida, a quem ajudar e partilhar são verbos conjugados a todas as pessoas, sempre fazendo o bem, não importando a quem;

Aos colegas da pós, pela troca de experiência no trabalho e na vida, pela convivência tão alegre nestes anos;

Aos professores da pós, por compartilharem conhecimento e experiência, contribuindo para meu crescimento profissional e pessoal;

Ao programa de pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, por toda estrutura disponibilizada para a realização do doutoramento;

À CAPES pela bolsa concedida, fundamental para a execução da pesquisa;

Aos amigos de fé e irmãos camaradas, de diferentes países e continentes, com quem tenho aprendido a viver uma vida mais e mais significativa. Grazie a tutti;

Aquele que, com pensamento positivo, com ajuda prática ou com um sorriso, me incentiva a prosseguir.

## EPÍGRAFE

Então Jeová respondeu ...  
 “Por favor, prepare-se como um homem;  
 Eu lhe farei perguntas, e você me informará.  
 Onde você estava quando lancei os alicerces da terra?  
 Responda-me, se você acha que tem entendimento.  
 Quem estabeleceu as medidas dela, caso você saiba,  
 Em que se encaixaram as suas bases,  
 E quem fechou com portas o mar  
 Quando estabeleci meu limite para ele  
 E coloquei suas portas e trancas,  
 E disse: ‘Você pode chegar até aqui, não além disso;  
 Aqui param as suas ondas orgulhosas’?  
 Você já deu ordens à manhã  
 Ou fez a aurora saber seu lugar,  
 Você já desceu às fontes do mar  
 Ou explorou as águas profundas?  
 Você compreende a imensidão da terra?  
 Responda-me, se você sabe tudo isso.  
 De onde a luz se propaga,  
 E de onde o vento leste sopra sobre a terra?  
 Quem abriu um canal para o aguaceiro  
 E fez um caminho para a trovejante nuvem de tempestade,  
 Para fazer chover onde não mora ninguém,  
 No deserto, onde não há nenhum humano,  
 Para saciar lugares devastados  
 E fazer a relva brotar?  
 Você pode fazer sair uma constelação na sua estação,  
 Por acaso você conhece as leis que governam os céus,  
 Será que você pode erguer a sua voz até as nuvens,  
 Para fazer com que um aguaceiro o cubra?  
 Por acaso você pode enviar raios?  
 Será que eles vêm e lhe dizem: ‘Aqui estamos!’?  
 Quem pôs sabedoria nas nuvens,  
 Ou deu entendimento aos fenômenos celestes?  
 Quem tem sabedoria para contar as nuvens,  
 Ou quem pode despejar os jarros de água do céu”?  
 “Pare e reflita nas obras maravilhosas de Deus”.

– Jó 37, 38 –

## RESUMO

Impactos causados por mudanças climáticas na zona costeira, como inundação, erosão costeira, tempestades extremas e ondas de calor, têm resultado em milhares de mortos, bilhões de feridos e bilhões de euros em perdas financeiras. O Brasil está entre os dez países mais afetados por mudanças climáticas e as regiões norte e nordeste do país sofrerão os maiores impactos. Para estudar a vulnerabilidade social dos municípios costeiros de Macau e Guamaré/RN (NE do Brasil) e Salinópolis/PA (N do Brasil), sujeitos a diferentes dinâmicas ambientais e socioeconômicas, foram aplicados quatro índices de vulnerabilidade socioeconômica. Guamaré foi o município de maior vulnerabilidade social em três métodos e Salinópolis foi o mais vulnerável no quarto método. Portanto, o incremento econômico resultante do setor industrial em Macau e Guamaré não está subsidiando melhorias sociais maiores que o setor de serviços em Salinópolis. Este estudo também permitiu identificar quais variáveis devem constar em análises de vulnerabilidade física, além de diminuir a subjetividade na escolha destas variáveis. Os municípios costeiros de Macau e Guamaré apresentam múltiplos conflitos de uso e ocupação do solo devido as principais atividades econômicas consistirem nas indústrias do petróleo e gás, carcinicultura, salinicultura e eólica instaladas em setores de grande susceptibilidade ambiental a impactos decorrentes de mudanças climáticas. Salinópolis apresentou maior vulnerabilidade costeira por não ter políticas sustentáveis de gestão costeira e sua orla em parte foi ocupada por casas onde a dinâmica erosiva forte, gerando constante gasto com obras de proteção costeira. As áreas de maior risco e criticidade de gestão ao risco de inundação foram a zona urbana, onde estão situadas as atividades econômicas principais, e áreas de manguezal. Projeções nestes municípios indicaram que centenas a milhares de pessoas estarão em risco de inundação até 2100, gerando perdas ambientais e socioeconômicas na ordem de até centenas de milhões de dólares. Estes resultados podem subsidiar a gestão costeira integrada destes municípios e os índices testados são replicáveis tanto em municípios costeiros quanto interiores.

**Palavras-chave:** vulnerabilidade socioambiental, gestão costeira, erosão, risco a inundação.

## ABSTRACT

Climate change on the coastal zone causes impacts such as inundation, coastal erosion, storm surges and heatwaves and have resulted in millions of dead, billions of injured people and billions of dollars in economic losses. Brazil is among the top ten countries affected by climate change and the North and Northeast regions will suffer most of the impacts. In order to study the socioeconomic vulnerability of coastal counties of Macau and Guamaré/RN (NE of Brazil) and Salinópolis/PA (N of Brazil), which are exposed to different environmental and social-economics dynamics, were applied four indexes of Socioeconomic Vulnerability. Guamaré was the county with highest vulnerability in the first three methods and Salinópolis was the most vulnerable in the fourth method. Therefore, the economic profit obtained with industries installed in Macau and Guamaré is not generating greater social development, then the services sector of Salinópolis. This research also identified which variables would be used in physical vulnerability index, and reduced the subjectivity in the choice of them. The coastal counties of Macau and Guamaré feature multiple conflicts of land use/land cover since the main economic activities consist in the oil and gas industries, salt and shrimp farming, and wind power installed in segments of great environmental susceptibility to climate change impacts. Salinópolis had greater coastal vulnerability because haven't sustainable shoreline management policies, and the shoreline is partially occupied by houses where the coastal dynamics are strong, resulting in constantly spent on coastal protection. The areas under greatest risk and criticality to flooding were the urban areas, where are the main economic activities, and mangrove areas. Projections indicated that in these counties hundreds to thousands of people will be at flooding risk until 2100, resulting in environmental and socio-economic losses at hundreds or even millions of dollars. These results may support the decision-making process for environmental managers and tested methods are replicable in both coastal as inner counties.

**Keywords:** Socioeconomical vulnerability, coastal management, erosion, flooding risk.

# ÍNDICE DA TESE

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DA TESE	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
LISTA DE SIGLAS	xix
<b>Capítulo 1 - Introdução</b>	<b>22</b>
1.1. Motivação, Justificativa e hipótese da tese	25
1.2. Objetivos	26
1.2.1. Geral	26
1.2.2. Específicos	27
1.3. Estrutura da tese	27
<b>Capítulo 2 - Fundamentação Teórica e Estudos Pretéritos</b>	<b>29</b>
2.1. Fundamentação teórica - Definições de terminologias	29
2.2. Estudos Pretéritos de Vulnerabilidade	34
2.3. Cenários de aumento relativo do Nível Médio do Mar	36
<b>Capítulo 3 - Localização e Caracterização das Áreas de Estudo</b>	<b>38</b>
<b>Capítulo 4 - Metodologia</b>	<b>42</b>
4.1. Diagnóstico Socioeconômico	45
4.1.1. Análise de Componentes Principais	47
4.1.2. Índices de Vulnerabilidade Socioeconômica	48
4.1.2.1. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal - IVSM	49
4.1.2.2. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal - IVSF	50
4.1.2.3. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira - IVSC	51
4.1.2.4. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica - IVS	52
4.2. Vulnerabilidade Física	52
4.2.1. Ponderação das variáveis	52
4.2.2. Classes das variáveis	53
4.2.3. Índices de vulnerabilidade física	54
4.2.3.1. Índices de vulnerabilidade física com lógica booleana	56
4.2.3.2. Índices de vulnerabilidade física com lógica <i>fuzzy</i>	57

4.2.4. Análise de Componentes Principais	58
4.3. Vulnerabilidade Socioambiental	59
4.4. Análise de Área Inundável	60
4.5. Análise de Risco socioambiental a cenários de inundação	61
4.6. Análise de Criticidade de gestão ao risco de inundação	62
4.7. Índice de Vulnerabilidade Costeira	63
4.7.1. Variação da linha de costa	65
<b>Capítulo 5 - Resultados e Discussão</b>	<b>67</b>
5.1. Diagnóstico Socioeconômico	67
5.2. Vulnerabilidade Socioeconômica	75
5.2.1. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM)	77
5.2.2. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IVSF)	80
5.2.3. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira (IVSC)	82
5.2.4. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVS)	82
5.2.5. Comparação entre os Índices de Vulnerabilidade Socioeconômica	83
5.3. Vulnerabilidade Física	87
5.3.1. Processo Analítico de Hierarquia das variáveis físicas	87
5.3.2. Classes de vulnerabilidade por variável física - Macau e Guamaré/RN	89
5.3.3. Classes de vulnerabilidade por variável física - Salinópolis/PA	91
5.3.4. Análise de Componentes Principais - Macau e Guamaré/RN	93
5.3.5. Análise de Componentes Principais - Salinópolis/PA	95
5.3.6. Análise dos índices de vulnerabilidade física em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN	97
5.3.6.1. Índices Vulnerabilidade Natural (VN), Ambiental (VA) e Ambiental à Erosão e Inundação Costeira (VNMM)	97
5.3.6.2. Índices Vulnerabilidade ambiental Relativa (VR), Ambiental relativa ao Uso do solo (VU) e Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM)	102
5.3.7. Análise dos índices de vulnerabilidade física em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA	104
5.3.7.1. Índices Vulnerabilidade Natural (VN), Ambiental (VA) e Ambiental à Erosão e Inundação Costeira (VNMM)	104
5.3.7.2. Índices Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM)	107
5.3.7.3. Comparação entre os índices com lógica booleana e com lógica <i>fuzzy</i>	107
5.4. Vulnerabilidade Socioambiental	108
5.4.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN	108
5.4.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA	111
5.5. Análise de Área Inundável	113
5.5.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN	113
5.5.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA	118

5.6. Risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do Nível Médio do Mar	120
5.6.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN	120
5.6.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA	123
5.7. Criticidade de gestão ao risco de inundação	124
5.7.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN	124
5.7.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA	130
5.8. Variação da Linha de Costa – Diagnóstico e Projeção	134
5.8.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN	134
5.8.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA	141
5.9. Índices de Vulnerabilidade Costeira	148
5.9.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN	148
5.9.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA	150
<b>Capítulo 6 - Conclusões e Recomendações</b>	<b>154</b>
REFERÊNCIAS	160
ANEXOS	175

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Componentes dos riscos associados a mudanças climáticas. Adaptado de IPCC (2014).	32
Figura 2.2	Riscos Globais - Projeção 2016. Fonte Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016).	33
Figura 2.3	Riscos Globais - Projeção para os próximos meses e para os próximos 10 anos. Fonte Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016).	33
Figura 2.4	Aumento global do Nível Médio do Mar segundo os caminhos representativos de concentração (RCP) (IPCC, 2013).	37
Figura 3.1	Mapa de localização dos municípios (a) Macau e Guamaré / RN e (b) Salinópolis / PA.	39
Figura 3.2	Vista aérea da Praia do Atalaia durante a baixa-mar (abril 2012) (a) do setor comercial (restaurantes-palafita e barracas na praia), (b) das segunda-residências e do afloramento de rochas calcáreas da formação Pirabas (seta preta), (c) muro vertical e gabião em madeira preenchido com pedra (d) estaqueamento de madeira (seta amarela).	41
Figura 3.3	Vista aérea da zona costeira de Macau e Guamaré apresentando (março/2012) (a) a indústria eólica (seta preta) e carcinicultura (seta amarela) e (b) exploração de petróleo (seta preta) em linha de costa protegida por enrocamento (seta amarela).	41
Figura 4.1	Estratégia metodológica aplicada para análise de Vulnerabilidade, Risco e Criticidade Socioambiental, com aplicabilidade para a gestão integrada e governança.	43
Figura 4.2	Estratégia metodológica para escolha de variáveis socioeconômicas usadas no diagnóstico socioeconômico e nos índices de vulnerabilidade socioeconômica aplicados.	45
Figura 4.3	(a) Classes de geomorfologia convertidas em (b) classes de vulnerabilidade física.	54
Figura 5.1	Variáveis socioeconômicas parametrizadas para os censos demográficos 1991, 2000 e 2010. Variáveis 1 a 11 quanto maior o valor, mais vulnerável. Variáveis 12 a 17 quanto maior o valor, menos vulnerável.	71
Figura 5.2	(a) Valor percentual do PIB por setor de atividade e (b) porcentagem de ocupados por setor de atividade, número de domicílios permanentes e indicador de saúde (censo 2010). A soma dos dados do PIB por setor de atividade, como também a soma de ocupados por setor de atividade, se complementam em 100%.	73
Figura 5.3	Variação decadal do IVSM para os municípios estudados, para os estados e para o Brasil.	78
Figura 5.4	Variação do IVSM Total e subíndices entre os anos 1991 a 2010.	79

Figura 5.5	Varição anual do Índice e dos subíndices de vulnerabilidade socioeconômica baseado no Índice Firjan (IVSF) para os municípios estudados.	80
Figura 5.6	Varição do Índice de vulnerabilidade socioeconômica baseado no Índice Firjan - índice total e subíndices entre os anos 2005 a 2011.	81
Figura 5.7	Índice de vulnerabilidade socioeconômica Costeira e variáveis integrantes.	82
Figura 5.8	Índice de vulnerabilidade socioeconômica e variáveis integrantes.	83
Figura 5.9	Comparação entre os índices de vulnerabilidade socioeconômica.	84
Figura 5.10	Correlação de Pearson entre os índices de vulnerabilidade socioeconômica e entre os municípios estudados.	84
Figura 5.11	Ponderação das variáveis segundo Processo Analítico de Hierarquia para análises de vulnerabilidade com (a) lógica booleana e (b) lógica <i>fuzzy</i> .	89
Figura 5.12	Distribuição das classes de vulnerabilidade por variável na (a) área total, (b) Macau e (c) Guamaré.	89
Figura 5.13	Distribuição das classes de vulnerabilidade por variável em Salinópolis/PA.	92
Figura 5.14	Mapas de vulnerabilidade física para os municípios de Macau e Guamaré/RN segundo os índices de Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA), Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM), Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU), Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM).	98
Figura 5.15	Classes (a) Normal e (b) Acumulada da Vulnerabilidade Natural (VN), Ambiental (VA), Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM), Ambiental Relativa (VR), Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) em Macau e Guamaré/RN.	99
Figura 5.16	Assimetria da curva de vulnerabilidade física com lógica booleana Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA) e Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) para as áreas (a) total e (b) Macau (MAC) e Guamaré (GUAM).	100
Figura 5.17	Assimetria da curva de vulnerabilidade física com lógica <i>fuzzy</i> Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade ambiental relativa ao Uso do solo (VU) e Vulnerabilidade ambiental relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR- NMM) para as áreas (a) total e (b) Macau (MAC) e Guamaré (GUAM).	103
Figura 5.18	Mapas de vulnerabilidade física do município de Salinópolis/PA segundo os índices de Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA), Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar - VNMM, Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do nível médio do mar (VR-NMM).	105

- Figura 5.19 Classes (a) Normal e (b) Acumulada da Vulnerabilidade Natural (VN), Ambiental (VA), Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM), Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) em Salinópolis/PA. 106
- Figura 5.20 Assimetria da curva de vulnerabilidade física com lógica booleana Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA), Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) e com lógica *fuzzy* Vulnerabilidade ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade ambiental relativa ao Uso do solo (VU) e Vulnerabilidade ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR- NMM) em Salinópolis/PA. 106
- Figura 5.21 Mapas de vulnerabilidade socioambiental de Macau e Guamaré/RN de acordo com os índices (a) VNMM-IVSM (b) VNMM-IVSF, (c) VR-NMM-IVSM e (d) VR-NMM-IVSF. 110
- Figura 5.22 Classes de vulnerabilidade socioambiental para os municípios de Macau e Guamaré/RN. 111
- Figura 5.23 Mapas de vulnerabilidade socioambiental de Salinópolis/PA. 112
- Figura 5.24 Classes de vulnerabilidade socioambiental para o município de Salinópolis/PA. 113
- Figura 5.25 Sede municipal de Macau (ponto vermelho) margeada pelo rio Piranhas-Assu e por salinicultura/carcinicultura. Fonte: Imagens Landsat 8 e Google Earth. 114
- Figura 5.26 Projeção de área inundável a 1m, 2m e 10m de elevação do nível médio do mar em proporção para a área total de cada município. 115
- Figura 5.27 Mapa da Área Inundável para os municípios de Macau e Guamaré/RN. 115
- Figura 5.28 Sede municipal de Guamaré (ponto vermelho), entre rios Aratuá e Miassaba. Fonte: Imagens Landsat 8 e Google Earth. 116
- Figura 5.29 Comunidade de Diogo Lopes/Macau. Perspectiva na maré baixa (a) e (b) e na maré alta (c) e (d). Fonte: GEOPRO (novembro 2014). 117
- Figura 5.30 Mapa da Área Inundável para o município de Salinópolis/PA. 118
- Figura 5.31 Maré alta incidindo sobre obras de contenção à erosão na praia do Atalaia, Salinópolis/PA durante (a) período chuvoso (abril de 2012) e (b) período seco (novembro 2014). 119
- Figura 5.32 Mapas de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar para os municípios de Macau e Guamaré/RN. 120
- Figura 5.33 Classes de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar para os municípios de Macau e Guamaré/RN. 121
- Figura 5.34 Mapa de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar para o município de Salinópolis/PA. 123
- Figura 5.35 Classes de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar para o município de Salinópolis/PA. 124

- Figura 5.36 Criticidade da Vegetação e Uso do Solo frente ao risco de inundação para os municípios de Macau e Guimarães/RN. Em azul e vermelho estão os índices mais otimista e mais pessimista, respectivamente. Valores das áreas em proporção de cada município. 126
- Figura 5.37 Criticidade da Vegetação e Uso do Solo frente ao risco de inundação para o município de Salinópolis/PA. Em azul e vermelho estão os índices mais otimista e mais pessimista, respectivamente. Valores das áreas em proporção da área total do município. 131
- Figura 5.38 Taxas de variação da linha de costa em (m/ano) na (A) Praia de Camapum, (B) Praia de Soledade (em preto estrada e enrocamento e Campos petrolíferos de Macau e Serra (1 a 7) e do parque eólico - Petrobras), (C) Comunidade de Diogo Lopes na região estuarina, (D) Ilha do Fernandez e (E) Praia do Minhoto, trechos de praia entre Macau e Guimarães/RN. Imagens A até E fonte Google Earth. 135
- Figura 5.39 Classes de Variação da Linha de Costa para os municípios de Macau e Guimarães/RN. (1) muito alta deposição, (2) alta deposição, (3) relativa estabilidade, (4) alta erosão e (5) muito alta erosão. 137
- Figura 5.40 (a) Isolamento (seta preta) e destruição (seta amarela) do poço da Petrobras em 2006 (Fonte: Nascimento, 2009), (b) destruição de parte do enrocamento construído em frente a instalações da Petrobras em Macau em 2001 (seta amarela) (Fonte: Chaves, 2005), (c) e (d) enrocamento parcialmente destruído na praia de Soledade em 2011 (seta preta), (e) enrocamento ao longo de Campos Serra em Macau em 2011 e (f) enrocamento ao longo do calçamento na praia de Camapum em Macau em 2011. Fotos de C a F: Fonte: GEOPRO. 140
- Figura 5.41 Taxas de variação da linha de costa em (m/ano) na (A) Praia de Atalaia, Salinópolis/PA. Fonte Imagem colorida Google Earth. 142
- Figura 5.42 Classes de Variação da Linha de Costa para o município de Salinópolis/PA. (1) muito alta deposição, (2) alta deposição, (3) relativa estabilidade, (4) alta erosão e (5) muito alta erosão. 143
- Figura 5.43 Indicativos de erosão costeira na praia do Atalaia, Salinópolis/PA. (a) Afloramento da formação Pirabas nos canais e na ponta da praia (setas pretas) (b) muro de arrimo (notar várias gerações de muros colapsados, setas pretas), (c) forte retração da falésia do Grupo Barreiras (linha amarela) (notar casas comprometidas, seta preta) e (d) várias medidas mistas de contenção por estaqueamento e pedras no estirâncio (setas amarelas). Fonte: LAIT e GEOPRO. 144
- Figura 5.44 Obras de contenção à erosão na praia do Atalaia/PA em 2004 (a e b) e em 2014 (c e d). Fotos (a) e (c) e (b) e (d) dos mesmos pontos de observação. Fonte: (a) e (b) MPEG e (c) e (d) LAIT e GEOPRO. 145

- Figura 5.45 Tipos de obras de contenção na praia do Atalaia, Salinópolis/PA. (a, c) 147  
Estaqueamento + restos de muros de contenção, (b) Restos de muros,  
nenhuma reconstrução atual, (d, e, f, l) Estaqueamento duplo, (g) Muro de  
arrimo (à esquerda) e terreno sem proteção (à direita) (h) Vegetação natural  
(à esquerda) e caixa de madeira e pedra + aterro vegetado (à direita), (i)  
Caixa de madeira e pedra + aterro vegetado, (j) Estaqueamento duplo +  
rampa e (m) Estaqueamento + muro rampado. Fonte: LAIT e GEOPRO.
- Figura 5.46 Índice de Vulnerabilidade Costeira do tipo IVC-USGS para os cenários do 149  
IPCC (A) RCP 2,6, (B) RCP 4,5, (C) RCP 8,5 e do tipo IVC para os cenários  
(D) RCP 2,6, (E) RCP 4,5 e (F) RCP 8,5 para os municípios de Macau e  
Guamaré/RN.
- Figura 5.47 Classes dos Índices de Vulnerabilidade Costeira do tipo IVC-USGS e IVC 150  
para os municípios de Macau e Guamaré/RN.
- Figura 5.48 Índice de Vulnerabilidade Costeira do tipo IVC-USGS para os cenários (A) 151  
RCP 2,6, (B) RCP 4,5, (C) RCP 8,5 e do tipo IVC para os cenários (D) RCP  
2,6, (E) RCP 4,5 e (F) RCP 8,5 para o município de Salinópolis/PA.
- Figura 5.49 Classes dos Índices de Vulnerabilidade Costeira do tipo IVC-USGS e IVC 152  
para o município de Salinópolis/PA.

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1	Definição de vulnerabilidade, hazard, exposição e risco utilizada neste estudo.	32
Tabela 2.2	Cenários de variação do Nível Médio do Mar para o ano 2100 segundo caminhos representativos de concentração (RCP) (IPCC, 2013).	37
Tabela 4.1	Mapas base e resultantes de vulnerabilidade socioeconômica, vulnerabilidade física, vulnerabilidade e risco socioambiental e de criticidade de gestão ao risco de inundação.	44
Tabela 4.2	Fonte e descrição das variáveis socioeconômicas analisadas por Análise de Componentes Principais.	46
Tabela 4.3	Grupos formados por municípios dos estados do Pará (PA) e Rio grande do Norte (RN) em que se aplicou análise de componentes principais sobre as variáveis socioeconômicas.	47
Tabela 4.4	Índices e variáveis de vulnerabilidade socioeconômica para os municípios de Guamaré/RN, Macau/RN e Salinópolis/PA.	48
Tabela 4.5	Classes do Índice de vulnerabilidade socioeconômica Municipal (IVSM) baseado nas classes do índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).	50
Tabela 4.6	Classes do Índice de vulnerabilidade socioeconômica (IVSF) baseadas no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM).	51
Tabela 4.7	Escala de ponderação de Saaty aplicada no Processo Analítico de Hierarquia para obtenção da importância relativa das variáveis.	53
Tabela 4.8	Escore das classes de vulnerabilidade física - lógica booleana e lógica <i>fuzzy</i> .	54
Tabela 4.9	Classes de vulnerabilidade física segundo as variáveis físicas para os municípios de Macau e Guamaré (RN) e Salinópolis (PA).	55
Tabela 4.10	Escala de comparadores de Saaty aplicada para a ponderação dos pesos do índice Vulnerabilidade Ambiental Relativa - VR.	56
Tabela 4.11	Variáveis físicas componentes dos índices de vulnerabilidade física com lógica booleana.	57
Tabela 4.12	Variáveis físicas componentes dos índices de vulnerabilidade física com lógica <i>fuzzy</i> .	58
Tabela 4.13	Relações de Correlação de Pearson, segundo Colton (1974).	59
Tabela 4.14	Variáveis físicas, hidrodinâmicas e antrópicas componentes dos Índices de Vulnerabilidade Costeira.	64
Tabela 4.15	Classes de vulnerabilidade para os índices IVC-USGS e IVC para Macau e Guamaré (RN) e Salinópolis (PA).	64
Tabela 4.16	Fórmulas aplicadas para os índices de vulnerabilidade costeira.	65
Tabela 4.17	Caraterísticas e datas de aquisição das imagens analisadas.	66

Tabela 5.1	Principais variáveis socioeconômicas segundo Análise de Componentes Principais (ACP) na primeira e em todas as componentes principais por estado e por zona costeira.	68
Tabela 5.2	Posição dos municípios baseada nos pesos da Análise de Componentes Principais.	68
Tabela 5.3	Índices e variáveis de vulnerabilidade socioeconômica para os municípios de Guamaré/RN, Macau/RN e Salinópolis/PA.	76
Tabela 5.4	Parametrização dos índices de vulnerabilidade socioeconômica.	77
Tabela 5.5	Parametrização dos índices de vulnerabilidade socioeconômica para os escores de vulnerabilidade física.	77
Tabela 5.6	Ponderações resultantes do Processo de Analítico de Hierarquia das variáveis físicas por índice de vulnerabilidade física.	88
Tabela 5.7	Variáveis físicas mais influentes (cargas $\geq  0,5 $ ) segundo a Análise de Componentes Principais para os índices de vulnerabilidade física com lógica booleana Vulnerabilidade Natural - VN, Vulnerabilidade Ambiental - VA, Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar - VNMM.	94
Tabela 5.8	Variáveis físicas mais influentes (cargas $\geq  0,5 $ ) segundo a Análise de Componentes Principais para os índices de vulnerabilidade física com lógica fuzzy Vulnerabilidade Ambiental Relativa - VR, Vulnerabilidade ambiental relativa ao Uso do solo - VU e Vulnerabilidade ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar - VR-NMM.	95
Tabela 5.9	Índices mais pessimistas e otimistas, segundo cada área de estudo.	108
Tabela 5.10	Índices de vulnerabilidade socioambiental aplicados à análise de risco socioambiental e criticidade de gestão ao risco de inundação.	122
Tabela 5.11	Valoração do ecossistema manguezal em risco de inundação até o ano 2100 para os municípios de Macau e Guamaré/RN e Salinópolis/PA.	128
Tabela 5.12	Estatística descritiva de variação e projeção da linha de costa.	136

## LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AI	Área Inundável
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Áreas de Proteção Permanentes
CIM	<i>Coastal Impact Module</i>
CIRJ	Centro Industrial do Rio de Janeiro
CP	Componente Principal
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAP	Disposição A Pagar
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DSAS	<i>Digital Shoreline Analysis System</i>
ENOS	El Niño Oscilação-Sul
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPR	<i>End Point Rate</i>
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
FIRJAN	Federação das Indústrias do estado do Rio de Janeiro
GEOPRO	Laboratório de Geoprocessamento / UFRN
GRS80	<i>Geodetic Reference System 1980</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Intervalo de Confiança
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável do Meio Ambiente / RN
IDG	Índice de Desenvolvimento Global
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IEL Rio	Instituto Euvaldo Lodi / RJ
IFDM	Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IVC	Índice de Vulnerabilidade Costeira
IVC-USG	Índice de Vulnerabilidade Costeira baseado no Índice do USGS
IVS	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica
IVSC	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira
IVSF	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal
IVSM	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal
LAIT	Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido
LC	Linha de Costa
LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
LMS	<i>Least Median of Squares</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente

MPEG	Museu Paraense Emilio Goeldi
MVC	Metodologia de Valoração de Contingente
NMM	Nível médio do mar
NSM	<i>Net Shoreline Movement</i>
PA	Estado do Pará
PAH	Processo Analítico de Hierarquia
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RCP	Caminhos Representativos de Concentração
RN	Estado do Rio Grande do Norte
SENAI Rio	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial / RN
SEMAS PA	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará
SESI Rio	Serviço Social da Indústria / RN
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIG	Sistemas de Informação Georreferenciadas
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
VA	Vulnerabilidade Ambiental
VCAN	Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis
VF	Vulnerabilidade Física
VN	Vulnerabilidade Natural
VNMM	Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar
VNMM- IVSF	Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) versus Mapa de vulnerabilidade socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseado no Índice Firjan (IVSF).
VNMM- IVSM	Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) versus Mapa de vulnerabilidade socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM).
VR	Vulnerabilidade Ambiental Relativa
VR-IVSM	Mapa de vulnerabilidade socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR) e Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM)
VR-IVSF	Mapa de vulnerabilidade socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR) e Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseado no Índice Firjan (IVSF)
VR-NMM	Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar

VR-NMM- IVSF	Mapa de vulnerabilidade socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) e Mapa de vulnerabilidade socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseado no Índice Firjan (IVSF)
VR-NMM- IVSM	Mapa de vulnerabilidade socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) e Mapa de vulnerabilidade socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM)
VS	Vulnerabilidade Socioeconômica
VSA	Vulnerabilidade Socioambiental
VU	Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao Uso do Solo
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Zoneamentos Ecológico-Econômico
ZT	Zona Tampão

## Capítulo 1 - Introdução

A zona costeira apresenta ecossistemas produtivos, dinâmicos e muito frágeis, os quais estão sob pressão tanto por atividades antrópicas quanto por processos naturais. Florestas de mangue, recifes de corais, praias arenosas, planícies de marés são alguns dos ambientes únicos que compõem esta região (MAHAPATRA *et al.*, 2013).

Desde o surgimento do conceito de aquecimento global induzido pelo homem nos anos 80, o aumento relativo do nível médio do mar (NMM) e impactos relativos na zona costeira têm sido assuntos de consideração por pesquisadores de todo o mundo. A preocupação é maior ao se considerar a grande e crescente concentração de pessoas habitando esta região, o que pode significar impactos potenciais maiores (NICHOLLS *et al.*, 2011).

O aumento relativo do NMM representa uma ameaça significativa para sistemas costeiros de baixa altitude em todo o mundo, levando a inundação e erosão da orla costeira, a salinização das reservas de água doce, perdas de *habitats* (mangues, marismas, etc.), perdas de culturas agrícolas, danos a estruturas costeiras, como portos e obras de proteção, entre outros danos (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010; IPCC, 2014).

Das várias regiões vulneráveis à inundação costeira causada pelo aumento relativo do NMM, em maior risco estão as zonas costeiras com alta densidade populacional, baixas elevações, taxas maiores de subsidência e/ou capacidade de adaptação inadequada (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010). A maior parte da população mundial vive na região costeira, que exhibe taxas de crescimento populacional e urbanização maiores que nas regiões interiores (NEUMANN *et al.*, 2015).

A exposição humana ao aumento relativo do NMM, sem nenhuma adaptação, se traduzirá em impactos catastróficos com dezenas de milhões de pessoas ou mais se tornando refugiados ambientais, com o risco real do deslocamento forçado de até 187 milhões de pessoas ao longo deste século (até 2,4% da população mundial) (NICHOLLS *et al.*, 2011).

Pelo menos 600 milhões de pessoas vivem a até 10 m do NMM atual. Em muitas regiões costeiras o risco socioambiental a cenários de inundação aumenta particularmente quando do efeito combinado de marés altas e fortes tempestades e/ou alta descarga de rios. Por exemplo, de 1994 a 2004 houve no mundo inteiro mais de 1.500 inundações, com cerca de 120 mil mortos e 2 milhões de pessoas afetadas, sendo a maior parte delas na Ásia, onde a maior aglomeração em superfícies planas de grandes rios (MCGRANAHAN; ANDERSON, 2007).

Craveiro *et al.* (2012) estimaram que cerca de 1,3 milhão de pessoas estejam expostas à subida do nível das águas e galgamentos oceânicos na costa portuguesa. Segundo estes, a litoralização da população reforça a vulnerabilidade socioeconômica ao risco de erosão costeira.

O NMM variou de 2 a 7 mm/ano entre 1950 e 2008 na América do Sul (IPCC, 2014) e dentre as muitas projeções do aumento global do NMM, há as mais sutis, correspondendo a taxas de 0,55 a 1,1 m/século (VELLINGA *et al.*, 2008), e há as mais intensas, correspondendo a variações de 0,2 a 2,0 m/século (PFEFFER *et al.*, 2008; PARRIS *et al.*, 2012). Para um aumento de 2 m do NMM, estima-se que cerca de 8 milhões de pessoas sejam atingidas na América do Sul Atlântica até o ano de 2100 (NICHOLLS *et al.*, 2011).

Nicholls *et al.* (2007) argumentou que a resposta ao aumento relativo do NMM requer uma combinação de formas de adaptação e mitigação para diminuir este efeito e consequentes impactos, devendo-se para tanto considerar também a inércia da elevação, que significará aumento relativo do NMM por algum tempo após a estabilização climática global. Sendo uma das formas de adaptação a construção de obras de proteção costeira.

Existem duas linhas de pensamento quanto a obras de proteção costeira. Há uma linha pessimista, que supõem que são inviáveis e que em grande parte não funcionará, ou que sequer haverá tentativas de construção de tais obras em alguns países, acreditando ainda que a subida do NMM levará a grandes deslocamentos forçados da população, em uma escala sem precedentes, resultando em refugiados ambientais (NICHOLLS *et al.*, 2011).

Por outro lado, há uma visão otimista, que supõem que obras de proteção costeira serão, em grande parte, bem sucedidas a elevação do NMM e que os impactos residuais serão apenas uma fração dos impactos potenciais. De modo que a principal consequência da elevação do NMM será quanto a se os investimentos serão em novas e modernas defesas costeiras ou em outras formas de adaptação, como sistemas de alerta de inundações (NICHOLLS *et al.*, 2011).

Porém, são muito altos os gastos para a manutenção dessas infraestruturas costeiras e, por isso, muitos países europeus e condados americanos estão aplicando índices de de-engenharia para realinhamento natural da Linha de Costa (LC), sendo um dos índices a remoção total das obras de engenharia costeira (ESTEVES, 2014), evitando perdas de altas somas em dinheiro em investimentos e reinvestimentos públicos e privados para a manutenção de obras rígidas em pequenos trechos de praia (ANFUSO *et al.*, 2011; ESTEVES, 2014).

No entanto, há outros fatores que afetam a variação do NMM, como ciclos de marés e o fenômeno El Niño Oscilação-Sul (ENOS). Gratiot *et al.* (2008), ao estudarem a migração dos bancos de lama na Guiana Francesa, observaram que ciclos de maré da ordem de 18,6 anos controlam a redistribuição sedimentar, sendo que o aumento relativo do NMM e do El Niño e La Niña apresentam influência secundária nessa redistribuição. Este estudo indicou que na próxima década, o ciclo de maré de 18,6 anos irá resultar em um aumento médio do NMM de 6 cm ao longo da costa da Guiana Francesa, o que levará a um recuo de 90 m costa.

Além disso, praias arenosas são caracterizadas por seu equilíbrio dinâmico, em constante adaptação às forçantes hidrodinâmicas costeiras. A existência de uma praia arenosa está estritamente ligada à manutenção de seu estoque sedimentar, o qual depende do equilíbrio entre as perdas e ganhos em sedimentos (KOMAR, 1976). Muehe (2005) analisou trabalhos desenvolvidos por diversos grupos de pesquisa no Brasil e percebeu, de forma bem genérica, que a erosão predomina largamente sobre a progradação, com cerca de 40% se concentrando nas praias. Quanto às causas da erosão, 80% foram atribuídas à intervenção do homem relacionada à urbanização da costa e à interferência no balanço sedimentar em decorrência da construção de estruturas rígidas.

A expansão urbana desordenada da orla marinha tem provocado a construção de obras rígidas de engenharia em áreas costeiras que geralmente acarreta em alterações dinâmicas locais, mudando características de circulação de correntes e padrões de deposição de sedimentos (SOUZA, 2009) e levando a perdas praticamente irreversíveis de sedimentos no curto e médio prazo e à redução do estoque sedimentar emerso. Por isso, é de grande importância a gestão integrada da orla costeira.

Não raro, tais estruturas costeiras artificiais têm sido construídas sem estudo prévio da dinâmica costeira, trazendo prejuízos tanto ambientais quanto financeiros. Por isto, a grande necessidade de se compreender a dinâmica costeira, planejando assim as construções de engenharia costeira para o melhor uso e ocupação do litoral, de modo a se usufruir da paisagem costeira sem grandes perdas ao meio ambiente ou perdas econômicas.

Como ocorre em muitas praias sob efeito erosivo, a praia do Atalaia (Salinópolis/PA) apresenta tentativas de estabilização da linha de costa por meio de estruturas de engenharia para proteção costeira (BUSMAN *et al.*, 2005a, 2005b). E as praias dos municípios de Guamaré e Macau (RN) apresentam obras de engenharia costeira resultantes da exploração petrolífera. Por vezes, tais obras ditas de proteção tem efeito contrário e mesmo acentuam a erosão local.

A maior parte da população mundial vive em Zonas Costeiras, e há uma tendência permanente ao aumento da concentração demográfica nessas regiões. A saúde, o bem-estar e, em alguns casos, a própria sobrevivência das populações costeiras depende da saúde e das condições dos sistemas costeiros. Em síntese, a sustentabilidade das atividades humanas nas Zonas Costeiras depende de um meio saudável e vice-versa (BRASIL, 1997) e para tanto estudos diagnósticos e prognósticos da dinâmica e vulnerabilidade costeira se fazem necessários.

Este estudo apresenta análises quanto à vulnerabilidade física, socioeconômica e socioambiental (integração das vulnerabilidades física e socioeconômica), além de risco e criticidade de gestão ao risco de inundação da zona costeira destes três municípios costeiros, com importância econômica e turística nos seus respectivos estados e poderá servir de base para a gestão costeira integrada da região.

### **1.1. Motivação, Justificativa e hipótese da tese**

O crescimento urbano desordenado da zona costeira tem provocado desequilíbrio no balanço sedimentar, sendo a intensificação da erosão uma das consequências. A erosão costeira é um fenômeno natural que ocorre em praias em todo o mundo, trazendo prejuízos socioeconômicos quando em praias com ocupação urbana, sendo por vezes intensificada por esta urbanização. Este trabalho justifica-se por contribuir para o entendimento da dinâmica e vulnerabilidade socioambiental costeira de três municípios costeiros localizados no estado do Pará e Rio Grande do Norte, em apoio à gestão costeira integrada nestes municípios.

O aumento relativo do NMM pode provocar inundações e, por consequência, impactos ambientais e socioeconômicos na zona costeira, por exemplo, aumento da erosão e submersão de *habitats* naturais e de infraestruturas costeiras. Este estudo se mostra ainda mais relevante ao considerar que municípios costeiros são vulneráveis à elevação do NMM devido a sua baixa topografia e seu elevado valor ecológico e turístico. Deste modo, estudos de vulnerabilidade são muito úteis no plano de gestão costeira integrada (DWARAKISH *et al.*, 2009).

Considerando-se ainda que a elaboração e posterior implementação de planos de gestão exigem o conhecimento dos ativos ambientais que se pretende gerir, é necessário um diagnóstico detalhado dos ativos ambientais e dos aspectos socioeconômicos. A correlação dos dados dos diagnósticos por meio de ferramentas de análise integrada em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), como proposto neste estudo, permite destacar

potencialidades, avaliar vulnerabilidades e elaborar planos e metas para o processo de gestão costeira.

A importância de estudos sobre a vulnerabilidade física está em prevenir impactos ambientais e socioeconômicos (RANGEL-BUITRAGO; ANFUSO, 2009) e subsidiar respostas de curto e médio prazo (BRASIL, 2008). O relatório especial do IPCC sobre gerenciamento de riscos a eventos extremos e desastres (IPCC, 2012) sublinhou que a consideração de múltiplas dimensões (por exemplo, econômicos, institucionais, culturais, sociais, ambientais), bem como diferentes fatores causais de vulnerabilidade pode melhorar as estratégias para reduzir os riscos para as alterações climáticas.

Com uma zona costeira abrangendo 17 estados e quase 460 municípios, onde vivem mais de 50 milhões de habitantes, aproximadamente 30% da população (IBGE, 2011) e sendo o Brasil o sétimo país do mundo quanto ao número de habitantes na zona costeira (IPCC, 2014) e o sétimo dentre os países com maior quantidade e proporção de área de baixa altitude na zona costeira (MCGRANAHAN; ANDERSON, 2007), há a necessidade premente de estudos da dinâmica e vulnerabilidade socioambiental costeira brasileira. Além disso, o Brasil é o único país da América Latina que lista entre os dez países mais afetados por desastres relacionados a mudanças climáticas (UNISDR, 2015).

Deste modo, este estudo justifica-se por contribuir no conhecimento das variáveis físicas e socioeconômicas das áreas em estudo, bem como na vulnerabilidade destas variáveis a impactos, sejam estes climáticos ou não, indo ao encontro de recentes ações de políticas públicas do governo brasileiro, que está investindo milhões de reais para o reconhecimento da vulnerabilidade humana a mudanças do clima, bem como das medidas de adaptação como forma de resposta a possíveis impactos e para explorar eventuais oportunidades (BRASIL, 2005; BRASIL, 2015; MMA, 2016).

Neste contexto, esta pesquisa visou testar a hipótese de que há variáveis socioeconômicas e ambientais mais influentes na determinação do grau de vulnerabilidade socioambiental de um município, interferindo na adequabilidade dos índices usados e na maior ou menor vulnerabilidade entre municípios. Para tanto, aplicou-se e analisou-se diferentes índices de vulnerabilidade socioeconômica, física e socioambiental em três municípios costeiros.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Geral**

Avaliar a vulnerabilidade e o risco socioambiental de municípios costeiros tropicais (Macau e Guamaré/RN e Salinópolis/PA) a impactos por mudanças climáticas e não climáticas em apoio à gestão costeira integrada.

### **1.2.2. Específicos**

- Avaliar os diferentes índices de vulnerabilidade socioeconômica e física, de acordo com as variáveis que os compõem e com os pesos associados;
- Avaliar a vulnerabilidade socioeconômica dos municípios;
- Avaliar a vulnerabilidade física dos municípios;
- Avaliar os diferentes índices de vulnerabilidade socioeconômica e física, de acordo com as variáveis que os compõem e com os pesos associados;
- Identificar os índices de vulnerabilidade socioeconômica e física mais apropriados e de maior simplificação da metodologia, visando a replicação;
- Realizar a análise integrada das vulnerabilidades socioeconômica e física (vulnerabilidade socioambiental);
- Avaliar o risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do Nível Médio do Mar (NMM);
- Avaliar a criticidade de Gestão ao risco de inundação por aumento relativo do NMM;
- Identificar os tipos de vegetação e de uso do solo potencialmente afetadas por cenários de aumento relativo do NMM.

### **1.3. Estrutura da tese**

O capítulo 1 apresenta uma introdução geral, bem como a motivação e justificativa para a realização desta pesquisa. Apresenta também a hipótese da tese e os objetivos geral e específicos do estudo.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica em que esta pesquisa se embasou, com definições de termos conforme referências nacionais e internacionais e a definição dos termos conforme usados nesta tese. Além de apresentar uma breve revisão sobre estudos pretéritos de vulnerabilidade socioeconômica e física e discorrer sobre os cenários de aumento relativo do Nível Médio do Mar (NMM).

O capítulo 3 mostra a localização e caracterização das áreas de estudo no norte e no nordeste do Brasil. O capítulo 4 apresenta em detalhes a metodologia utilizada para cada análise realizada: diagnóstico e vulnerabilidade socioeconômica, vulnerabilidade física,

vulnerabilidade socioambiental, delimitação da área inundável, risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do NMM, criticidade de gestão ao risco de inundação e vulnerabilidade costeira.

O capítulo 5 apresenta os resultados e discussão de cada uma destas análises citadas no parágrafo anterior. Quanto à análise de vulnerabilidade socioeconômica, foram aplicados quatro diferentes índices, três desenvolvidos para esta pesquisa e um adaptado de um índice americano e um artigo foi construído com estes resultados, sendo submetido em novembro de 2015 como para a Revista Brasileira de Cartografia com o título *MÉTODOS DE VULNERABILIDADE SOCIAL – SUBSÍDIOS À ADAPTAÇÃO A MUDANÇAS CLIMÁTICAS DE MUNICÍPIOS COSTEIROS*.

Este capítulo também apresenta os resultados de seis índices de vulnerabilidade física aplicados aos três municípios estudados em escalas diferentes de semidetalhe, bem como as análises estatísticas envolvidas. Esta parte do capítulo 5 foi submetida e aceita para publicação na Revista Brasileira de Geomorfologia com o título *ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DE MÉTODOS DE VULNERABILIDADE FÍSICA EM ZONAS COSTEIRAS TROPICAIS (MUNICÍPIOS DE MACAU E GUAMARÉ/RN)*, com o resultado de três índices de vulnerabilidade física (Índices Vulnerabilidade Natural - VN, Vulnerabilidade Ambiental - VA e Vulnerabilidade Ambiental ao Aumento Relativo do Nível Médio do Mar - VNMM) aplicados aos municípios de Macau e Guamaré/RN.

A continuação do capítulo 5 mostra os resultados da análise de Vulnerabilidade Socioambiental, que integra os dados da vulnerabilidade socioeconômica com os dados da vulnerabilidade física para cada município. Como foram quatro os índices de vulnerabilidade socioeconômica e seis os de vulnerabilidade física, gerando 28 mapas de Vulnerabilidade Socioambiental, apenas os índices com resultados mais otimista e pessimista para cada município são abordados, gerando um total de doze mapas, quatro por município.

Ainda no capítulo 5 há a análise de risco socioambiental e criticidade de gestão ao risco de inundação ao aumento relativo do NMM por mudanças climáticas e sazonais, utilizando 3 cenários de aumento relativo do NMM, apresentando a integração dos resultados dos mapas de Vulnerabilidade Socioambiental com o mapa de áreas inundáveis. Para tanto, dois índices e três cenários de inundação foram estudados, sempre referentes aos resultados mais otimista e pessimista. O capítulo 5 finaliza com os resultados e discussão da análise de vulnerabilidade costeira dos municípios por meio da aplicação de dois Índices de Vulnerabilidade Costeira, o índice conceitual, apresentado por Gornitz (1991) e um segundo adaptado deste. Por fim, o capítulo 6 apresenta a conclusão geral desta tese.

## Capítulo 2 - Fundamentação Teórica e Estudos Pretéritos

### 2.1. Fundamentação teórica - Definições de terminologias

Definições dos termos *hazards*, exposição, vulnerabilidade e adaptação no contexto das mudanças climáticas são múltiplas, sobrepostas e, muitas vezes, contestadas (IPCC, 2014). Nicholls *et al.* (1995) definiram vulnerabilidade como a capacidade de um país em lidar com as consequências da aceleração do aumento relativo do NMM e outros impactos costeiros associados à mudança climática global. Segundo Klein e Nicholls (1999), a vulnerabilidade expressa o grau de capacidade para lidar com as consequências a mudanças climáticas em função de três elementos: (1) exposição, (2) sensibilidade e (3) capacidade de adaptação. Este conceito de vulnerabilidade compreende: a suscetibilidade de uma área às mudanças físicas e ecológicas impostas por aumento relativo do NMM; os potenciais impactos aos sistemas naturais e mudanças sobre o sistema socioeconômico; a capacidade em lidar com impactos, incluindo as possibilidades para evitar ou reduzir impactos por meio de medidas de adaptação (capacidade de adaptação).

É consenso a noção de que a vulnerabilidade de qualquer sistema (em qualquer escala) é o reflexo (ou em função) da exposição e da sensibilidade desse sistema a condições de riscos e da capacidade do sistema em lidar, se adaptar ou se recuperar dos efeitos desses riscos. Adaptações são manifestações da capacidade de adaptação e representam formas de reduzir a vulnerabilidade (SMIT; WANDEL, 2006).

Segundo IPCC (2001), vulnerabilidade é o grau em que um sistema é suscetível ou é incapaz de lidar com efeitos adversos de mudanças climáticas, incluindo variabilidade climática e eventos extremos. Em seu último relatório (IPCC, 2014) eles definiram que a vulnerabilidade é a propensão ou pré-disposição a ser adversamente afetado e engloba uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou susceptibilidade a danos e falta de capacidade para lidar e se adaptar e que vulnerabilidade se refere principalmente às características dos sistemas antrópicos e ecológicos expostos a impactos climáticos e não climáticos.

Para a gestão de riscos e emergências, a vulnerabilidade tem sido historicamente classificada como a probabilidade de um impacto e magnitude de dano, sem levar em consideração potencial para adaptação (METZGER *et al.*, 2004). O Instituto Ambiental de Estocolmo define vulnerabilidade como o grau ao qual uma unidade de exposição, como exemplo grupo social ou ecossistema, é susceptível a dano devido à exposição, à perturbação

ou estresse e a capacidade ou falta de capacidade da mesma unidade em gerenciar, se recuperar ou se adaptar (ZOU; THOMALLA, 2008). Mahapatra *et al.* (2013) consideraram a vulnerabilidade como o grau de perda resultante da ocorrência de um fenômeno e mapa de vulnerabilidade é basicamente uma estimativa da região costeira que é vulnerável ao aumento relativo do NMM.

Adaptação é a habilidade do sistema em mudar para uma forma que esteja mais apta a gerenciar influências externas (KLEIN; NICHOLLS, 1999). Percepções sobre os riscos e as opções de adaptação influenciam a capacidade de adaptação e, portanto, a vulnerabilidade. Além disso, a adaptação denota um processo de longo prazo, que envolve também ajustes no próprio sistema. Enquanto que exposição se refere à presença de pessoas, meios de subsistência, espécies ou ecossistemas, funções ecossistêmicas, serviços e recursos, infraestrutura ou recursos econômicos, sociais ou culturais em locais e configurações que podem ser afetadas adversamente (IPCC, 2014).

Susceptibilidade é o potencial do sistema em ser afetado pelo aumento relativo do NMM e é independente de influências humanas. Já resistência é a habilidade de um sistema em evitar perturbação, enquanto que resiliência é a habilidade do sistema em retornar ao seu estado original depois de ter sido perturbado (SURVAS, 2004). Sensibilidade reflete a capacidade de resposta de um sistema a variações climáticas e o grau no qual mudanças climáticas podem afetá-lo na sua forma atual (AUSTRÁLIA, 2005).

Quando processos naturais ameaçam atividades ou infraestruturas humanas tornam-se perigos naturais (*natural hazard*) (SHORT, 1999). *Coastal hazard* ou perigo costeiro foi definido por Gornitz (1991) como um fenômeno natural que expõe a zona costeira ao risco a danos ou outros efeitos adversos, enquanto que define impacto como consequência negativa ao aumento do NMM. Torresan *et al.* (2012) usaram a definição de *hazard* como evento ou fenômeno com potencial de causar dano, como perda de vidas, perdas econômicas e degradação ambiental. A definição apresentada pelo Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNISDR, 2009a), no qual Torresan *et al.* (2012) se basearam, é mais completa, ao considerar *natural hazard* como processo ou fenômeno natural que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos na saúde, danos à propriedade, perda de meios de subsistência e serviços, ruptura social e econômica ou dano ambiental, sendo considerados um subconjunto de todos os perigos. O termo é usado para descrever perigos reais ou latentes, ou seja, que podem dar origem a eventos futuros e que podem ser caracterizados pela sua magnitude ou intensidade, a velocidade de início, duração e área de extensão.

De acordo com o relatório 5 do IPCC (2014), as características das mudanças climáticas e seus efeitos nos sistemas geofísicos, tais como inundações, secas, degelo, aumento relativo do NMM, aumento na temperatura e frequência de ondas de calor são definidos como *hazards*. Este termo tem sido traduzido como perigo por muitos autores (MAZZER, 2007; MUSSI, 2011; MULER, 2012; SCOLERO, 2013). Na versão em português do quinto relatório do IPCC (IV, 2015), o termo *hazard* foi traduzido como desastre(s) e se refere à ocorrência potencial de um evento natural ou fisicamente induzido pelo ser humano, impacto físico ou tendência a este que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos na saúde, bem como perdas e danos à propriedade, infraestrutura, meios de subsistência, prestação de serviços, ecossistemas e recursos ambientais. Segundo estudos mais recentes, os perigos das mudanças climáticas resultam de complexas interações entre as sociedades ou comunidades, ecossistemas e os perigos decorrentes da mudança climática (IPCC, 2014).

De acordo com Fortunato e Fortunato Neto (2012), risco ambiental é a possibilidade da ocorrência de dano ao meio ambiente. Já o UNISDR (2009a) define risco como a combinação da probabilidade de um evento e suas consequências negativas e Lins-de-Barros (2005) definiu a análise do risco quanto a maior ou menor exposição das estruturas ou da população a eventos que podem causar danos. De acordo com o quinto relatório do IPCC (IPCC, 2014; IV, 2015), os riscos a impactos relacionados ao clima são resultados da interação entre desastres climáticos (incluindo eventos e tendências ao risco), vulnerabilidade e exposição dos sistemas humanos e naturais. Mudanças nos processos climáticos e socioeconômicos, junto a medidas de adaptação e mitigação, são forçantes de desastres, exposição e vulnerabilidade (Figura 2.1).

Os conceitos de vulnerabilidade, *hazard*, exposição, risco e criticidade utilizados neste estudo estão descritos na tabela 2.1. Atenção deve ser dada à tradução do termo *hazard*, para evitar confusão de terminologia, pois este termo já foi traduzido como desastre, ameaça ou perigo por diferentes autores (MAZZER, 2007; UNISDR, 2009b; MUSSI, 2011; MULER, 2012; SCOLERO, 2013; IV, 2015), assim como o termo risco também já foi traduzido como desastre (WISNER *et al.*, 2003).

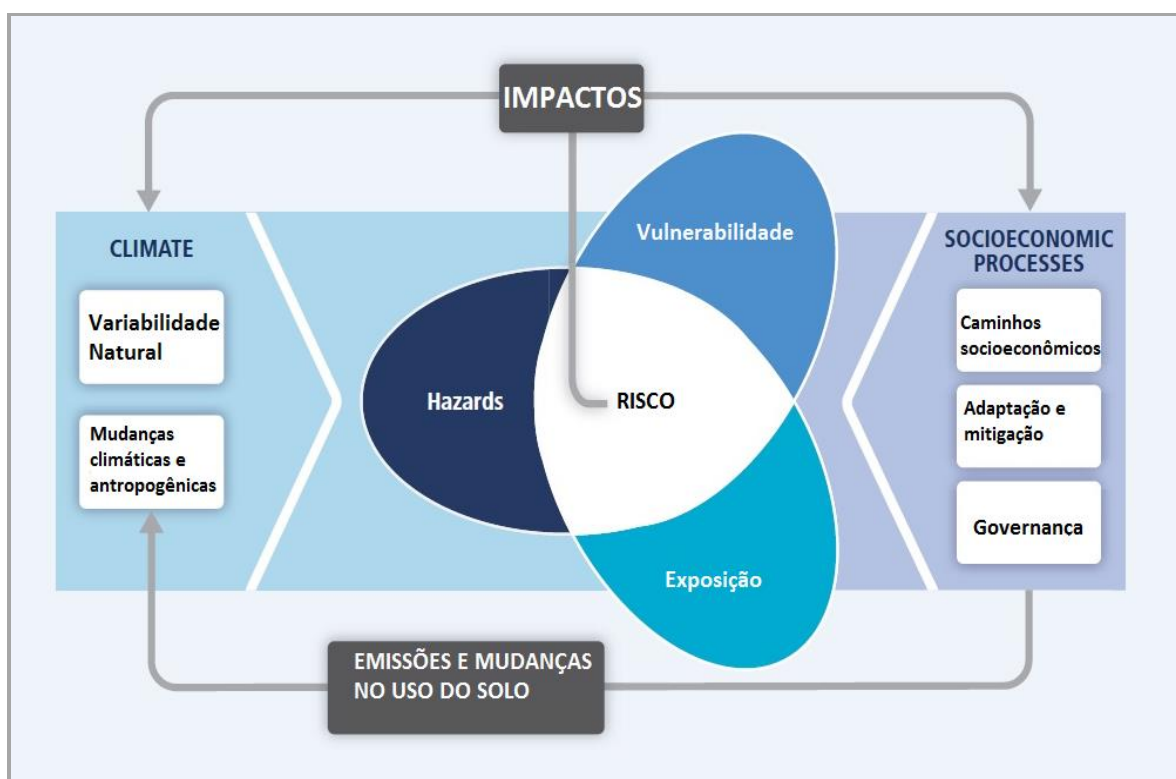


Figura 2.1: Componentes dos riscos associados a mudanças climáticas. Adaptado de IPCC (2014).

Tabela 2.1: Definição de vulnerabilidade, *hazard*, exposição e risco utilizada neste estudo.

Conceito	Definição
Vulnerabilidade Socioambiental	Vulnerabilidade socioeconômica integrada à vulnerabilidade física intrínseca às unidades de paisagem, às modificações antrópicas e ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (NMM).
<i>Hazard</i>	Perigo de inundação por aumento relativo do NMM.
Exposição	Pessoas, meios de subsistência, espécies ou ecossistemas, funções ecossistêmicas, serviços e recursos, infraestrutura ou recursos econômicos, sociais ou culturais em locais e configurações que podem ser afetadas adversamente (IPCC, 2014).
Risco	Pessoas, meios de subsistência, espécies ou ecossistemas, funções ecossistêmicas, serviços e recursos, infraestrutura ou recursos econômicos, sociais ou culturais em locais e configurações que podem ser impactados por inundação causada por aumento relativo do NMM.
Criticidade	Tipos de vegetação e atividades antrópicas em risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do NMM.

O relatório do Fórum Econômico Mundial cita o fracasso nas medidas de mitigação e adaptação a mudanças climáticas, a migração involuntária em larga escala, a perda da biodiversidade e colapso dos ecossistemas como os maiores riscos globais para 2016 e o fracasso nas medidas de mitigação e adaptação a mudanças climáticas e eventos extremos climáticos como o segundo e terceiro maiores riscos globais projetados para 2026 (Figura 2.2 e 2.3) (WEF, 2016).

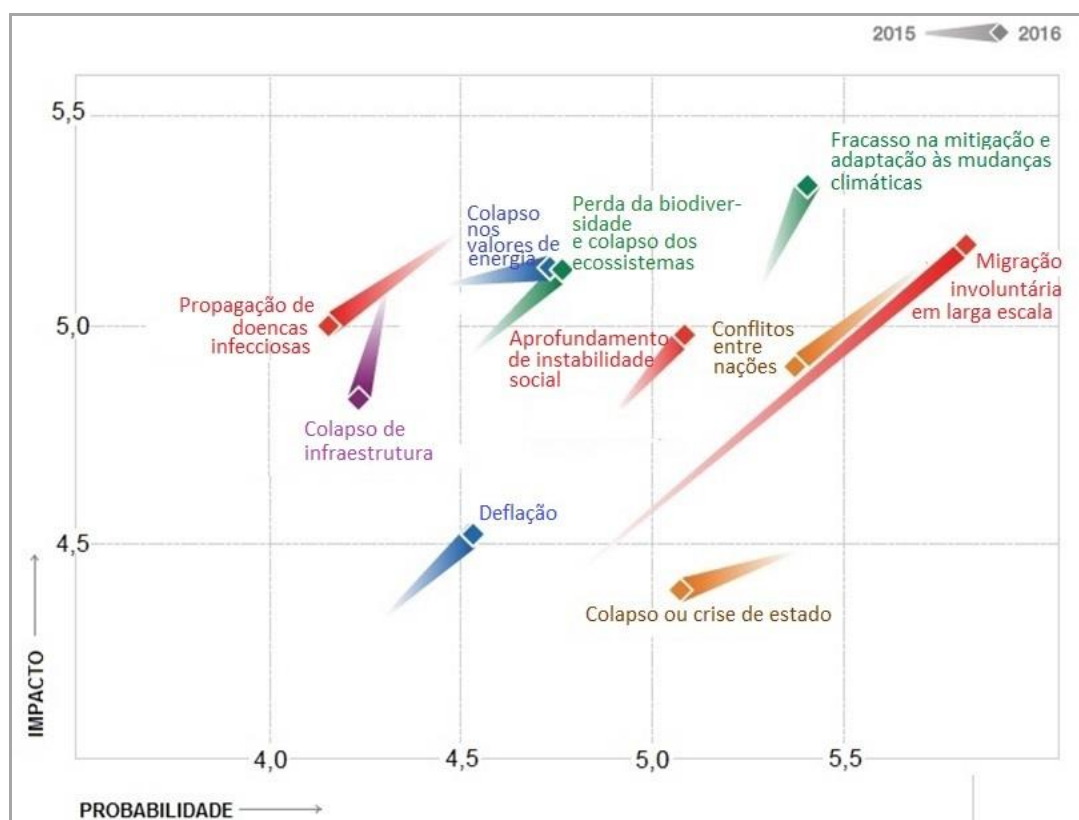


Figura 2.2: Riscos Globais - Projeção 2016. Fonte Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016).

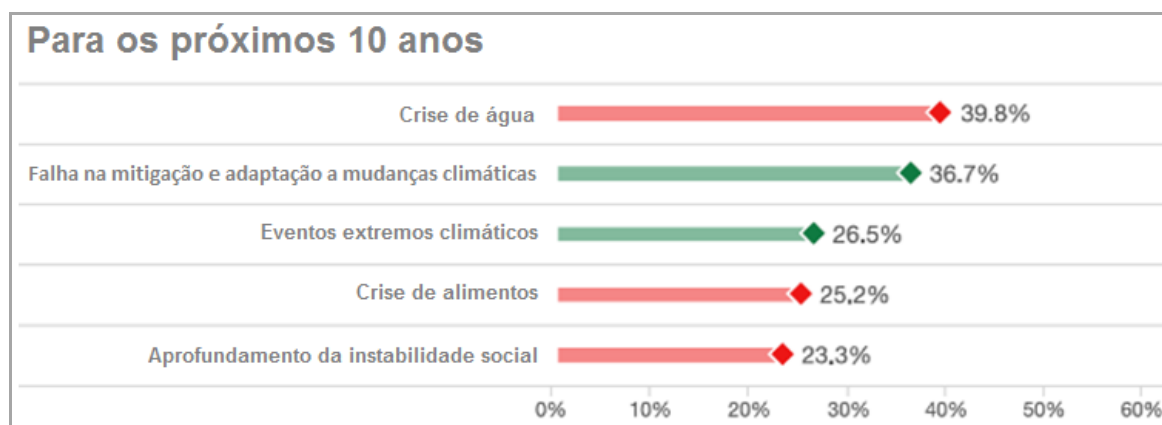


Figura 2.3: Riscos Globais - Projeção para os próximos meses e para os próximos 10 anos. Fonte Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016).

Por fim, é interessante apresentar a definição de zona e orla costeira. De acordo com o *Coastal Protection Act* (Austrália, 1979), a Zona Costeira é definida como a zona de terra de 1 km das águas costeiras que incluem baía, estuário, lago ou laguna costeira para objetivo de planejamento e gestão e esta definição é assumida em estudos da vulnerabilidade costeira em todo o mundo. Craveiro *et al.* (2012) realizaram análises das vulnerabilidades sociais e territoriais em uma área de cerca de 500 metros da linha de costa para o interior do continente. Porém, neste trabalho assumiu-se a definição de zona costeira segundo a legislação brasileira (BRASIL, 2004), sendo que se estabeleceram duas áreas para análise da vulnerabilidade costeira, a primeira sendo a zona costeira (limite municipal) e a segunda sendo a orla marítima (BRASIL, 2004).

De acordo com o Decreto Nº 5.300/2004 (BRASIL, 2004), a zona costeira brasileira corresponde ao espaço geográfico que abrange uma faixa marítima e uma faixa terrestre, sendo a faixa marítima o espaço que se estende por doze milhas náuticas, medido a partir das linhas de costa. E a faixa terrestre é variável, pois compreende os limites dos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na zona costeira.

A orla marítima pode ser definida como uma unidade geográfica inclusa na zona costeira, delimitada pela faixa de interface entre a terra firme e o mar (BRASIL, 2002). O limite marinho corresponde à isóbata de 10 metros, isto é, média geral para a profundidade de fechamento no Brasil. O limite terrestre é de 50 metros em áreas urbanizadas ou 200 metros em áreas não urbanizadas, demarcados na direção do continente a partir da linha de preamar ou do limite final de ecossistemas. Porém, para este estudo a orla corresponde apenas a uma faixa terrestre de 200 m a partir da linha de costa atual, não havendo diferenciações na largura quando em orla urbanizada.

## **2.2. Estudos Pretéritos de Vulnerabilidade**

Mapas de vulnerabilidade têm sido obtidos em muitas zonas costeiras do mundo em ambiente SIG, por análise multivariada assistida por computador e modelos numéricos (RANGEL-BUITRAGO; ANFUSO, 2009). Nos Estados Unidos, o governo tem realizado o Mapa de vulnerabilidade costeira por meio vários índices desde a década de 80.

Muitos estudos da vulnerabilidade costeira usam o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC), em que diferentes variáveis são comparadas por meio de cálculos matemáticos, sendo as variáveis mais comumente utilizadas as definidas por Gornitz (1991) e apresentadas por Thieler e Hammar-Klose (1999). Porém, muitas pesquisas adequam o IVC à sua região por

adicionar ou alterar variáveis, significando apenas uma diferença na parametrização, não no método em si (DWARAKISH *et al.*, 2009; BOORI *et al.*, 2010; FERNANDEZ *et al.*, 2013).

Ao realizar o mapeamento da vulnerabilidade costeira para a costa leste dos EUA, Thieler e Hammar-Klose (1999) apresentaram o IVC a partir de seis variáveis físicas: geomorfologia, declividade da costa, taxa de elevação do NMM, taxa de variação da linha de costa, amplitude média da maré e média da altura significativa de ondas.

Na análise da vulnerabilidade global Nicholls *et al.* (1995) estimaram as implicações ambientais e socioeconômicas ao aumento relativo do NMM, considerando 4 fatores: (1) população em risco socioambiental a cenários de inundação; (2) perda de ecossistemas costeiros; (3) mudanças na produção de arroz e por fim (4) custos de obras de proteção costeira. Strand *et al.* (2010) citaram o crescimento populacional e idade média da população como importantes variáveis para a análise de vulnerabilidade.

Cutter *et al.* (2003) apresentaram o índice de vulnerabilidade social a riscos (SoVI, sigla em inglês) e aplicaram este índice em todo os Estados Unidos. Boruff *et al.* (2005) estudaram o índice de vulnerabilidade social (CSoVI, sigla em inglês) da costa americana por meio de 10 fatores socioeconômicos, os quais foram escolhidos através de análise de componentes principais. Analisaram também o índice de vulnerabilidade costeira à erosão (IVC) na região que, combinado ao CSoVI, resultaram no índice de vulnerabilidade local.

Abuodha e Woodroffe (2007) estudaram diferentes métodos de análise de vulnerabilidade para a costa australiana, tais como a Regra de Bruun, a Metodologia Comum do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), o *Coastal Impact Module* (CIM/SimCLIM), o índice de vulnerabilidade costeira (IVC), entre outros. Rangel-Buitrago e Anfuso (2009) construíram o mapa de vulnerabilidade costeira pela comparação de dados de erosão e acreção costeira e uso da terra em áreas localizadas na Península de La Guajira, originando o mapa de susceptibilidade costeira à erosão.

O ministério da Indústria e da Energia da Tunísia realizou estudos da vulnerabilidade ambiental e socioeconômica a três diferentes cenários de elevação do NMM na Tunísia (TUNÍSIA, 2011). Mahapatra *et al.* (2013) fizeram uma revisão de vários trabalhos de vulnerabilidade costeira realizados na Índia, destacando que a maior parte deles usa o índice IVC, com diferenciações nas variáveis utilizadas. Por exemplo, ao calcular o IVC em Udupi, Dwarakish *et al.* (2009) analisaram tsunamis na construção de cenários de inundação da zona costeira, uma vez que a região é suscetível a eventos de ondas gigantes.

No Brasil, em toda a região costeira têm sido aplicados estudos de vulnerabilidade. Tagliani (2002 e 2003) apresentou uma técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental

de ambientes costeiros do Rio Grande do Sul, também aplicada por Busman (2006) em quatro municípios dessa mesma região. Segundo o conceito de vulnerabilidade natural e ambiental, Grigio *et al.* (2004) e Boori *et al.* (2011) estudaram, respectivamente, o município de Guamaré e o estuário do rio Apodi, no Rio Grande do Norte, e Costa *et al.* (2006) aplicaram esta mesma metodologia no município de Macau/RN.

Mazzer *et al.* (2008) propuseram um método para análise de vulnerabilidade à erosão em praias de Santa Catarina, onde considerou-se o estudo de células costeiras e de processos costeiros que atuam na linha de costa em diferentes escalas temporais. Rudorff e Bonetti (2010) realizaram a análise da suscetibilidade à erosão de quatro praias de Santa Catarina por meio de geoindicadores, dados morfológicos e técnicas de análise espacial.

Boori *et al.* (2010) utilizaram o índice IVC ao longo da costa dos municípios de Areia Branca e Grossos (RN) e ao longo do estuário do rio Apodi (RN) para análise de vulnerabilidade e risco socioambiental a cenários de inundação causada por aumento relativo do NMM e Boori *et al.* (2012) estudaram nesta mesma região a retração da linha de costa segundo cenários de aumento relativo do NMM empregando a metodologia Regra de Bruun.

### **2.3. Cenários de aumento relativo do Nível Médio do Mar**

O relatório do IPCC (2013) apresentou cenários climáticos chamados de Caminhos Representativos de Concentração ou RCP (sigla em inglês). Cada RCP considera para a projeção de elevação relativa do NMM a evolução histórica de diversos fatores, como emissão de gases, concentração de gases do efeito estufa, entre outros. O cenário RCP 2,6 é o mais otimista, os cenários RCP 4,5 e RCP 6,0 são intermediários e o cenário RCP 8,5 é o mais pessimista dentre todos (Figura 2.4, Tabela 2.2).

Embora em todos estes cenários a projeção de aumento relativo do NMM seja de no máximo 1 m para o ano 2100, muitos estudos analisaram vulnerabilidade e risco decorrentes de cenários de inundação em toda a zona costeira de baixa altitude, que é delimitada pela cota altimétrica de 10 m (NICHOLLS *et al.*, 2007 e 2011; DWARAKISH *et al.*, 2009; NICHOLLS; CAZENAVE, 2010; BOORI *et al.*, 2012).

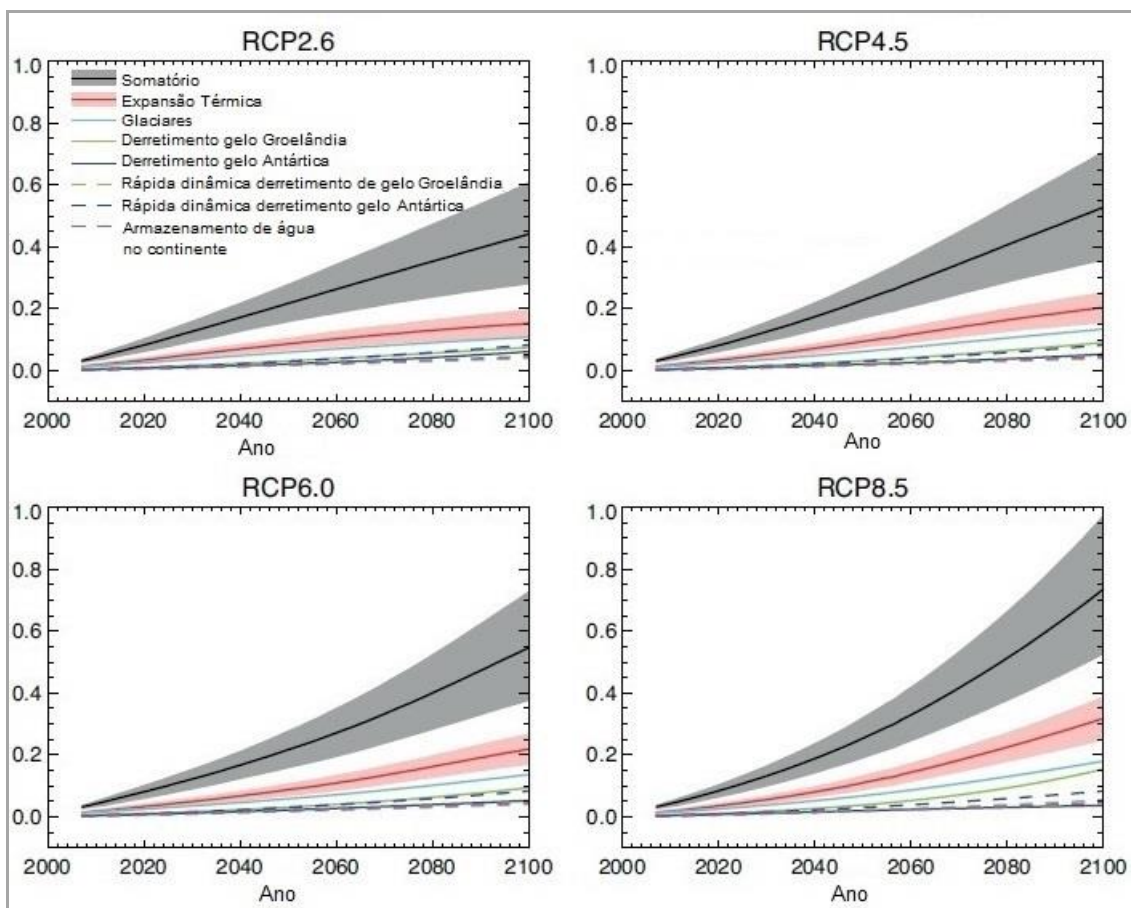


Figura 2.4: Aumento global do Nível Médio do Mar segundo os caminhos representativos de concentração (RCP) (IPCC, 2013).

Tabela 2.2: Cenários de variação do Nível Médio do Mar para o ano 2100 segundo caminhos representativos de concentração (RCP) (IPCC, 2013).

Caminhos representativos de concentração (RCP)	
RCP 2,6	Varição do NMM: 0,44 mm (0,28 a 0,61 mm)
RCP 4,5	Varição do NMM: 0,53 mm (0,36 a 0,71 mm)
RCP 6,0	Varição do NMM: 0,55 mm (0,38 a 0,73 mm)
RCP 8,5	Varição do NMM: 0,74 mm (0,52 a 0,98 mm)

### Capítulo 3 - Localização e Caracterização das Áreas de Estudo

As áreas de estudo estão compreendidas em 3 municípios costeiros, o município de Salinópolis, no Pará, e os municípios de Macau e Guamaré, no Rio Grande do Norte (Figura 3.1a e 3.1b). Apesar de estarem submetidos a diferentes dinâmicas costeiras, estão localizados em zona costeira brasileira plana e de baixa elevação. Macau e Guamaré são municípios que experimentam há anos os efeitos da indústria petrolífera na socioeconomia e meio ambiente locais, enquanto Salinópolis está para sentir os efeitos desta indústria, uma vez que houve em 2013 a concessão da exploração de blocos petrolíferos na região oceânica adjacente (DOU, 2013).

Salinópolis, também conhecido como Salinas, é um município cuja estrutura econômica está fundamentada no setor de comércio e serviços, principalmente voltados para o turismo e lazer (ADRIÃO, 2006) e apresenta ocupação desordenada como resultado destas atividades econômicas, provocando riscos a erosão de residências e ambientais pela construção irregular em áreas de dunas (BUSMAN *et al.*, 2005b; RANIEIRI; EL-ROBRINI, 2015). A zona costeira paraense apresenta reentrâncias com ecossistemas como manguezais, praias, restingas, várzeas e campos inundáveis, considerados frágeis, complexos, sensíveis e vulneráveis às modificações ambientais (SOUZA FILHO, 2000; PROST; MENDES, 2001).

A praia do Atalaia dista aproximadamente 220 km da capital Belém e está localizada na ilha homônima, pertencente ao município de Salinópolis/PA (GREGÓRIO *et al.*, 2005) (Figura 3.1b). Apresenta cerca de 12 km de extensão, largura média do estirâncio de cerca de 350 m e orientação NW-SE. É do tipo exposta e está sob o regime de macromarés semidiurnas, com amplitudes máximas de 5,7 m nas sizíguas equinociais (PEREIRA *et al.*, 2014). O clima é do tipo tropical quente e úmido (*Am*) segundo a classificação de Köppen, com precipitação elevada (2594,6 mm), temperatura média em torno de 27,7°C. Está exposta aos ventos alísios de N-NE, durante grande parte do ano, com velocidades médias de 7,9 m/s, mais fortes entre os meses de dezembro e maio (GREGÓRIO *et al.*, 2011).

Por sua grande beleza cênica, esta praia apresenta na porção oeste casas de segunda-residências e na porção leste comércio e serviços baseados em turismo (MENDES *et al.*, 1997; BUSMAN *et al.*, 2005a, 2005b) (Figura 3.2a, 3.2b e 3.2c). Em consequência à forte erosão na praia, os proprietários das segunda-residências, em geral mansões, constroem há anos tentativas de proteção costeira (Figura 3.2d, 3.2e, 3.2f).

Quanto à geologia, na planície costeira estão presentes três unidades estratigráficas: Formação Pirabas, Grupo Barreiras e Depósitos Holocênicos. A Formação Pirabas, que aflora principalmente na região litorânea do nordeste do Pará, é constituída por rochas carbonáticas fossilíferas depositadas durante o Mioceno Inferior. O Grupo Barreiras apresenta sedimentos areno-argilosos e ocasionalmente conglomeráticos mal consolidados. Os depósitos holocênicos são representados por praias, dunas e planícies de marés lamosa e arenosa (GÓES *et al.*, 1990).

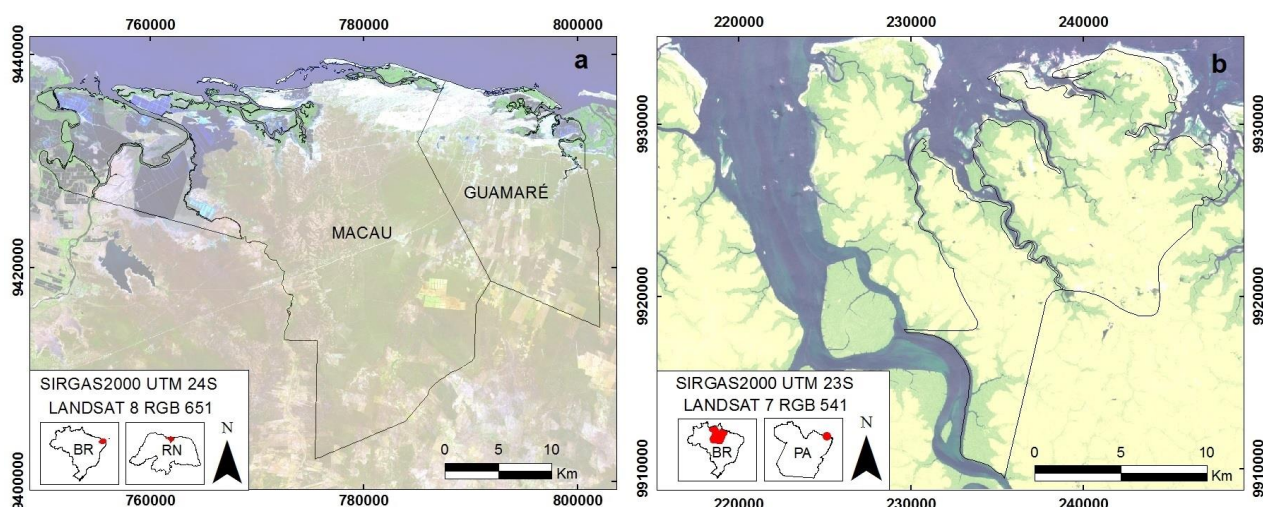


Figura 3.1: Mapa de localização dos municípios (a) Macau e Guamaré / RN e (b) Salinópolis / PA.

Macau e Guamaré são municípios costeiros localizados no litoral setentrional do Rio Grande do Norte (Figura 3.1a), que apresenta clima semiárido seco e quente, segundo a classificação de Köppen-Geiger (YOO; ROHLI, 2016), baixa precipitação anual (< 750mm/ano), umidade média de 66,7%, temperaturas máximas de 34,7°C e mínimas de 20,7°C (INMET, 2014). A geologia da região é composta por unidades litológicas da Bacia Potiguar, cuja sequência estratigráfica, da base para o topo, se inicia com os depósitos da Formação Açú (~140 Ma), Formação Jandaíra (~110 Ma), Grupo Barreiras (~80 Ma), Basalto Macau (~30 Ma). No fechamento da sedimentação da Bacia Potiguar registram-se os sedimentos atuais de depósitos aluvionares, flúvio-estuarinos, flúvio-marinhos, praias e eólicos litorâneos (CPRM, 2007).

A geomorfologia da região é composta em maior parte por superfície de tabuleiros costeiros, sistemas de ilhas barreiras com praias arenosas, campos de dunas fixas e móveis, planícies de inundação flúvio-estuarina e flúvio-marinha. A superfície de tabuleiros costeiros é constituída por litologias do Grupo Barreiras, recoberta por depósitos eólicos e aluvionares,

ao longo de drenagens, sobre o relevo plano a suavemente ondulado. A planície flúvio-estuarina ocorre na proximidade da linha de costa em áreas de baixa declividade em direção ao mar e/ou canais principais de drenagens onde formam terraços planos a suavemente inclinadas, inundáveis em períodos de cheias. A planície flúvio-marinha ocorre em faixas de transição do ambiente marinho e fluvial, sendo uma das características a alta salinidade. Os sistemas ilhas barreiras com praias arenosas, campos de dunas fixas e móveis são depósitos sedimentares de areia média a muito fina, sujeitos à dissipação pela hidrodinâmica (ondas e correntes marinhas em ambiente de mesomarés) e ventos. As dunas fixas apresentam alguma cobertura vegetal (IDEMA, 2002).

Os solos são, segundo a classificação da EMBRAPA (2013), compostos principalmente por Neossolos, Gleissolos e Latossolos e, secundariamente, por Cambissolos. Na vegetação predominam Caatinga, Restingas e Manguezal e o uso do solo é, principalmente, por cultivo e pelas indústrias do Sal, Carcinicultura, Petróleo e Gás e a Eólica.

A praia está sob regime de mesomarés, com amplitudes máximas de 3 m (BNDO, 2014). A corrente longitudinal deriva no sentido predominante E-W (CHAVES *et al.*, 2004; MATOS *et al.*, 2013). A velocidade média dos ventos é de  $5,49 \pm 3,83$  m/s, com direções variando entre NE, E e SE, principalmente. As alturas significativas e máximas de ondas variam entre 1,25 m e 2,09 m, respectivamente, com períodos médios entre 4,3 s e 5,5 s (MATOS *et al.*, 2013).

A região costeira destes municípios apresenta um sistema de praias oceânicas arenosas (praias de Soledade e Minhoto), ilhas barreiras (ilhas da Ponta do Tubarão e do Fernandez) e canais de maré submetidos, os quais tem sofrido constantemente modificação em sua configuração, já que a intensa ação de processos costeiros tem provocado abertura e fechamento de canais de marés e a formação de novas ilhas barreiras e barras arenosas devido à alta dinâmica sedimentar de curto prazo (GRIGIO *et al.*, 2004; CHAVES *et al.*, 2006; SANTOS; AMARO, 2011; AMARO *et al.*, 2012a).

Na zona costeira estão instaladas atividades petrolíferas de exploração, produção e transporte de petróleo e gás natural, tanques de evaporação/cristalização da indústria salineira, tanques de carcinicultura e, mais recentemente, infraestruturas típicas da indústria eólica, tornando a região mais suscetível aos impactos socioambientais negativos e exposta a constante risco ambiental (GRIGIO *et al.*, 2004; BOORI; AMARO, 2010; MATOS *et al.*, 2013; SANTOS; AMARO, 2013) (Figura 3.3a, 3.3b e 3.3c).



Figura 3.2: Vista aérea da Praia do Atalaia durante a baixa-mar (abril 2012) (a) do setor comercial (restaurantes-palafita e barracas na praia), (b) das segunda-residências e do afloramento de rochas calcáreas da formação Pirabas (seta preta), (c) muro vertical e gabião em madeira preenchido com pedra (d) estaqueamento de madeira (seta amarela).

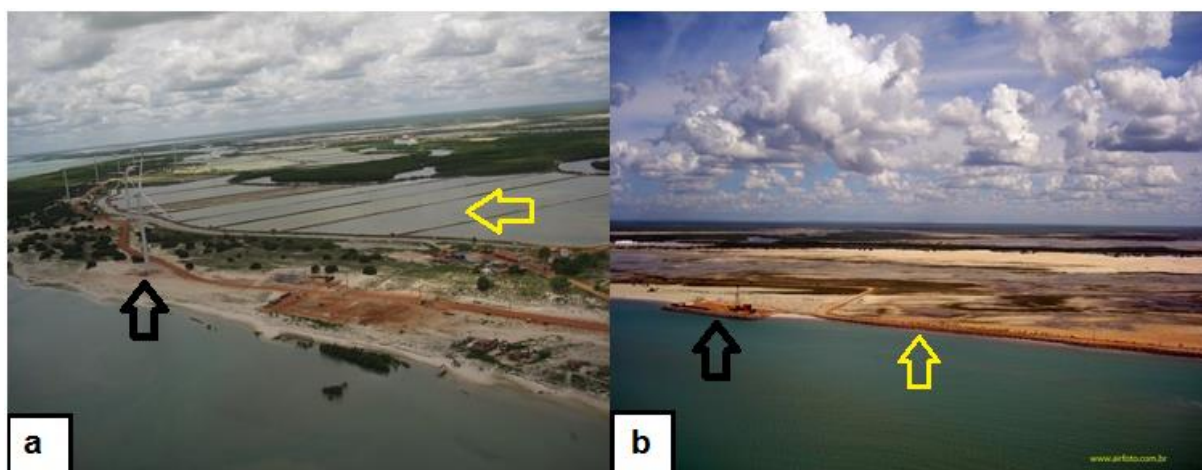


Figura 3.3: Vista aérea da zona costeira de Macau e Guamaré apresentando (março/2012) (a) a indústria eólica (seta preta) e carcinicultura (seta amarela) e (b) exploração de petróleo (seta preta) em linha de costa protegida por enrocamento (seta amarela).

## Capítulo 4 - Metodologia

O primeiro passo metodológico foi o levantamento bibliográfico e cartográfico das áreas de estudo. Em seguida, foram gerados mapas a partir de dados digitais obtidos em sítios de instituições públicas e de pesquisa nacionais e/ou por meio de processamento em ambiente de Sistemas de Informação Georreferenciadas (SIG) (Tabela 4.1).

Os mapas de Macau e Guamaré estão na escala de 1:100.000 e na mesma base cartográfica, Datum SIRGAS 2000, Elipsóide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*) (IBGE, 2005), Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e Zona 24S. Os mapas de Salinópolis estão na escala 1:250.000, Datum SIRGAS 2000, Elipsóide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*) (IBGE, 2005), Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e Zona 23S.

Todos os mapas constam em banco de dados SIG, de modo que podem ser retroalimentados a fim de gerar mais resultados e/ou atualizações. Com os mapas resultantes foram realizadas as análises de vulnerabilidade física, vulnerabilidade socioeconômica, vulnerabilidade socioambiental, de risco socioambiental e criticidade de gestão ao risco de inundação (Figura 4.1).

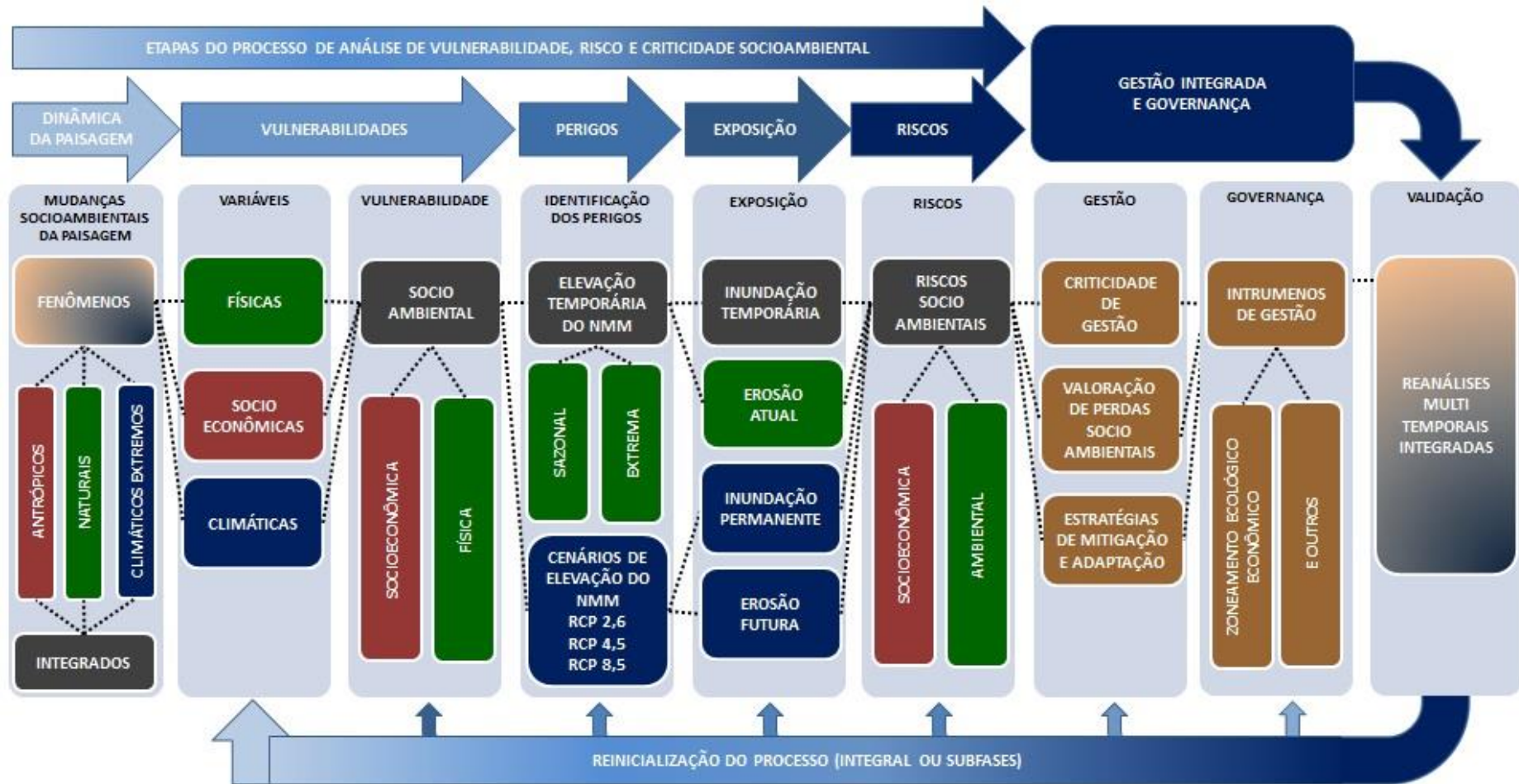


Figura 4.1: Estratégia metodológica aplicada para análise de Vulnerabilidade, Risco e Criticidade Socioambiental, com aplicabilidade para a gestão integrada e governança.

Tabela 4.1: Mapas base e resultantes de vulnerabilidade socioeconômica, vulnerabilidade física, vulnerabilidade e risco socioambiental e de criticidade de gestão ao risco de inundação.

<b>Mapa Base</b>	
Mapa Municípios	Fonte Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Malha geométrica dos municípios Brasileiros. Processamento em Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG).
<b>Mapas Ambientais</b>	
Mapa Vegetação	Classificação Supervisionada de Imagem de Satélite L8, ajustada por trabalho de campo.
Mapa Uso do solo	Classificação Supervisionada de Imagem de Satélite L8, ajustada por trabalho de campo.
Mapa Recursos Hídricos	Dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Processamento em SIG.
Mapa Declividade	Dados Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Processamento em SIG.
Mapa Geologia	Dados Serviço Geológico do Brasil e Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS PA). Processamento em SIG.
Mapa Solos	Dados Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS PA). Processamento em SIG.
Mapa Geomorfologia	Dados Laboratório de Geoprocessamento/UFRN (GEOPRO), Instituto de Desenvolvimento Sustentável do Meio Ambiente/RN (IDEMA) e Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS PA). Processamento em SIG.
Mapa Distância da Linha de Costa	Mapeamento da Zona Tampão (ZT) em SIG.
Mapa Distância da Vegetação Protegida	Mapeamento da ZT em SIG.
Mapa Distância das Margens dos rios	Mapeamento da ZT em SIG.
<b>Mapas de Vulnerabilidade Física</b>	
Mapa VN	Mapa Vulnerabilidade Natural. Álgebra de mapas em SIG.
Mapa VA	Mapa Vulnerabilidade Ambiental. Álgebra de mapas em SIG.
Mapa VNMM	Mapa Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar. Álgebra de mapas em SIG.
Mapa VR	Mapa Vulnerabilidade Ambiental Relativa. Álgebra de mapas em SIG.
Mapa VU	Mapa Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao Uso do Solo. Álgebra de mapas em SIG.
Mapa VR-NMM	Mapa Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar. Álgebra de mapas em SIG.
<b>Mapas de Vulnerabilidade Socioeconômica</b>	
Mapa IVSM	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal. Processamento em SIG.
Mapa IVSF	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal. Processamento em SIG.
Mapa IVSC	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira. Processamento em SIG.
Mapa IVS	Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica. Processamento em SIG.
<b>Mapas de Vulnerabilidade Socioambiental</b>	
Mapa VNMM-IVSM	Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) <i>versus</i> Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Social Municipal (IVSM).
Mapa VNMM-IVSF	Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) <i>versus</i> Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Social baseado no Índice Firjan (IVSF).
Mapa VR-NMM-IVSM	Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) <i>versus</i> Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Social Municipal (IVSM).

Mapa VR-NMM-IVSF	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) <i>versus</i> Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Social baseado no Índice Firjan (IVSF).
Mapa VR-IVSM	Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR) <i>versus</i> Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Social Municipal (IVSM).
Mapa VR-IVSF	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR) <i>versus</i> Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice de Vulnerabilidade Social baseado no Índice Firjan (IVSF).
<b>Mapas de Risco Socioambiental a cenários de inundação</b>	
Mapa de Área Inundável	Dados Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Processamento em SIG.
Mapas de Risco à inundação	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental <i>versus</i> Mapa de Área Inundável. Álgebra de mapas em SIG.
<b>Mapas de Criticidade de gestão ao risco de inundação</b>	
Mapa Criticidade de gestão ao risco de inundação	Mapa de Vegetação e Uso do Solo <i>versus</i> Mapa de Risco socioambiental a cenários de inundação. Álgebra de mapas.

#### 4.1. Diagnóstico Socioeconômico

Para realizar o diagnóstico socioeconômico, foram escolhidas variáveis que melhor representassem as características socioeconômicas dos municípios (Tabela 4.2). Para tanto, buscou-se em ampla bibliografia nacional e internacional quais são as variáveis mais recorrentes (CUTTER *et al.*, 2003, 2009; BORUFF *et al.*, 2005; SZLAFSZTEIN, 2005; FIOCRUZ, 2007; ALMEIDA, 2010; CRAVEIRO *et al.*, 2012; ANAZAWA *et al.*, 2013; ZANELLA *et al.*, 2013; SCHUMANN; MOURA, 2015), além de se acrescentar outras variáveis consideradas necessárias por meio de consulta a profissionais de áreas multidisciplinares (estatística, demografia, oceanografia e geologia) que trabalham com análise de Vulnerabilidade Socioeconômica, sendo as variáveis posteriormente analisadas por meio de Análise de Componentes Principais (ACP) (Figura 4.2).

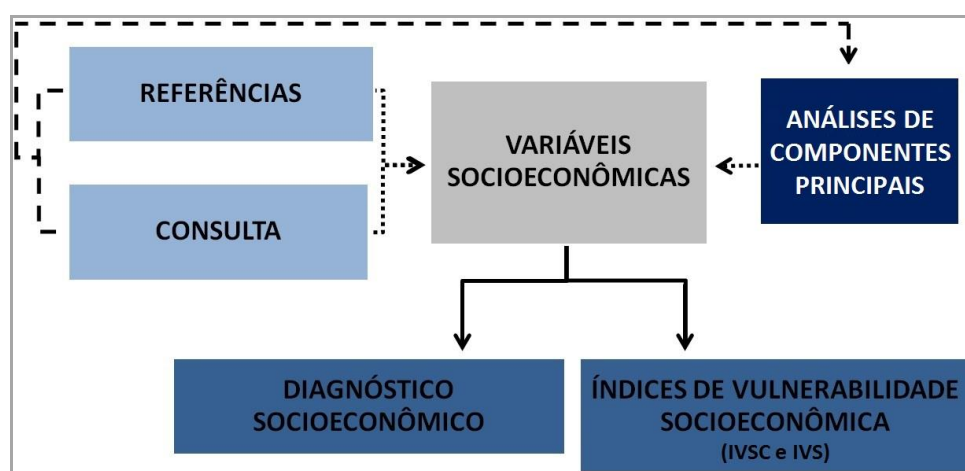


Figura 4.2: Estratégia metodológica para escolha de variáveis socioeconômicas usadas no diagnóstico socioeconômico e nos índices de vulnerabilidade socioeconômica aplicados.

Tabela 4.2: Fonte e descrição das variáveis socioeconômicas analisadas por Análise de Componentes Principais.

FONTE	VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
PNUD 2014 <sup>1</sup>	IDHM TOTAL	Média geométrica dos demais subíndices do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM
FIRJAN 2015	IFDM	Média geométrica dos subíndices do Índice FIRJAN (Federação das Indústrias do estado do Rio de Janeiro) de Desenvolvimento Municipal - IFDM
IBGE <sup>2</sup>	POPULAÇÃO TOTAL	Total de habitantes
IBGE	DENSIDADE DEMOGRÁFICA	Total de habitantes por área
IBGE	RAZÃO DE GÊNERO	Razão entre o número de homens e o número de mulheres em uma população
IBGE	RAZÃO URBANA/RURAL	Razão entre a população urbana e a rural
IBGE	CRESCIMENTO POPULACIONAL	Média geométrica de crescimento anual da população - incremento médio anual da população
IBGE	RAZÃO DE DEPENDÊNCIA	Razão entre população inativa ou dependente (0 a 14 anos e 65 anos e mais de idade) e população potencialmente ativa (15 a 64 anos de idade)
IBGE	ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO <sup>3</sup>	Total de habitantes de 65 anos ou mais para cada 100 menores de 15 anos de idade
IBGE	AFRODESCENDENTES E INDÍGENAS	Característica declarada pelas pessoas de acordo com as opções: preta e indígena
PNUD 2014	TAXA DE ANALFABETISMO	Percentual das pessoas analfabetas em relação ao total de pessoas do mesmo grupo etário
IBGE	RENDA PER CAPITA	Soma dos salários de toda a população dividido pelo número de habitantes
IBGE	RENDA MÉDIA MENSAL	Razão entre o valor médio do rendimento mensal e do salário mínimo do ano 2010
PNUD 2014	ÍNDICE DE GINI	Medida do grau de concentração de uma distribuição, cujo valor varia de zero (perfeita igualdade) até um (a desigualdade máxima)
PNUD 2014	TAXA DE DESOCUPAÇÃO	Taxa de desocupação da população de 18 anos ou mais. Percentual das pessoas desocupadas, em relação às pessoas economicamente ativas
DATASUS <sup>4</sup>	TAXA DE DESEMPREGO	Percentual da população economicamente ativa desocupada
PNUD 2014	TAXA DE OCUPADOS	Taxa de atividade da população de 18 anos ou mais (ocupados)
PNUD 2014	MAIORES DE 18 <sup>5</sup>	Percentual de pessoas de 18 anos ou mais sem fundamental completo e em ocupação informal
PNUD 2014	CONDIÇÕES DE MORADIA	Porcentagem da população em domicílios sem banheiro e água encanada
IBGE	Nº DOMICÍLIOS PERMANENTES	Moradia de uma pessoa ou de um grupo de pessoas, onde o relacionamento é ditado por laços de parentesco, dependência doméstica
PNUD 2014	VULNERÁVEIS À POBREZA	Total de habitantes com renda menor que 255 reais por mês
PNUD 2014	EXTREMAMENTE POBRES	Total de habitantes com renda menor que 70 reais por mês
IBGE	VALOR AGROPECUÁRIA	Valor adicionado bruto da agropecuária a preços correntes-PIB Municipal
IBGE	VALOR INDÚSTRIA	Valor adicionado bruto da indústria a preços correntes-PIB Municipal
IBGE	VALOR SERVIÇOS	Valor adicionado bruto dos serviços a preços correntes-PIB Municipal
DATASUS	INDICADOR DE SAÚDE	Total de profissionais e estabelecimentos de saúde
PNUD 2014	MORTALIDADE INFANTIL	Frequência com que ocorrem os óbitos infantis (menores de um ano) em uma população, em relação ao número de nascidos vivos em determinado ano civil; É expresso para cada mil crianças nascidas vivas

<sup>1</sup> Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

<sup>2</sup> Cálculo com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

<sup>3</sup> Ou Jovialidade

<sup>4</sup> Cálculo com base em dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde - DATASUS

<sup>5</sup> Percentual de pessoas de 18 anos ou mais sem fundamental completo e em ocupação informal

#### 4.1.1. Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) é um método de análise estatística que objetiva reduzir a dimensionalidade dos dados multivariados, de modo a captar a maior parte das informações do conjunto original em novos conjuntos. Assim, permite uma análise mais parcimoniosa e confiável das variáveis (LATTIN *et al.*, 2011). Por meio da ACP é possível identificar padrões de associação e estimar a influência das variáveis e cada componente principal (CP). Cada CP é uma combinação linear das variáveis originais a que está mais fortemente associada, tendo como vantagem a redução do número de variáveis, com menor perda possível da informação (MINGOTI, 2005; PENDLETON *et al.*, 2010; LATTIN *et al.*, 2011).

Como a ACP permite encontrar a maior ou menor importância das variáveis e reduzir a dimensionalidade do conjunto de variáveis sem implicar em uma perda significativa da informação original (BORUFF *et al.*, 2005; MINGOTI, 2005, 2013; MEIRA *et al.*, 2013), foi aplicada nas variáveis socioeconômicas de diferentes grupos de municípios com o objetivo de encontrar quais as variáveis socioeconômicas mais influentes e que, portanto, devem constar em análises de vulnerabilidade socioeconômica. Os grupos de municípios cujas variáveis socioeconômicas foram analisadas por ACP estão definidos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Grupos formados por municípios dos estados do Pará (PA) e Rio grande do Norte (RN) em que se aplicou análise de componentes principais sobre as variáveis socioeconômicas.

Nº	GRUPOS DE MUNICÍPIOS	TOTAL
1	Municípios dos estados do PA e RN	310
2	Municípios do estado do PA	143
3	Municípios do estado do RN	167
4	Municípios costeiros dos estados do PA e RN	73
5	Municípios costeiros do estado do PA	40
6	Municípios costeiros do estado do RN	33

A ACP objetivou diminuir a subjetividade na seleção das variáveis socioeconômicas e definir as variáveis mais adequadas ao estudo da vulnerabilidade socioeconômica. Uma das técnicas de seleção utilizada foi a escolha das variáveis de maior carga em módulo na primeira componente principal e outra técnica selecionou apenas a variável de maior carga em módulo de cada componente principal (BORUFF *et al.*, 2005; MINGOTI, 2005, 2013; MEIRA *et al.*, 2013). Por meio dos pesos (ou escores) resultantes da ACP para os municípios

se observou a ordem de importância ou posicionamento dos municípios em cada grupo analisado (MINGOTI, 2005) (Capítulo 5, Tabela 5.10).

#### 4.1.2. Índices de Vulnerabilidade Socioeconômica

As análises de vulnerabilidade socioeconômica foram geradas segundo diferentes parâmetros, especificados a seguir, e transformados em dados cartográficos, tomando-se como base para representação a dimensão municipal. A tabela 4.4 apresenta os dados dos subíndices utilizados nas fórmulas de cada índice de Vulnerabilidade Socioeconômica.

Os resultados dos índices foram padronizados ou parametrizados para permitir comparação entre os resultados dos diferentes índices de vulnerabilidade socioeconômica aplicados. A padronização contou com os seguintes passos: (i) somou-se 10 ao valor original dos índices; (ii) ao menor valor subtraiu-se 5 e ao maior valor somou-se 5; (iii) finalmente, dividiu-se o resultado pelo maior valor. O resultado final padronizado varia de 0 (menor vulnerabilidade) a 1 (maior vulnerabilidade).

Tabela 4.4: Índices e variáveis de Vulnerabilidade Socioeconômica para os municípios de Guamaré/RN, Macau/RN e Salinópolis/PA.

Índice Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM)	DESCRIÇÃO
IVSM	
1 IVSM Educação	Quanto maior mais vulnerável
2 IVSM Longevidade	
3 IVSM Renda	
FÓRMULA IVSM = 1 - IDHM TOTAL (ano base 2010)	
Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IVSF)	DESCRIÇÃO
IVSF	
1 IVSF Educação	Quanto maior mais vulnerável
2 IVSF Saúde	
3 IVSF Emprego e Renda	
FÓRMULA IVSF = 1 - IFDM TOTAL (ano base 2011)	
Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira (IVSC)	DESCRIÇÃO
IVSC	
1 Pobreza	Quanto maior mais vulnerável
2 Densidade populacional	
3 Crescimento Populacional	
4 Afrodescendentes e Indígenas	
5 Jovialidade	Quanto maior menos vulnerável
6 Razão urbana/rural	
7 Razão Gênero	
8 Emprego - Taxa de ocupados	
9 Renda	
FÓRMULA IVSC = Compensação: $\Sigma$ variáveis 1 a 4 - $\Sigma$ variáveis 5 a 9.	

Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVS)	DESCRIÇÃO
IVS	
1 População Total	
2 Densidade populacional	
3 Taxa de crescimento populacional	
4 Razão de dependência	Quanto maior mais vulnerável
5 Extremamente pobres	
6 Índice de Gini	
7 Taxa de desocupação	
8 Condição de Moradia Inadequada	
<hr/>	
9 Taxa de Jovialidade	
10 Razão Gênero	
11 Taxa de atividade	Quanto maior menos vulnerável
12 Razão urbana/rural	
13 Renda	
14 IDHM Total	
<hr/>	
FÓRMULA IVS = Compensação: $\Sigma$ variáveis 1 a 8 - $\Sigma$ variáveis 9 a 14.	
* IDHM: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.	

#### 4.1.2.1. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal – IVSM

Um adendo deste índice é a simplificação no seu cálculo, pois resultou dos dados do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), sendo esta uma abordagem inovadora. Os dados foram obtidos do Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil 2013 (PNUD, 2013).

O índice IDHM é formado pelos subíndices educação, longevidade e renda. O subíndice educação é composto pelas variáveis percentual de pessoas com 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, percentual de crianças de 5 a 6 anos frequentando a escola, percentual de crianças de 11 a 13 anos frequentando os anos finais do ensino fundamental, percentual de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo e percentual de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo. O subíndice longevidade é composto apenas pela variável esperança de vida ao nascer (em anos) e o subíndice renda é composto apenas pela variável renda *per capita* (em R\$) (PNUD, 2013).

A motivação no uso do IDHM para análise de vulnerabilidade socioeconômica foi por este permitir facilmente uma comparação com quaisquer outros municípios do Brasil. Outro motivo do seu uso é por ser constituído dos subíndices educação, longevidade e renda; assim, constitui-se uma síntese socioeconômica do município, ainda que simplificada.

Como o objetivo foi distinguir qual o município mais vulnerável, o índice IVSM foi calculado subtraindo-se de 1 o valor do IDHM Total. Quanto maior o resultado desta subtração, mais vulnerável é o município. Este resultado foi computado em ambiente SIG

para cada município para posterior operação entre mapas. As classes do IVSM segue a parametrização do IDHM, porém de modo invertido (Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Classes do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM) baseado nas classes do índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).

VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA	IVSM		IDHM		DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL
	Muito Baixa	< 0,19	> 0,8	Muito Alto	
Baixa	0,2 - 0,29	0,7 - 0,79	Alto		
Média	0,3 - 0,39	0,6 - 0,69	Médio		
Alta	0,4 - 0,49	0,5 - 0,59	Baixo		
Muito Alta	> 0,5	< 0,49	Muito Baixo		

#### 4.1.2.2. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal - IVSF

Este índice foi baseado no Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM), criado em 2008. O sistema FIRJAN é uma organização privada e sem fins lucrativos, com mais de 7.500 empresas associadas e é composto por cinco instituições que trabalham de forma integrada para o crescimento da indústria fluminense (FIRJAN, CIRJ, SESI Rio, SENAI Rio e IEL Rio).

Este índice foi utilizado por ser um indicador composto dos subíndices Emprego e renda, educação e saúde. Assim, o IFDM de um município representa o nível de desenvolvimento socioeconômico local através da média simples dos resultados obtidos em cada um desses subíndices e varia de 0 a 1, sendo maior o desenvolvimento social quanto mais próximo de 1 o valor do índice. Também é de fácil obtenção e comparação entre municípios, pois O IFDM está disponível online para os municípios brasileiros (IFDM, 2014).

O índice IVSF é composto pelas variáveis geração de emprego formal, absorção da mão de obra local, geração de renda formal, salários médios do emprego formal e desigualdade no subíndice Emprego e renda, variáveis matrículas na educação infantil, abandono no ensino fundamental, distorção idade-série no ensino fundamental, média de horas aula diárias no ensino fundamental e resultado do IDEB no ensino fundamental no subíndice Educação e variáveis número de consultas pré-natal, óbitos por causas mal definidas, óbitos infantis por causas evitáveis, internação sensível à atenção básica (ISAB) no subíndice saúde (IFDM, 2014).

Assim como o índice IVSM, o IVSF visa distinguir qual o município mais vulnerável, por isso foi calculado subtraindo-se de 1 o valor do IFDM Total e as classes do IVSF segue a

parametrização do IFDM, porém de modo invertido, ou seja, varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1 maior a Vulnerabilidade Socioeconômica do município (Tabela 4.6).

Embora seja baseado no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), assim como o IDHM, o IFDM é anual e apresenta indicadores diferenciados na sua composição e por isto foi utilizado na formulação de um índice de Vulnerabilidade Socioeconômica nesta pesquisa. Por exemplo, no subíndice Educação está incluso o indicador Taxa de distorção idade-série, que representa a defasagem de aprendizagem, expressa pelo percentual de alunos com idade superior à idade recomendada para a série que está cursando (IFDM, 2014).

Um dos indicadores que compõem o subíndice saúde é Internações Sensíveis à Atenção Básica, que indica a quantidade de internações hospitalares que poderiam ter sido evitadas caso os serviços de atenção básica de saúde tivessem sido efetivos. E no subíndice emprego e renda um indicador diferenciado é o grau de formalização do mercado de trabalho local, que procura medir a capacidade do município em absorver a população local (IFDM, 2014).

Tabela 4.6: Classes do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVSF) baseadas no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM).

VULNERABILIDADE SOCIO ECONÔMICA	IVSF		IFDM		DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL
	Baixa	< 0,2	> 0,8	Alto	
	Regular	0,2 - 0,39	0,6 - 0,8	Moderado	
	Moderada	0,4 - 0,59	0,4 - 0,6	Regular	
	Alta	> 0,6	< 0,4	Baixo	

#### 4.1.2.3. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira - IVSC

Corresponde a aplicação do índice de Vulnerabilidade Socioeconômica apresentado por Boruff *et al.* (2005), aprimorado a partir de Cutter *et al.* (2003), sendo a base de dados o censo demográfico 2010 (IBGE, 2013; PNUD, 2013). Para aplicação neste estudo algumas alterações foram realizadas. O fator número de asiáticos e imigrantes foi excluído e o fator etnicidade foi modificado para número de afrodescendentes e índios, os quais recebem cotas de educação (UNB, 2013), entre outros subsídios do governo, por serem considerados menos favorecidos, isto é, socialmente mais vulneráveis tanto a eventos gradativos quanto a eventos climáticas extremos (BRASIL, 2015).

O fator idade foi modificado para taxa de jovialidade e foi obtido pela divisão da quantidade de jovens e adultos (20 a 64 anos) pela quantidade de crianças e adolescentes (0 a 19 anos) e idosos (> 65 anos), segundo dados do Censo 2010 (IBGE, 2013). O dado referente

à renda corresponde à razão entre o valor médio do rendimento mensal e o salário mínimo do ano no Censo 2010 (R\$ 510,00 - BRASIL, 2010). Já o fator declínio populacional foi convertido para crescimento populacional.

Três classes de vulnerabilidade socioeconômica (alta, média e baixa) foram obtidas a partir do desvio padrão das médias, sendo posteriormente padronizados para todos os municípios (CUTTER *et al.*, 2003; BORUFF *et al.*, 2005). Seguindo esta formulação, as classes para o índice IVSC variaram de 0 a 1, sendo definidas como baixa ( $< 0,3$ ), média ( $0,3 - 0,6$ ) e alta ( $>0,6$ ) vulnerabilidade socioeconômica costeira.

#### **4.1.2.4. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica - IVS**

Este índice foi criado como uma adaptação do índice IVSC ao usar variáveis socioeconômicas que representem melhor a realidade brasileira. Para assegurar este intuito, foram consultados profissionais de áreas multidisciplinares sobre quais parâmetros socioeconômicos dos consultados em literatura são mais significativos para análise de Vulnerabilidade Socioeconômica de municípios costeiros ou não, elegendo-se os mais preponderantes para a realidade brasileira (CUTTER *et al.*, 2003, 2009; BORUFF *et al.*, 2005; IOCM, 2006; CUTTER; FINCH, 2007; IBGE, 2013; SILVA, 2014; SILVA *et al.*, 2014). Os parâmetros ou variáveis escolhidas estão dispostos na tabela 4.4. Para o cálculo deste índice optou-se por compensar e parametrizar os resultados, de modo que os valores sejam comparáveis entre os municípios.

A taxa de jovialidade e o dado de renda foram obtidos conforme o índice IVSC. O índice de Gini foi incorporado à análise por corresponder ao grau de concentração de renda, de modo a apontar a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos (IPEA, 2014). Para a obtenção das classes foi adotado o mesmo procedimento e limites que o do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira.

## **4.2. Vulnerabilidade Física**

### **4.2.1. Ponderação das variáveis**

As variáveis físicas componentes de cada índice de vulnerabilidade física foram ponderadas de acordo com a escala de ponderação de Saaty (2008) (Tabela 4.7) em Processo Analítico de Hierarquia (PAH) (SAATY, 2008; EASTMAN, 2012). A influência de cada variável na vulnerabilidade física de uma região pode ser estudada por meio do PAH, ferramenta de suporte à decisão onde múltiplas variáveis são comparadas segundo valores atribuídos por tomadores de decisão em uma escala numérica de ponderação, que varia de

extremamente mais à extremamente menos importante (SAATY, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Tabela 4.7: Escala de ponderação de Saaty aplicada no Processo Analítico de Hierarquia para obtenção da importância relativa das variáveis.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema mente	Muito Fortemente	Fortemente	Moderada mente	Igualmente	Moderada mente	Fortemente	Muito Fortemente	Extrema mente
MENOS IMPORTANTE					MAIS IMPORTANTE			

A importância relativa das variáveis é indicada pelos pesos resultantes do PAH (TAGLIANI, 2003) e a coerência da comparação foi verificada segundo a taxa de consistência, que indica o quanto a comparação entre as variáveis foi coerente ou aceitável (taxa de consistência < 0,10) (SAATY, 2008). A vantagem no uso de PAH está em diminuir a subjetividade na determinação da importância das variáveis em métodos de vulnerabilidade física (OLIVEIRA *et al.*, 2009). Os pesos ou ponderações resultantes do PAH foram aplicados nas álgebras de mapas entre as variáveis físicas para cada índice de vulnerabilidade física.

#### 4.2.2. Classes das Variáveis

Para fins de análises estatísticas, as diversas classes de cada variável física foram convertidas em 5 classes de vulnerabilidade física de acordo com os limites apresentados na Tabela 4.8, com escore de 1 a 3 para a lógica booleana ou de 0 a 255 para a lógica *fuzzy* (muito baixa a muito alta vulnerabilidade), sendo as proporções calculadas e usadas na Análise de Componentes Principais (ACP). A Figura 4.3 mostra, como exemplo, a conversão das classes de geomorfologia em classes de vulnerabilidade física.

Segundo o princípio da ecodinâmica, as unidades mais estáveis, ou menos vulneráveis, são aquelas onde prevalecem processos pedogenéticos; as unidades intermediárias apresentam um equilíbrio entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas e as unidades fortemente instáveis são as mais vulneráveis, onde prevalecem processos morfogenéticos (CREPANI *et al.*, 2001) (Tabela 4.9).

As classes de vulnerabilidade quanto à geologia, geomorfologia, vegetação e uso do solo foram baseadas nos trabalhos de Crepani *et al.* (2001), Grigio (2003, 2008) e Boori e Amaro (2010); as classes de solos foram baseadas na classificação dos solos segundo a

EMBRAPA (2013); quanto à distância da linha de costa foram estabelecidas de acordo com a definição de Orla Costeira (BRASIL, 2002) e de proximidade da costa (ÖZYURT; ERGIN, 2010) e quanto à distância das margens dos rios segundo as áreas de preservação permanente (BRASIL, 2012). As classes de declividade respeitaram os critérios apresentados por Özyurt e Ergin (2010) e a definição de áreas de preservação permanente (BRASIL, 2012).

Tabela 4.8: Escores das classes de vulnerabilidade física com lógica booleana e lógica *fuzzy*.

CLASSES DE VULNERABILIDADE					
LÓGICA	MUITO BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
BOOLEANA	1 - 1,4	1,4 - 1,8	1,8 - 2,2	2,2 - 2,6	2,6 - 3
FUZZY	0 - 51	51 - 102	102 - 153	153 - 204	204 - 255

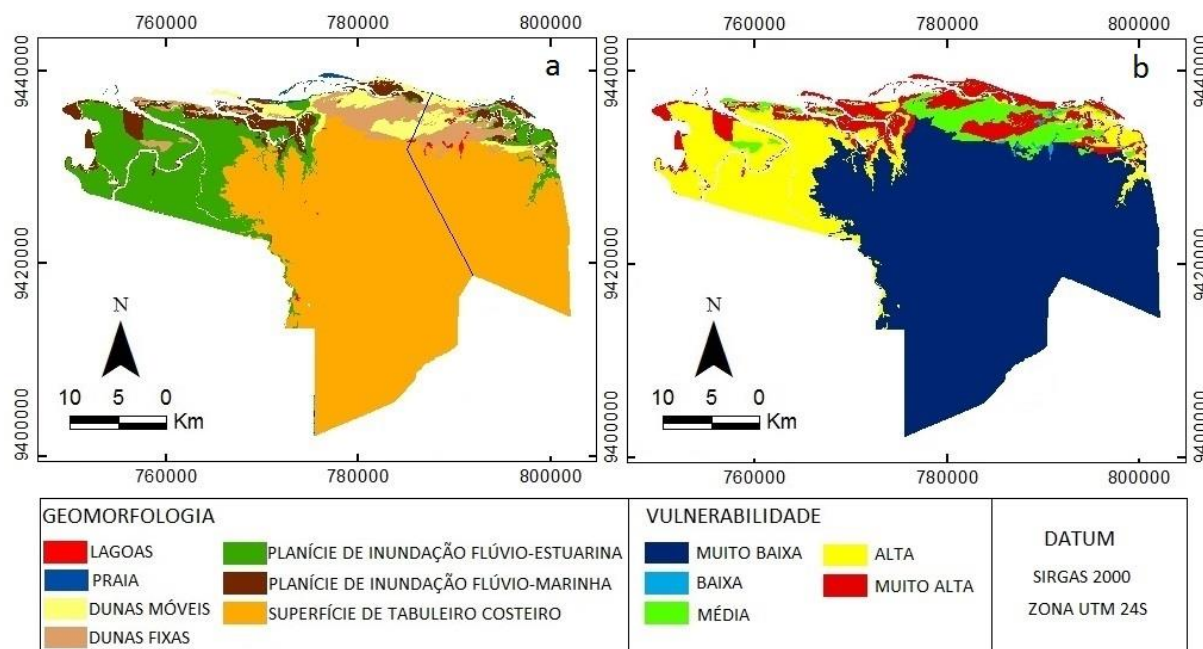


Figura 4.3: (a) Classes de geomorfologia convertidas em (b) classes de vulnerabilidade física.

#### 4.2.3. Índices de Vulnerabilidade Física

O conceito de vulnerabilidade do meio físico natural, ou vulnerabilidade física, empregado neste estudo diz respeito à maior ou menor estabilidade das variáveis físicas dos ecossistemas segundo o princípio da ecodinâmica ou princípio da dinâmica do meio ambiente dos ecossistemas. Neste princípio, as variáveis físicas são consideradas mais estáveis, portanto menos vulneráveis, quanto mais prevalecem processos pedogenéticos, e menos estáveis e mais vulneráveis quando prevalecem processos morfogenéticos (TRICART, 1977).

Avaliar áreas quanto à vulnerabilidade física é possível por meio de diferentes métodos, que podem usar tanto a lógica booleana quanto a lógica *fuzzy*. Nesta pesquisa, os mapas ambientais foram combinados entre si por meio de álgebra de mapas em duas análises distintas: (i) Análise de vulnerabilidade física com lógica booleana, em que os mapas ambientais com limites booleanos ou abruptos foram combinados entre si; e (ii) Análise de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy*, em que os mapas ambientais foram reescalados para uma escala contínua variando de 0 a 255 e então combinados entre si.

Para os mapas de vulnerabilidade física com lógica booleana a padronização das variáveis seguiu os princípios de ecodinâmica (CREPANI *et al.*, 2001), com escore variando de 1 (menos vulnerável) a 3 (mais vulnerável) (Tabela 4.9). Para os mapas de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy*, as variáveis foram padronizadas para uma escala contínua de 0 (menos vulnerável) a 255 (mais vulnerável) por meio de lógica *fuzzy* (EASTMAN, 2012).

Tabela 4.9: Classes de vulnerabilidade física segundo as variáveis físicas para os municípios de Macau e Guamaré (RN) e Salinópolis (PA).

Variável	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Geologia RN	Açu, Jandaíra	Basalto Macau, Tibau, Barreiras	Depósitos flúvio-lacustrinos, flúvio-marinhos e aluvionares antigos	Depósitos aluvionares, aluvionares de canal, aluvionares de planície de inundação, eólicos litorâneos vegetados	Depósitos eólicos litorâneos não vegetados, litorâneos praias, de mangue
Geologia PA	Formação Pirabas	---	Grupo Barreiras	---	Depósitos flúvio-marinhos e marinhos
Geomorfologia RN	Superfície de Aplainamento ou de Tabuleiro Costeiro, Lagoas	Lagoas Temporárias	Dunas Fixas	Planície de Inundação Flúvio-Estuarina	Planície Flúvio-Marinha, Praia, Dunas Móveis
Geomorfologia PA	Acumulação flúvio-marinha	---	---	---	Dissecação Convexa
Vegetação RN	Cidade, Carcinicultura, Saliniculturas, Instalações Petrolíferas, Solo exposto antrópico e natural, Dunas Móveis, Ilhas e Praias, Mangue Degradado	Cultivo	Caatinga Esparsa, Dunas Fixas (Restingas)	Caatinga Densa	Mangue
Vegetação PA	Solos exposto	---	Vegetação Secundária	---	Mangue
Uso do solo RN	Caatinga, Mangue, Dunas, Ilhas e Praias, Solo exposto natural	Solo exposto antrópico	Cultivo, Saliniculturas	Carcinicultura, Instalações Petrolíferas	Cidade
Uso do solo PA	Vegetação	---	Solo exposto	---	Cidade e povoados
Solos RN	Gleissolos	Cambissolos	Latossolos	Neossolos (Areia Quartzosa)	Neossolos (Areia Quartzosa Marinha)
Solos PA	Gleissolos Thiomorficos	---	Latossolo Amarelo	---	---

Declividade	5 - 45%	3,33 - 5%	2 - 3,33%	1 - 2%	0 - 1 e > 45%
Distância Linha de Costa	> 1000 m	500 - 1000 m	200 - 500 m	50 - 200 m	< 50 m
Distância Margens de Rios	> 1000 m	500 - 1000 m	200 - 500 m	50 - 200 m	< 50 m

O cálculo compreendeu a combinação linear de cada variável multiplicado pelo seu peso ou ponderação resultante do PAH (Tabela 4.10). Os índices de vulnerabilidade física foram aplicados tanto para os municípios de Macau/RN, Guamaré/RN e Salinópolis/PA quanto para a área total dos municípios de Macau e Guamaré, a fim de se determinar a maior adequabilidade da análise, se estudar a vulnerabilidade física ao nível municipal ou em áreas que englobem trechos de um ou mais municípios contíguos.

Tabela 4.10: Escala de comparadores de Saaty aplicada para a ponderação dos pesos do índice Vulnerabilidade Ambiental Relativa - VR.

PESOS	VARIÁVEL	DISTÂNCIA RIOS	DECLIVIDADE	SOLOS	VEGETAÇÃO	GEOLOGIA
0,25	DISTÂNCIA RIOS	1				
0,42	DECLIVIDADE	3	1			
0,10	SOLOS	1/3	1/3	1		
0,16	VEGETAÇÃO	1/3	1/3	3	1	
0,06	GEOLOGIA	1/3	1/5	1/3	1/3	1

FÓRMULA:  $DISTÂNCIA\ RIOS * 0,25 + DECLIVIDADE * 0,42 + SOLOS * 0,10 + VEGETAÇÃO * 0,16 + GEOLOGIA * 0,06$

Taxa de consistência: 0,09 (aceitável)

#### 4.2.3.1. Índices de vulnerabilidade física com lógica booleana

Fazem parte deste tipo de análise os índices Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA) e Vulnerabilidade Ambiental ao Aumento Relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) (Tabela 4.11). O índice Vulnerabilidade Natural (VN) foi proposto por Crepani *et al.* (2001) que aplicou o princípio da ecodinâmica de Tricart às variáveis físicas geologia, geomorfologia, solos, vegetação e intensidade pluviométrica. O índice Vulnerabilidade Ambiental (VA) foi adaptado do índice VN por Grigio *et al.* (2004) e se refere à vulnerabilidade natural frente ao uso e ocupação do solo, indicando a vulnerabilidade do meio ambiente natural às mudanças antrópicas. Estes dois índices têm sido empregados em estudos nacionais (GRIGIO *et al.*, 2004; BOORI; AMARO, 2010, 2011; BATISTA;

VERÍSSIMO, 2012; BASTOS *et al.*, 2015) e foram adaptados ao presente estudo pela adição da variável declividade e retirada da variável intensidade pluviométrica.

Neste estudo está sendo proposto um terceiro índice, o índice Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM). A VNMM agrega ao mapa de vulnerabilidade ambiental as variáveis distância da linha de costa e distância das margens dos rios e concerne sobre a vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do nível médio do mar.

Tabela 4.11: Variáveis físicas componentes dos índices de vulnerabilidade física com lógica booleana.

VULNERABILIDADE FÍSICA - LÓGICA BOOLEANA					
VN	Declividade	VA	Declividade	VNMM	Declividade
	Geomorfologia		Geomorfologia		Geomorfologia
	Solos		Solos		Solos
	Geologia		Geologia		Geologia
	Vegetação		Vegetação		Vegetação
	Vulnerabilidade intrínseca às unidades de paisagem		Uso do Solo		Uso do Solo
			Vulnerabilidade às modificações antrópicas		Distância à Linha de Costa
					Distância às Margens dos Rios
					Vulnerabilidade ao aumento relativo do Nível Médio do Mar

#### 4.2.3.2. Índices de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy*

Fazem parte deste tipo de análise os índices Vulnerabilidade ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade ambiental relativa ao Uso do solo (VU) e Vulnerabilidade ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) (Tabela 4.12). O índice vulnerabilidade ambiental relativa foi proposto por Tagliani (2003) e apresenta a maior ou menor vulnerabilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer segundo três critérios: fragilidade estrutural intrínseca, sensibilidade e grau de maturidade dos ecossistemas. A partir deste foram adaptados os índices VU, que relaciona a vulnerabilidade ambiental relativa às modificações antrópicas, e VR-NMM, que diz respeito à vulnerabilidade ambiental relativa frente ao aumento relativo do Nível Médio do Mar.

Para os mapas de Vulnerabilidade Ambiental Relativa, as variáveis foram padronizadas para uma escala contínua de 0 (menos vulnerável) a 255 (mais vulnerável) por meio de lógica *fuzzy* (EASTMAN, 2012), o que permitiu a comparação e combinação das variáveis sem definir de forma rígida, ou booleana, uma área como vulnerável ou não. Ao contrário, usou-se o conceito relativo ou *fuzzy* para definir as áreas mais vulneráveis. A

técnica *fuzzy* aplica a padronização de variáveis em uma escala de números bytes de 0 a 255 (EASTMAN, 2012), portanto, cada mapa gerado por lógica *fuzzy* foi reescalado para este escore.

Tabela 4.12: Variáveis físicas componentes dos índices de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy*.

VULNERABILIDADE FÍSICA - LÓGICA FUZZY					
VR	Distância dos rios	VU	Distância dos rios	VR-NMM	Distância dos rios
	Declividade		Declividade		Declividade
	Solos		Solos		Solos
	Vegetação		Vegetação		Vegetação
	Geologia		Geologia		Geologia
Vulnerabilidade intrínseca às unidades de paisagem		Uso do solo		Uso do solo	
		Vulnerabilidade às modificações antrópicas		Distância da linha de costa	
				Vulnerabilidade ao aumento relativo do Nível Médio do Mar	

Os índices Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA) e Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VAR) foram escolhidos por serem métodos clássicos de análise da vulnerabilidade física atual, referendados em literatura acadêmica e de fácil replicação (TAGLIANI, 2003; GRIGIO *et al.*, 2004; BOORI; AMARO, 2010, 2011; TAGLIANI *et al.*, 2010; BATISTA; VERÍSSIMO, 2012; BASTOS *et al.*, 2015). Enquanto que os índices Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM), Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Vulnerabilidade ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) foram propostos por retratarem a vulnerabilidade física a mudanças antrópicas e a cenários futuros de inundação e erosão costeira por aumento relativo do nível médio do mar.

#### 4.2.4. Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi aplicada nas variáveis físicas de cada índice, segundo as proporções das classes de vulnerabilidade (Tabela 4.9). Para tanto, as classes de cada variável foram convertidas em 5 classes de vulnerabilidade física, com escore de 1 a 3 para a lógica Booleana ou de 0 a 255 para a lógica *fuzzy* (muito baixa a muito alta vulnerabilidade), sendo as proporções calculadas e usadas na ACP. A Figura 4.3 mostra, como exemplo, a conversão das classes de geomorfologia em classes de vulnerabilidade física.

As variáveis de maior influência em cada CP foram as que apresentaram cargas maiores que |0,5|, valor a partir do qual a correlação linear varia de moderada a forte (Tabela 4.13; COLTON, 1974; LATTIN *et al.*, 2011).

Tabela 4.13: Relações de Correlação de Pearson, segundo Colton (1974).

RELAÇÃO	INEXISTENTE	FRACA	MODERADA	FORTE
CORRELAÇÃO	0 a  0,25	0,25  a  0,50	0,50  a  0,75	0,75  a  1,00

### 4.3. Vulnerabilidade Socioambiental

A análise de vulnerabilidade socioambiental compreende a análise conjunta de variáveis físicas e socioeconômicas. Tem sido aplicada em vários estudos e em diferentes escalas (SZLAFSZTEIN, 2005; BORUFF *et al.*, 2005; FREITAS; CUNHA, 2013; ZANELLA *et al.*, 2013; MACEDO *et al.*, 2015). Para efetuar esta análise, foram escolhidos dentre os mapas de vulnerabilidade socioeconômica apenas dois segundo os critérios maior adequabilidade, simplicidade de aplicação e resultados mais diferenciados entre si. Quanto aos mapas de vulnerabilidade física, foram escolhidos apenas os dois representativos dos cenários mais otimista e pessimista de cada município.

Primeiramente, os resultados dos índices socioeconômicos foram transformados em dados cartográficos tomando-se como base para representação da área cartografada a dimensão municipal. Então, os mapas de vulnerabilidade socioeconômica foram parametrizados por regra de três simples para o mesmo escore dos mapas de vulnerabilidade física, tanto os mapas de lógica booleana (escore 1 a 3) quanto os de lógica *fuzzy* (escore 0 a 255), de modo a permitir a integração com os mapas de vulnerabilidade física.

Posteriormente, procedeu-se a álgebra entre os mapas de Vulnerabilidade Física (VF) e os mapas de Vulnerabilidade Socioeconômica (VS) em ambiente SIG, resultando nos mapas dos Índices de Vulnerabilidade Socioambiental (VSA). A fórmula utilizada para a álgebra de mapas foi média aritmética (equação 1) para manter o escore original. E não foram usadas ponderações para que o grau de importância entre as variáveis socioeconômicas e ambientais fosse igualado. Esta formulação simples, sem aplicação de ponderação, isto é, de forma a não privilegiar nenhum dos termos, tem sido utilizada em cálculos de Vulnerabilidade Socioambiental (SZLAFSZTEIN, 2005; BORUFF *et al.*, 2005).

$$\boxed{VSA = \frac{VS + VF}{2}} \quad (1)$$

#### 4.4. Análise de Área Inundável

O mapeamento e diagnóstico da Área Inundável (AI) foi feito a partir dos dados do modelo digital de elevação TOPODATA (INPE, 2014). Estes dados são provenientes das imagens SRTM (USGS, 2014 b) e receberam processamento sucessivo para aprimoramentos e correções (INPE, 2014), tornando o tamanho do pixel de 30 m e deste modo permitindo que os dados resultantes estejam na resolução 1:100.000 (BOGGIONE *et al.*, 2009). Para Salinópolis, o resultado foi reclassificado para uma resolução de 1:250.000.

Tomando-se por base estudos que têm apresentado projeção para o aumento relativo do Nível Médio do Mar (NMM) na ordem de até 2 m/século (VELLINGA *et al.*, 2008; PFEFFER *et al.*, 2008; PARRIS *et al.*, 2012) e segundo os cenários climáticos apresentados pelo relatório número 5 do IPCC (IPCC, 2014), realizou-se o processamento dos dados topográficos em ambiente SIG de modo a se obter áreas sujeitas à inundação por aumento relativo de 1, 2 e 10 m do NMM, efetuando-se após o cálculo estatístico.

O último relatório do IPCC (2014) apresentou os cenários climáticos chamados de Caminhos Representativos de Concentração ou RCP (sigla em inglês). Cada RCP considera para a projeção de elevação relativa do NMM a evolução histórica de diversos fatores, como emissão de gases, concentração de gases do efeito estufa, entre outros. O cenário RCP 2,6 é o mais otimista, os cenários RCP 4,5 e RCP 6,0 são intermediários e o cenário RCP 8,5 é o mais pessimista dentre todos (Figura 2.4; Tabela 2.2).

Em todos estes cenários, a projeção de aumento relativo do NMM foi de no máximo 1 m para o ano 2100 e esta cota altimétrica foi usada para limitar a classe de muito alto risco socioambiental a cenários de inundação, referente à inundação permanente. A segunda classe de risco delimitada foi a de 1 a 2 m, uma vez que para um aumento relativo de 1 m do NMM terrenos com cotas superiores a 1 m terão inundações temporárias provocadas por flutuações sazonais de maré. Muitos estudos analisam vulnerabilidade e risco decorrentes de cenários de inundação em toda a zona costeira de baixa altitude, que é delimitada pela cota altimétrica de 10 m (DWARAKISH *et al.*, 2009, NICHOLLS *et al.*, 2007 e 2011, NICHOLLS; CAZENAVE, 2010, NICOLODI e PETERMMAN, 2010, BOORI *et al.*, 2012). Por este motivo foi considerada nesta pesquisa uma terceira classe de risco socioambiental a cenários de inundação, de 2 até 10 m de altitude, englobando na análise de risco toda a zona costeira de baixa altitude.

Embora dados de altimetria provenientes dos dados SRTM e TOPODATA tenham apresentado erro vertical entre 5m e 20m (OLIVEIRA, 2005; RODRIGUEZ *et al.*, 2006;

OLIVEIRA; PARADELLA, 2008), esta acurácia equivale ao Padrão de Exatidão Cartográfica classe A (PEC A) na escala 1:50.000 ou de menor detalhe, sendo, portanto, compatível à escala de trabalho utilizada em Macau e Guamaré (1:100.000) e Salinópolis (1:250.000) (MELGAÇO *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2005; GUIMARÃES *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010a; SOUZA, 2015). Mapeamento topográfico com dados SRTM se mostraram apropriados inclusive para áreas com baixa variação de altitude, como é o caso de grande parte da região Amazônica (SANTOS *et al.*, 2005).

Além disso, não há mapeamento topográfico de semidetalhe para todo o território brasileiro, portanto os dados SRTM e TOPODATA, disponibilizados gratuitamente, suprem esta necessidade na falta de informações de maior detalhe vertical (SANTOS *et al.* 2005; OLIVEIRA; PARADELLA, 2008; SOUZA, 2015; MELGAÇO *et al.*, 2005; DIAS *et al.*, 2011), justificando o seu uso, a despeito de sua acurácia vertical.

#### 4.5. Análise de Risco socioambiental a cenários de inundação

Para Varnes (1984), obra clássica de análise de risco geológico, o risco pode ser expresso pela seguinte equação (2):

$$Rt = (E) \times (Rs) \quad (2)$$

Onde  $Rt$  é o Risco total (número esperado de perdas de vidas, de pessoas afetadas, danos a propriedades, ou interrupção de atividades econômicas),  $E$  são os Elementos em Risco e  $Rs$  é o Risco Específico, sendo o  $Rs$  em razão da vulnerabilidade e do *hazard* ou perigo.

O conceito de risco foi esquematizado em uma equação por Wisner *et al.* (2003) de modo a ser composto pelos elementos *hazard* (H) e vulnerabilidade (V) (equação 3), sendo este conceito uma das referências do quinto relatório do IPCC (2014).

$$R = H \times V \quad (3)$$

Seguindo este mesmo raciocínio, CEPAL (2015) apresentou um guia metodológico de análise de risco em que o risco (R) é dependente da ocorrência de um agente em uma região vulnerável, sendo a equação simplificada (equação 4):

$$R = E_{(z)} \times V_{(z)} \quad (4)$$

Onde  $R$  é o Risco,  $E(z)$  é a exposição da área ao agente ou *hazard* ( $z$ ) e  $V(z)$  é a vulnerabilidade associada.

Tomando como base estas referências, o cálculo de risco foi adaptado das equações genéricas (2) a (4). O fato das equações serem de multiplicação permite restringir a análise apenas para a área em risco potencial, eliminando as áreas cujo risco seja nulo, definido no mapa cartográfico pelo valor zero. Porém, a fim de manter o escore dos mapas originais, nesta pesquisa o Risco socioambiental ( $R$ ) foi calculado a partir da média aritmética dos mapas Vulnerabilidade Socioambiental ( $VSA$ ) e Área Inundável ( $AI$ ), efetuando-se posteriormente uma máscara delimitada pela  $AI$  para se retirar quaisquer outras áreas sem risco de inundação. O cálculo foi obtido pela equação 5:

$$R = \frac{VSA + AI}{2} \quad (5)$$

Onde  $R$  é o Risco socioambiental a cenários de inundação (*hazard* é a inundação), ( $AI$ ) são todos os elementos antrópicas e naturais expostos na Área Inundável e  $VSA$  é a Vulnerabilidade Socioambiental da região. Apenas os resultados mais otimista e pessimista dos mapas de vulnerabilidade socioambiental de cada município foram usados para análise de risco.

#### 4.6. Análise de Criticidade de gestão ao risco de inundação

Este termo foi empregado por Tagliani (2002) na determinação das áreas prioritárias para gestão, definidas segundo diagnóstico e mapeamento normativo, integrado ao mapeamento de vulnerabilidade física, de modo que as áreas prioritárias à gestão são aquelas de alta vulnerabilidade protegidas por algum instrumento legal (restrição legal de uso), como as áreas de preservação permanente (BRASIL, 2012). Enquanto que as áreas menos críticas são aquelas de baixa vulnerabilidade e sem nenhuma restrição ao uso.

Esse conceito foi adaptado nesta pesquisa para criticidade de gestão ao risco de inundação, que trata da criticidade dos tipos de vegetação e das atividades antrópicas frente ao risco de inundação ao aumento relativo do NMM. As maiores criticidades se referem aos tipos de vegetação e uso do solo classificadas como mais vulneráveis e em maior risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do NMM. Para esta abordagem, apenas os mapas de risco socioambiental a cenários de inundação equivalentes aos resultados mais otimista e pessimista de cada município foram cruzados em ambiente SIG (módulo

*Overlay => intersect*) com o mapa de vegetação e uso atual do solo, sendo os dados da tabela de atributo analisados por estatística.

#### 4.7. Índice de Vulnerabilidade Costeira

O índice de vulnerabilidade costeira (IVC) é um índice que permite identificar as áreas potencialmente afetadas por danos relativos a mudanças climáticas, especificamente por um aumento relativo do NMM. Por este motivo, pode ser utilizada como uma ferramenta de planejamento para a gestão e proteção dos recursos costeiros, como a gestão costeira integrada dos municípios (USGS, 2016; WAG, 2010; UK-EA, 2016).

Dois índices foram testados, o mais conhecido, apresentado pelo USGS (THIELER; KLOSE, 1999; GORNITZ *et al.*, 1994; ABUODHA; WOODROFFE, 2007) e denominado nesta pesquisa como IVC-USG. Neste índice, as variáveis físicas geomorfologia, variação da linha de costa, declividade, em conjunto com as variáveis hidrodinâmicas altura significativa de ondas, amplitude de maré e aumento relativo do NMM são analisados para a faixa costeira por meio de *smartline*. A *smartline* é um método de mapeamento de dados costeiros em que múltiplos atributos são atribuídos em polígonos lineares em um sistema SIG para proceder à álgebra de mapas, e os resultados são apresentados em forma de linha (SHARPLES *et al.*, 2009; MARTINS, 2015) (Tabela 4.14).

O segundo índice, nomeado simplesmente IVC, foi adaptado de Özyurt (2007) e Martins (2015) para agregar na análise original do IVC-USGS as variáveis infraestrutura urbana costeira (obras de engenharia costeira, calçamento, entre outros), atividade ou uso atual da linha de costa e prognóstico da variação da linha de costa (Tabela 4.14). Em ambos os índices de vulnerabilidade costeira o escore de vulnerabilidade variou entre 1 (- vulnerável) a 5 (+ vulnerável) (Tabela 4.15). As classes de vulnerabilidade destas variáveis foram baseadas em Özyurt e Ergin (2009, 2010).

As classes de vulnerabilidade quanto à geomorfologia foram baseadas nos trabalhos de Crepani *et al.* (2001), Grigio (2003, 2008) e Boori e Amaro (2010). As classes de declividade respeitaram os critérios apresentados por Özyurt e Ergin (2009, 2010) e a definição de áreas de preservação permanente (BRASIL, 2012). Quanto à variação e ao prognóstico da variação da linha de costa, foram separadas cinco classes de mesmo intervalo a partir da amplitude dos resultados de variação. As classes de altura significativa foram embasadas em Thieler e Hammar-Klose (1999), enquanto as classes de amplitude de maré corresponderam aos limites propostos por Gornitz *et al.* (1991) (Tabela 4.15).

Tabela 4.14: Variáveis físicas, hidrodinâmicas e antrópicas componentes dos Índices de Vulnerabilidade Costeira.

Nº	VARIÁVEIS	IVC USGS			IVC		
		A	B	C	D	E	F
1	GEOMORFOLOGIA	X	X	X	X	X	X
2	VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA	X	X	X	X	X	X
3	DECLIVIDADE	X	X	X	X	X	X
4	ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDAS	X	X	X	X	X	X
5	AMPLITUDE DE MARÉ	X	X	X	X	X	X
6	CENÁRIO RCP 2,6	X			X		
	CENÁRIO RCP 4,5		X			X	
	CENÁRIO RCP 8,5			X			X
7	PROGNÓSTICO DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA				X	X	X
8	INFRAESTRUTURA URBANA (ENGENHARIA COSTEIRA, CALÇAMENTO, ...)				X	X	X
9	TIPO DE USO/ATIVIDADE				X	X	X

Tabela 4.15: Classes de vulnerabilidade para os índices IVC-USGS e IVC para Macau e Guamaré (RN) e Salinópolis (PA).

Classe	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Geomorfologia RN	Dunas Fixas	Planície de Inundação Flúvio-Estuarina	Planície Flúvio-Marinha	Dunas Móveis	Praia
Geomorfologia PA	Acumulação flúvio-marinha	---	---	---	Dissecação Convexa
Uso/atividade RN	Praias, ilhas e barras arenosas	Povoado	Zona urbana	Instalação eólica	Indústria do petróleo
Uso/atividade PA	Vegetação	---	Solo exposto	---	Cidade e povoados
Amplitude de marés RN	---	---	2,9 m	---	---
Amplitude de marés PA	---	---	---	---	5,8 m
Altura significativa de ondas RN	---	0,74 m	---	---	---
Altura significativa de ondas PA	---	---	---	1,2 m	---
Variação do nível médio do mar	---	---	RPC 2,6	RPC 4,5	RPC 8,5
Infraestrutura urbana	Ausente	---	---	---	Lazer, calçamento, engenharia costeira
Taxa de variação da linha de costa	> +10 m/ano	+2 a +10 m/ano	-2 a +2 m/ano	-2 a -10 m/ano	< -10 m/ano

Declividade	< 1% e >45%	1 - 2 %	2 - 3,33%	3,33 - 5%	5 - 45%
Projeção da variação da linha de costa	> +10 m/ano	+2 a +10 m/ano	-2 a +2 m/ano	-2 a -10 m/ano	< -10 m/ano

As classes quanto à infraestrutura urbana foram definidas de acordo com a presença ou ausência, enquanto que as classes da variável atividade ou uso atual da linha de costa foram definidas considerando-se a presença ou ausência de atividades antrópicas, sendo a vulnerabilidade mínima na ausência de uso e a vulnerabilidade máxima quando presente a indústria petrolífera no litoral potiguar, uma vez que danos causados a esta indústria podem provocar grandes impactos ambientais por derrames de derivados de petróleo e gás (Tabela 4.15).

A amplitude média de maré foi adquirida a partir dos dados baixados do sítio da Diretoria de Hidrografia e Navegação para os anos de 2005 a 2015 (BNDO, 2014). A altura significativa média foi obtida em Matos *et al.* (2013) e Ranieiri e El-Robrini (2015). E a taxa de subida do NMM foi retirada do quinto relatório do IPCC (2013), baseado nos cenários Caminhos Representativos de Concentração ou RCP (sigla em inglês). Dos quatro cenários RCP, foram escolhidos apenas três, já que o RCP 6,0 apresenta projeções muito similares ao RCP 4,5, ficando este último como o cenário intermediário.

Existem várias fórmulas propostas para o Índice de Vulnerabilidade Costeira, sendo uma delas a soma dos produtos das variáveis, em que as variáveis podem receber pesos diferenciados (GORNITZ; WHITE, 1992). Neste estudo, a fim de manter o mesmo escore dos mapas das variáveis físicas e hidrodinâmicas (escore 1 a 5), a fórmula utilizada para os índices IVC-USGS e IVC foi média aritmética simples, sem ponderação para igualar a importância entre as variáveis utilizadas (Tabela 4.16).

Tabela 4.16: Fórmulas aplicadas para os índices de vulnerabilidade costeira.

ÍNDICE	FÓRMULA
IVC-USGS	(GEOMORFOLOGIA + VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA + DECLIVIDADE + ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDAS + AMPLITUDE DE MARÉ + CENÁRIOS DE AUMENTO RELATIVO DO NMM) / 6
IVC	(GEOMORFOLOGIA + VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA + DECLIVIDADE + ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDAS + AMPLITUDE DE MARÉ + CENÁRIOS DE AUMENTO RELATIVO DO NMM + PROGNÓSTICO DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA + INFRAESTRUTURA URBANA + TIPO DE USO/ATIVIDADE) / 9

#### 4.7.1. Variação da linha de costa

As linhas de costa foram digitalizadas em um ambiente de Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) a partir de imagens Landsat 5 (2005) e Landsat 8 (2015) (Tabela

4.17). Também foram digitalizadas as linhas de base para posterior geração dos transectos perpendiculares à costa no aplicativo DSAS (THIELER *et al.*, 2009), desenvolvido pelo *United States Geological Survey* (USGS, 2014a) para cálculos da evolução das linhas de costa e que estende as funcionalidades ao *software* ArcGIS. Os transectos foram espaçados a cada 100 metros e resultou na construção do mapa de variação e prognóstico da linha de costa na resolução mínima de 1:100.000 (BOGGIONE *et al.*, 2009).

Tabela 4.17: Características e datas de aquisição das imagens analisadas.

LOCAL	SITE	SATÉLITE	SENSOR	ÓRBITA/ PONTO	RESOLU ÇÃO	DATA	HORA	ALTURA MARÉ	LUA
MACAU E GUAMARÉ	USGS	L5	TM	215/064	30 m	13/07/2005	12:22:11	0,9 m	NOVA
	USGS	L8	OLI TIRS		30 m	10/08/2015	12:34:15	0,5 m	MINGUANTE
SALINÓPOLIS	INPE	L5	TM	223/060	30 m	21/07/2005	13:10:30	0,6 m	CHEIA
	USGS	L8	OLI TIRS		30 m	01/07/2015	13:22:21	0,5 m	CHEIA

Na análise da variação da linha de costa foi empregado o método *Net Shoreline Movement* (NSM) e para a taxa de variação o método *End Point Rate* (EPR). Para o cálculo do EPR os dias e meses foram convertidos a fim de manter a unidade temporal em anos. O cálculo do prognóstico da linha de costa foi por meio do método *Least Median of Squares* (LMS), que é um estimador de regressão mais robusto que o método dos mínimos quadrados e consiste em minimizar a soma dos quadrados dos resíduos utilizando as medianas (ROUSSEEUW, 1984; ALBUQUERQUE *et al.*, 2013). Este método minimiza a influência de um *outlier* anômalo na equação de regressão global (USGS, 2014a). Por fim, os resultados foram tabelados e analisados estatisticamente.

## Capítulo 5 - Resultados e Discussão

### 5.1. Diagnóstico Socioeconômico

Por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), verificou-se que diferiram as variáveis de maior carga, isto é, as variáveis mais importantes, tanto na primeira componente principal (CP1) quanto em todas as componentes principais nos diferentes grupos de municípios estudados (Tabela 5.1, Anexo). Na CP1 apenas a variável maiores de 18 anos sem fundamental completo e em ocupação informal foi considerada dentre as mais importantes em todos os grupos estudados, por estado e por zona costeira. Nas demais componentes principais nenhuma variável foi a de maior carga em todos os grupos de municípios (Tabela 5.1).

Por isso, não foi possível selecionar apenas pela ACP as variáveis de maior importância comuns a todos os grupos a fim de constar nas análises de vulnerabilidade socioeconômica, de modo que foram selecionadas 17 variáveis, 11 por meio da ACP e as demais através de consulta a profissionais de múltiplas áreas, mesmo que estas 6 não constassem dentre as variáveis socioeconômicas mais importantes pela ACP (Figura 4.2). Não terem sido encontradas variáveis comuns a todos os grupos de municípios é um resultado muito importante ao considerar que é um dos intuitos do MMA aplicar índices de vulnerabilidade socioeconômica com variáveis que se apliquem amplamente aos municípios brasileiros, como já vem sendo testado de forma inicial em municípios de seis estados (MMA, 2016).

Além disso, como a maior ou menor vulnerabilidade está relacionada com as variáveis usadas, então variáveis diferentes produzirão resultados que podem até ser discrepantes entre si. De modo que a verificação por meio de ACP de quais variáveis usar em índices de vulnerabilidade socioeconômica e do quanto tais variáveis estão influenciando nos resultados é fortemente recomendada. Por isso é tão necessário usar variáveis que sejam comuns a municípios brasileiros quanto variáveis que reflitam as características locais, de modo que índices nacionais podem ser complementados por índices estaduais e/ou regionais.

Tabela 5.1: Principais variáveis socioeconômicas segundo Análise de Componentes Principais (ACP) na primeira e em todas as componentes principais por estado e por zona costeira.

PRIMEIRA COMPONENTE PRINCIPAL				TODAS AS COMPONENTES PRINCIPAIS			
ESTADO		ZONA COSTEIRA		ESTADO		ZONA COSTEIRA	
MAIORES DE 18	TOTAL, PA, RN	DENSIDADE DEMOGRÁFICA	TOTAL, PA, RN	ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO	TOTAL, PA, RN	ÍNDICE DE GINI	TOTAL, PA, RN
VALOR SERVIÇOS	TOTAL, PA, RN	MAIORES DE 18	TOTAL, PA, RN	TAXA DE DESEMPREGO	TOTAL, PA, RN	RENDA PER CAPITA	TOTAL, PA, RN
Nº DOMICÍLIO PERMANENTE	TOTAL, PA, RN	VULNERÁVEIS À POBREZA	TOTAL, PA, RN	MAIORES DE 18	TOTAL, PA	MAIORES DE 18	TOTAL, PA
POPULAÇÃO TOTAL	TOTAL, PA, RN	EXTREMAMENTE POBRES	TOTAL, PA	ÍNDICE DE GINI	TOTAL, PA	RAZÃO URBANA/RURAL	TOTAL, PA
VULNERÁVEIS À POBREZA	TOTAL, PA	IDHM EDUCAÇÃO 2010	TOTAL, PA	RAZÃO URBANA/RURAL	TOTAL, PA	RAZÃO GÊNERO	TOTAL, RN
IDHM EDUCAÇÃO 2010	TOTAL, PA	Nº DOMICÍLIO PERMANENTE	TOTAL, RN	RENDA PER CAPITA	TOTAL, PA	VALOR AGROPECUÁRIA	TOTAL, RN
EXTREMAMENTE POBRES	TOTAL, PA	INDICADOR DE SAÚDE	TOTAL, RN	TAXA DE ANALFABETISMO	TOTAL, PA	TAXA DE DESEMPREGO	PA, RN
INDICADOR DE SAÚDE	TOTAL, PA	POPULAÇÃO TOTAL	TOTAL, RN	RAZÃO GÊNERO	TOTAL, RN		
DENSIDADE DEMOGRÁFICA	TOTAL, RN	VALOR SERVIÇOS	TOTAL, RN	VALOR AGROPECUÁRIA	TOTAL, RN		
TOTAL: 310 MUNICÍPIOS		TOTAL: 73 MUNICÍPIOS		TOTAL: 310 MUNICÍPIOS		TOTAL: 73 MUNICÍPIOS	
PA: 143 MUNICÍPIOS		PA: 40 MUNICÍPIOS		PA: 143 MUNICÍPIOS		PA: 40 MUNICÍPIOS	
RN: 167 MUNICÍPIOS		RN: 33 MUNICÍPIOS		RN: 167 MUNICÍPIOS		RN: 33 MUNICÍPIOS	

Em azul e em rosa estão as principais variáveis que se repetem na primeira e nas demais componentes principais, respectivamente, em todos os grupos de município estudados.

Tabela 5.2: Posição dos municípios baseada nos pesos da Análise de Componentes Principais.

TOTAL PA RN			PA			RN			ZONA COSTEIRA PA RN			ZONA COSTEIRA PA			ZONA COSTEIRA RN		
Nº	MUNICÍPIO	PESO	Nº	MUNICÍPIO	PESO	Nº	MUNICÍPIO	PESO	Nº	MUNICÍPIO	PESO	Nº	MUNICÍPIO	PESO	Nº	MUNICÍPIO	PESO
1º	BELÉM	23,33	1º	BELÉM	19,74	1º	NATAL	29,79	1º	BELÉM	13,29	1º	BELÉM	13,01	1º	NATAL	15,38
2º	NATAL	22,44	42º	SALINÓPOLIS	2,23	8º	MACAU	3,49	2º	NATAL	12,65	19º	SALINÓPOLIS	1,76	15º	MACAU	1,97
41º	MACAU	2,58				66º	GUAMARÉ	1,3	18º	MACAU	2,46				31º	GUAMARÉ	0,21
96º	SALINÓPOLIS	1,58							46º	SALINÓPOLIS	0,83						
143º	GUAMARÉ	1,07							56º	GUAMARÉ	0,51						
TOTAL: 310 MUNICÍPIOS			TOTAL: 143 MUNICÍPIOS			TOTAL: 167 MUNICÍPIOS			TOTAL: 73 MUNICÍPIOS			TOTAL: 40 MUNICÍPIOS			TOTAL: 33 MUNICÍPIOS		

Os pesos das variáveis resultantes da ACP foram utilizados no ordenamento da posição dos municípios, pois quanto maior o peso melhor a posição em relação às variáveis utilizadas (MINGOTI, 2013), neste caso melhor a posição do município frente aos demais quanto às variáveis socioeconômicas. No grupo formado por todos os municípios dos estados do PA e RN e no grupo formado pelos municípios costeiros destes estados, a capital Belém esteve em melhor posição e a Capital Natal apareceu na segunda melhor posição. Dentre os municípios estudados, se manteve a ordem Macau, Salinópolis e Guamaré nestes mesmos grupos (Tabela 5.2). Ou seja, Macau esteve em melhor posição socioeconômica dentre os três e Salinópolis apresentou melhor situação socioeconômica que Guamaré. E quando analisados apenas os municípios potiguares, Macau esteve sempre em melhor situação que Guamaré.

Quando comparados o grupo formado por todos os municípios de ambos os estados com o grupo formado apenas pelos municípios da zona costeira destes estados, Macau, Guamaré e Salinópolis decresceram de posição absoluta. Macau passou dos 15% para os 25% melhores resultados. Salinópolis passou dos cerca de 30% dos melhores resultados para 40% dos piores resultados encontrados. E Guamaré estava entre os 46% dos municípios com melhores resultados e passou para os 25% dos com piores resultados.

Quando considerados os municípios do estado do Pará e da sua zona costeira, Salinópolis subiu da 42<sup>o</sup> para a 19<sup>o</sup> posição, porém esta melhora foi relativa, uma vez que a 42<sup>o</sup> posição está dentre os 30% melhores de 143 municípios. Já a 19<sup>o</sup> posição está próximo à mediana dos 40 municípios costeiros. Para os municípios do estado do Rio Grande do Norte e da sua zona costeira, Macau passou da 8<sup>o</sup> para a 15<sup>o</sup> posição, ou seja, dos aproximadamente 5% melhores resultados do estado para resultados medianos dentre os municípios costeiros (~45%). Guamaré também decresceu de posição, pois a 66<sup>o</sup> posição está dentre os 40% melhores resultados do estado e a 31<sup>o</sup> posição se refere aos 7% dos piores resultados da zona costeira (Tabela 5.2).

O fato de decair a posição absoluta destes municípios, à exceção das capitais Belém e Natal, quando analisados os pesos apenas dos municípios costeiros é um forte indício de que na zona costeira tem mais municípios em melhor situação socioeconômica do que na zona interior e, portanto, a comparação foi entre municípios mais fortes economicamente, fazendo decair a posição de Macau, Guamaré e Salinópolis.

De fato, os municípios de maior PIB e IDHM do Pará e do Rio Grande do Norte estão em suas respectivas zonas costeiras. Os três municípios potiguares mais desenvolvidos são

costeiros, segundo o IDHM municipal. E dentre os municípios paraenses mais desenvolvidos segundo o IDHM, os principais são costeiros (PNUD, 2013). Além disso, os seis maiores PIB do Rio Grande do Norte são municípios costeiros, sendo pela ordem do maior para o menor PIB as cidades de Natal, Mossoró, Parnamirim, Guamaré e São Gonçalo do Amarantes. Enquanto que no Pará, quatro dentre os cinco maiores PIB são de municípios costeiros, sendo pela ordem Belém, Parauapebas, Ananindeua e Barcarena (IBGE, 2014).

A análise estatística das variáveis socioeconômicas permitiu analisar a importância das variáveis, isto é, quais tiveram maior ou menor influência nos resultados de vulnerabilidade socioeconômica. Bem como quais os municípios em maior e menor vulnerabilidade. Neste sentido, esta técnica se mostrou eficaz e é recomendada para replicação nos demais municípios brasileiros.

Na seleção de variáveis socioeconômicas para compor os índices de vulnerabilidade socioeconômica, foram mantidas as variáveis população total e densidade demográfica porque mesmo quando um município tem menor população, ele pode ser mais vulnerável por apresentar maior densidade demográfica, caso de Salinópolis no ano 1991 (Figura 5.1). Ao mesmo tempo, deve-se considerar que todos os habitantes de um município, de maior ou menor densidade demográfica que outros, sofrerão (em maior ou menor grau) as consequências de impactos ambientais, como observado no desastre ocorrido dia 05 de novembro de 2015 em Mariana, Minas Gerais.

A seguir, há um resumo socioeconômico dos municípios estudados para os últimos anos. De acordo com o censo demográfico 2010, a maior contribuição do PIB no município foi pelo setor de serviços (~84%), seguido do industrial (~11%), o que indica que a base econômica está no setor de serviços. Considerando a média do PIB total bruto, Salinópolis foi quase 3 vezes inferior ao valor médio estadual, de modo que não configura dentre os municípios de maior representatividade na economia do estado. Quanto ao número de pessoas ocupadas por setor de atividade econômica, a proporção foi maior no setor de serviços (78,3%), sendo o percentual de ocupados na indústria de 12,7%, aproximadamente. Portanto, o setor que mais emprega é o de serviços, seguido pelo setor industrial (Figura 5.1). Estas variáveis foram utilizadas para compor os índices de vulnerabilidade socioeconômica, conforme discorrido a seguir.

Em 1991, o município de Macau era o de maior população, porém Salinópolis apresentou maior crescimento populacional que Macau entre os anos 2000 e 2010 e está com

a maior população atualmente. Mesmo sendo Guimarães o município de menor população, esta praticamente dobrou nos últimos 20 anos. Em todos os censos demográficos, a população de Macau e Salinópolis foi urbana e a de Guimarães foi rural. Salinópolis tem população urbana 2,6 vezes superior que a de Macau, embora desde os anos 2000 tenha havido uma redução de quase 17% nesta população em Salinópolis (Figura 5.1). Segundo Cutter *et al.* (2003), população urbana é menos vulnerável que população rural por esta última apresentar renda menor e ser mais dependente de economia de extração de recursos, como agricultura e pesca.

Como Salinópolis é o município de menor área, sempre teve densidade muito superior aos demais, sendo no mínimo 4 vezes superior que Macau na década de 90 ao máximo de 5,3 vezes maior que Macau nos anos 2010 (Figura 5.1). Macau tem área cerca de 3 vezes maior que a de Guimarães e mais de 4 vezes superior a de Salinópolis e Guimarães tem uma área 35% maior que Salinópolis. Áreas com maior densidade populacional têm maior vulnerabilidade socioeconômica por complicar a evacuação da população frente a perigos (CUTTER *et al.*, 2003).

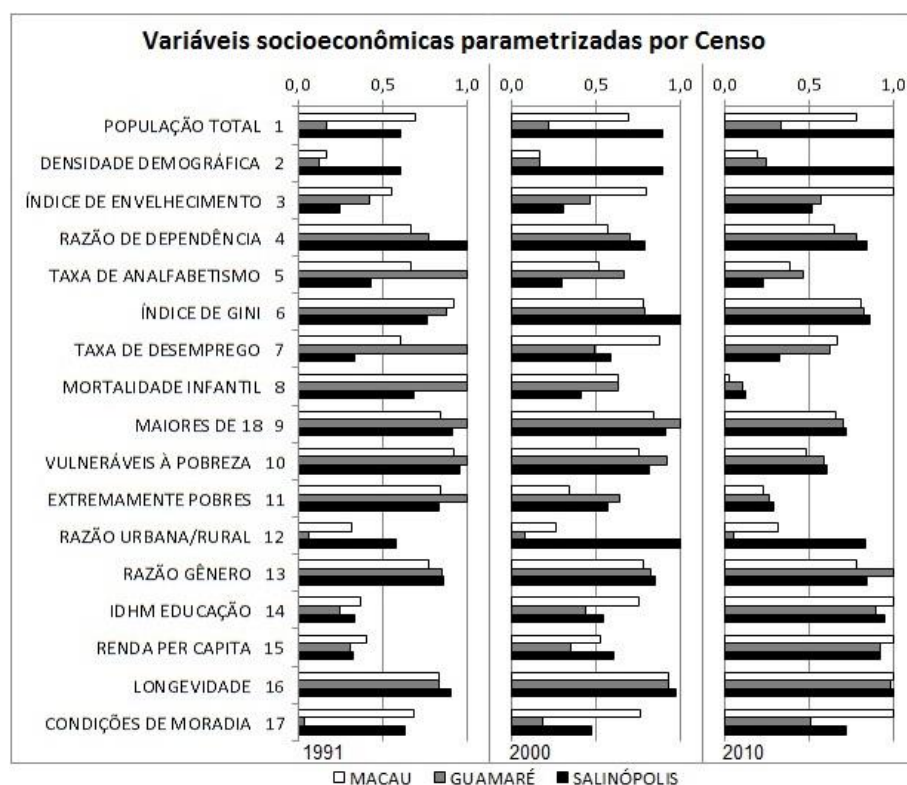


Figura 5.1: Variáveis socioeconômicas parametrizadas para os censos demográficos 1991, 2000 e 2010. Variáveis 1 a 11: quanto maior o valor, mais vulnerável. Variáveis 12 a 17: quanto maior o valor, menos vulnerável.

Macau apresentou o maior índice de envelhecimento em todo o período e este índice cresceu cerca de 15% desde a década de 90, o que significa que a população acima de 65 anos está aumentando mais rapidamente que nos demais municípios. A razão de dependência foi maior em Salinópolis, sendo que esta razão diminuiu cerca de 20% nos últimos anos, enquanto em Macau e Guimarães a razão de dependência reduziu menos de 3% no mesmo período. Guimarães foi o município com maior percentual de analfabetos, porém esta taxa diminuiu mais de 25% desde os anos 90. A variável IDHM educação foi melhor em Macau, seguido por Salinópolis, em todos os períodos, mas o maior crescimento desta variável ocorreu em Guimarães (37%) (Figura 5.1).

A *renda per capita* foi maior em Macau, porém o maior crescimento entre os censos 1991 e 2010 foi em Guimarães (~67%) e Salinópolis (~65%), por último em Macau (~60%). Salinópolis teve a pior distribuição de renda, sendo que o Índice de Gini foi maior nos anos 2000 e desde então a concentração de renda reduziu quase 15%. A maior taxa de desemprego ocorreu em Guimarães em 1991, porém desde os anos 2000 o município com mais desemprego foi Macau, seguido por Guimarães, sendo que em Macau houve uma pequena redução de cerca de 4% na taxa de desemprego desde os anos 2000 (Figura 5.1).

A variável expectativa de vida foi maior em Salinópolis em todos os períodos, variando de 65,4 à 72,9 anos. Porém o maior crescimento dessa variável foi em Macau (~16%) e em Guimarães (~14%). A variável mortalidade infantil reduziu muito de 1991 a 2010 nos três municípios, cerca de 60% em Macau e Guimarães e cerca de 40% em Salinópolis. No último censo demográfico a maior taxa de mortalidade infantil, de quase 8%, foi em Salinópolis. As condições de moradia melhoraram em todos os municípios ao longo dos últimos anos, sendo Macau o município com o maior número de casa com banheiro e água encanada, sendo que o maior aumento foi em Guimarães (~94%), seguido por Macau (~32%). Guimarães apresentou maior proporção de maiores de 18 anos sem fundamental completo e em ocupação informal, bem como de vulneráveis a pobreza e de extremamente pobres no censo 1991 e no censo 2000. No último censo, apesar da redução em todas estas variáveis, Salinópolis apresentou uma proporção ligeiramente maior que Guimarães (1,2%) e Macau (4,1%) nestas variáveis (Figura 5.1).

De acordo com o censo demográfico 2010, em Macau o valor adicionado ao PIB pelo setor industrial foi de quase 71%, seguido pelo setor de serviços (27%) e menos que 2% foram decorrentes do setor agropecuário. Em Guimarães, o setor que mais contribuiu com o

PIB foi o de serviços (~88%), seguido pelo setor industrial (~12%). A contribuição pelo setor agropecuário foi inferior a 1,5%. Enquanto que em Salinópolis, a maior contribuição do PIB foi pelo setor de serviços (~84%), depois o industrial (~11%) (Figura 5.2a). Essa é uma das principais diferenças entre os municípios estudados. Enquanto Macau tem sua base econômica no setor industrial, os demais têm sua base no setor de serviços (Figura 5.2b).

O valor do PIB adicionado pelo setor industrial em Macau foi quase 4 e quase 23 vezes superior a Guimarães e Salinópolis, respectivamente. Também no setor agropecuário Macau se destacou, sendo o valor adicionado bruto aproximadamente 5 e 1,4 vezes superior que em Guimarães e Salinópolis. No setor de serviços, o destaque foi Guimarães, que apresentou valores respectivos 5,5 e 6 vezes superior que em Macau e Salinópolis, representando este o maior valor bruto adicionado do PIB dentre todos os municípios e setores econômicos, superior a R\$ 1 milhão.

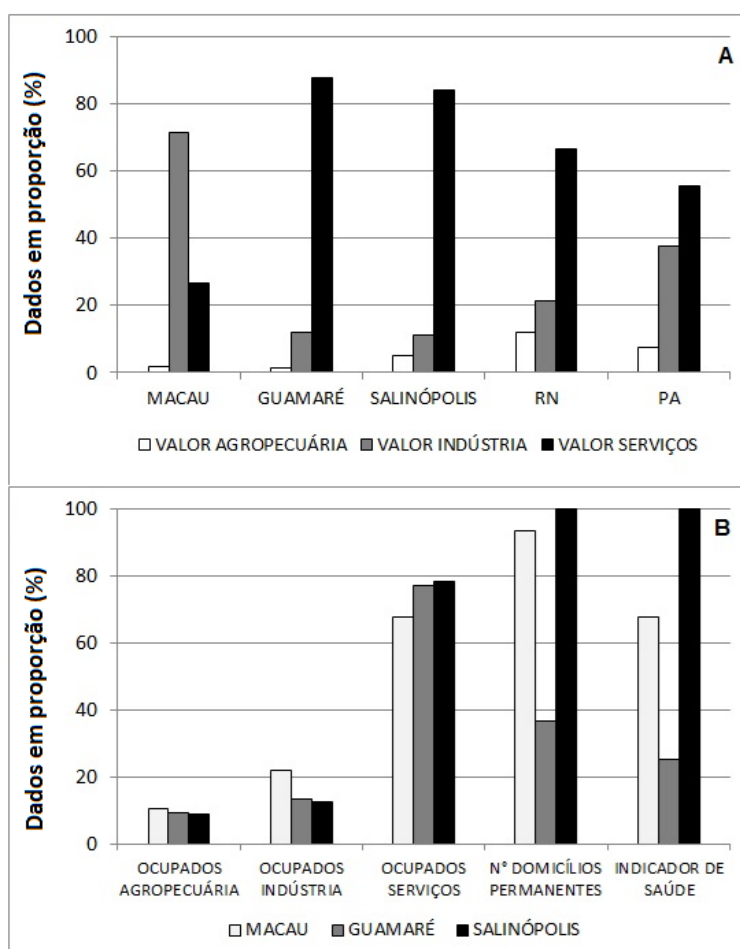


Figura 5.2: (a) Valor percentual do PIB por setor de atividade e (b) porcentagem de ocupados por setor de atividade, número de domicílios permanentes e indicador de saúde (censo 2010). A soma dos dados do PIB por setor de atividade, como também a soma de ocupados por setor de atividade, se complementam em 100%.

Considerando o valor adicionado bruto total do PIB, Guamaré apresentou quase o dobro do valor em Macau e seis vezes do encontrado em Salinópolis. Quanto à média do PIB Total bruto por estado, Macau e Guamaré apresentaram valores 3 e 5 vezes maior que o Rio Grande do Norte, respectivamente, e Salinópolis foi quase 3 vezes inferior à média do valor obtido no Pará (Figura 5.2a). Estes resultados evidenciam que crescimento econômico não necessariamente corrobora para desenvolvimento social, já que Guamaré apresentou maior PIB dentre os três e ainda assim apresentou piores resultados socioeconômicos.

Quanto ao número de pessoas ocupadas por setor de atividade econômica, em Macau o percentual foi quase 6,5 vezes maior no setor de serviços e cerca de 2 vezes maior no setor de indústria do que no setor agropecuária (Figura 5.2b). Em Guamaré, o maior percentual de ocupados foi no setor de serviços, seguido pelo setor de indústria e menos de 10% de ocupados foi no setor agropecuário. Em Salinópolis a proporção também foi maior no setor de serviços (78,3%), sendo o percentual de ocupados na indústria de 12,7%, aproximadamente (Figura 5.2b; Anexo). Portanto, em todos estes municípios o setor que mais empregou foram setor de serviços e setor industrial. Macau apresentou quase 63% e 73% a mais de ocupados no setor industrial e quase 13% e 16% a mais de ocupados no setor agropecuário que Guamaré e Salinópolis, respectivamente. Porém, no setor de serviços, tanto Guamaré quanto Salinópolis apresentaram cerca de 15% a mais de ocupados que Macau (Figura 5.2b; Anexo).

O número de municípios permanentes foi maior em Salinópolis, seguido de perto por Macau e com uma diferença de mais de 63% em relação à Guamaré. Já quanto ao indicador de saúde, em Salinópolis houve um número cerca de 30% e 75% maior que em Macau e Guamaré, respectivamente. Significando que a população de Salinópolis, mesmo sendo a menor, tem à disposição mais profissionais e estabelecimentos de saúde. Estas são variáveis estritamente relacionadas com a qualidade de vida de uma população e este resultado indica que maiores PIB e número de indústrias não necessariamente aumentam a qualidade de vida de uma população, como visto em Guamaré (Figura 5.2b).

O resultado do diagnóstico socioeconômico indica que altos valores econômicos não resultam necessariamente em altos valores sociais. Embora a renda per capita seja maior em Macau, o maior crescimento entre 1991 e 2010 não foi neste município (~60%), mas sim em Guamaré (~67%) e Salinópolis (~65%), municípios cuja base econômica está no setor de serviços (Figura 5.2a). As atividades econômicas em Guamaré foram responsáveis por um

valor adicionado bruto total do PIB quase 2 e 6 vezes superior ao apresentado em Macau e Salinópolis, respectivamente. Considerando o PIB total bruto, Macau e Guimarães apresentaram valores superiores à média potiguar, ao contrário de Salinópolis, que foi quase 3 vezes inferior ao valor médio paraense, de modo que não configura dentre os municípios de maior representatividade na economia do estado.

A despeito desta melhor situação econômica, desde os anos 2000 o município com maior desemprego é Macau, seguido por Guimarães. E Guimarães apresentou maior proporção de maiores de 18 anos sem fundamental completo e em ocupação informal, bem como de vulneráveis a pobreza e de extremamente pobres nos censos 1991 e 2000, embora de acordo com o último censo Salinópolis tenha apresentado uma proporção ligeiramente maior destas variáveis que Guimarães (1,2%) e Macau (4,1%). Salinópolis apresentou dentre todos os municípios estudados a maior longevidade, menor taxa de analfabetismo, melhor distribuição de renda, menor taxa de desemprego, maior número de municípios permanentes, maior número de profissionais e estabelecimentos de saúde, bem como *renda per capita* similar a Guimarães e condições de moradia superiores a Guimarães em todo o período. Ou seja, mesmo não tendo tanta representativa econômica quanto Macau e Guimarães, Salinópolis apresentou qualidade de vida igual ou superior a estes.

Quando comparados os resultados das variáveis entre os municípios em cada período, todas as correlações foram muito fortes e positivas ( $\geq 0,98$ ). Porém, as maiores correlações em todos os censos demográficos foram entre Macau e Salinópolis, mesmo sendo municípios de estados diferentes, com diferenças ambientais e econômicas e distando cerca de 1.300 km em linha reta. Algumas destas variáveis foram utilizadas para compor índices de vulnerabilidade socioeconômica, e foram percorridos a seguir.

## **5.2. Vulnerabilidade Socioeconômica**

Os escores dos índices de vulnerabilidade socioeconômica não foram os mesmos (Tabela 5.3), de modo que os resultados foram parametrizados para permitir comparações entre os índices e entre os municípios (Tabela 5.4) e para ajustes aos escores dos mapas com lógica booleana e com lógica *fuzzy* (Tabela 5.5). A seguir são apresentados os resultados de cada índice.

Tabela 5.3: Índices e variáveis de Vulnerabilidade Socioeconômica para os municípios de Guamaré/RN, Macau/RN e Salinópolis/PA.

Índice Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM)	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS	DESCRIÇÃO
1 IVSM Educação	0,34	0,50	0,46	Quanto maior mais vulnerável
2 IVSM Longevidade	0,67	0,23	0,20	
3 IVSM Renda	0,34	0,37	0,37	
FÓRMULA IVSM = 1 - IDHM TOTAL (ano base 2010)				
Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IVSF)	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS	DESCRIÇÃO
1 IVSF Educação	0,32	0,29	0,34	Quanto maior mais vulnerável
2 IVSF Saúde	0,31	0,19	0,63	
3 IVSF Emprego e Renda	0,55	0,30	0,51	
FÓRMULA IVSF = 1 - IFDM TOTAL (ano base 2011)				
Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira (IVSC)	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS	DESCRIÇÃO
1 Pobreza	7,58	8,72	9,80	Quanto maior mais vulnerável
2 Densidade populacional	36,6	47,8	194,2	
3 Crescimento Populacional	1,20	4,29	1,13	
4 Afrodescendentes e Indígenas	0,13	0,13	0,02	
5 Jovialidade	0,6	0,55	0,53	Quanto maior menos vulnerável
6 Razão urbana/rural	3,14	0,55	8,29	
7 Razão Gênero	0,96	1,24	1,04	
8 Emprego - Taxa de ocupados	0,58	0,61	0,69	
9 Renda	1,51	1,49	1,38	
FÓRMULA IVSC = Compensação: $\Sigma$ variáveis 1 a 4 - $\Sigma$ variáveis 5 a 9. Parametrização das variáveis.				
Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVS)	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS	DESCRIÇÃO
1 População Total	0,77	0,33	1,00	Quanto maior mais vulnerável
2 Densidade populacional	0,19	0,25	1,00	
3 Taxa de crescimento populacional	0,28	1,00	0,26	
4 Razão de dependência	0,77	0,93	1,00	
5 Extremamente pobres	0,77	0,89	1,00	
6 Índice de Gini	0,96	0,98	1,00	
7 Taxa de desocupação	1,00	0,91	0,48	
8 Condição de Moradia Inadequada	0,19	1,00	0,45	
9 Taxa de Jovialidade	1,00	0,83	0,80	Quanto maior menos vulnerável
10 Razão Gênero	0,77	1,00	0,84	
11 Taxa de atividade	0,84	0,88	1,00	
12 Razão urbana/rural	0,38	0,07	1,00	
13 Renda	1,00	0,99	0,91	
14 IDHM Total	1,00	0,94	0,97	
FÓRMULA IVS = Compensação: $\Sigma$ variáveis 1 a 8 - $\Sigma$ variáveis 9 a 14. Parametrização das variáveis.				

\* IDHM: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.

Tabela 5.4: Parametrização dos índices de Vulnerabilidade Socioeconômica.

PARAMETRIZAÇÃO				
DADO	ÍNDICE	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS
ORIGINAL	IVSM <sup>1</sup>	0,34	0,37	0,35
	IVSF <sup>2</sup>	0,39	0,26	0,49
	IVSC <sup>3</sup>	-1,76	-0,73	-2,18
	IVS <sup>4</sup>	-0,05	1,58	0,66
SOMA 10	IVSM	10,34	10,37	10,35
	IVSF	10,39	10,26	10,49
	IVSC	8,24	9,27	7,82
	IVS	9,95	11,58	10,66
MENOR VALOR - 5 e MAIOR VALOR + 5	IVSM	5,34	15,37	10,35
	IVSF	10,39	5,26	15,49
	IVSC	8,24	14,27	2,82
	IVS	4,95	16,58	10,66
DIVIDE PELO MAIOR	IVSM	0,35	1,00	0,67
	IVSF	0,67	0,34	1,00
	IVSC	0,58	1,00	0,20
	IVS	0,30	1,00	0,64

<sup>1</sup>Índice Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal

<sup>2</sup>Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal

<sup>3</sup>Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira e

<sup>4</sup>Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica

Tabela 5.5: Parametrização dos índices de vulnerabilidade socioeconômica para os escores de vulnerabilidade física.

PARAMETRIZAÇÃO				
DADO	ÍNDICE	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS
ORIGINAL	IVSM <sup>1</sup>	0,35	1,00	0,67
	IVSF <sup>2</sup>	0,67	0,34	1,00
ESCORE 1a3	IVSM	1,05	3,00	2,01
	IVSF	2,01	1,02	3,00
ESCORE 0 a 255	IVSM	89,25	255,00	170,85
	IVSF	170,85	86,7	255,00

<sup>1</sup>Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal

<sup>2</sup>Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseado no Índice Firjan

### 5.2.1. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM)

Segundo o IVSM de todas as décadas estudadas os municípios de Guamaré e Macau foram os de maior e menor vulnerabilidade socioeconômica, respectivamente (Figura 5.3). Porém, o município de Salinópolis foi menos que 3% mais vulnerável que Macau em 1991 e em 2010, chegando à diferença máxima de 8,3% nos anos 2000. Guamaré, por outro lado, apresentou vulnerabilidade quase 12% superior que Macau em 1991, cerca de 30% a mais nos anos 2000 e quase 9% maior em 2010. Ou seja, a diferença na vulnerabilidade socioeconômica entre os municípios está diminuindo desde os anos 2000 (Figura 5.4).

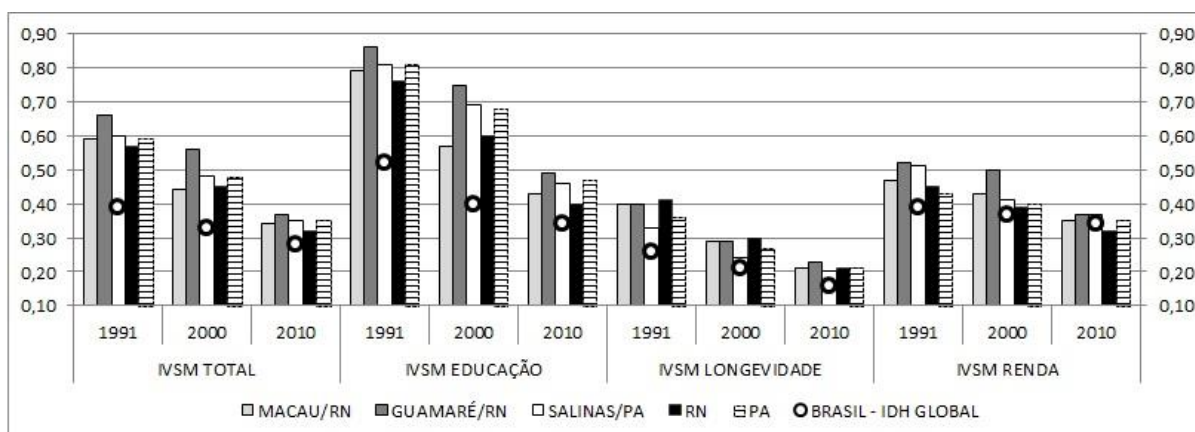


Figura 5.3: Variação decadal do IVSM para os municípios estudados, para os estados e para o Brasil.

Os três municípios saíram da classe muita alta vulnerabilidade socioeconômica em 1991 para a classe média vulnerabilidade socioeconômica em 2010 e os subíndices que mais influenciaram na classificação média do IVSM dos municípios em 2010 foram longevidade e educação. O subíndice renda já configurava na categoria média e, portanto, não corroborou nesta classificação. Até o censo 2000, o subíndice educação constava na classe muito alta vulnerabilidade em todos os três municípios e mesmo no censo 2010 constava na classe alta vulnerabilidade socioeconômica. De modo que maior investimento na educação é uma medida necessária para a redução da vulnerabilidade socioeconômica (CONFALONIERI, 2008).

Embora seja o município mais vulnerável, observou-se que entre os censos de 1991 a 2010 a maior redução da vulnerabilidade socioeconômica ocorreu em Guimarães no IVSM total (0,29) e em todos os subíndice, à exceção de longevidade. No índice total a redução da vulnerabilidade em Macau equiparou-se a Salinópolis (25%), porém a redução foi maior em Macau nos subíndices educação (36%) e longevidade (19%) e foi maior em Salinópolis no subíndice renda (14%) (Figura 5.4).

A vulnerabilidade socioeconômica em Macau foi maior que a média do Rio Grande do Norte nos anos 1991 e 2010 e foi menor que a média estadual nos anos 2000. Enquanto Guimarães teve maior vulnerabilidade socioeconômica que o estado em todos os censos e Salinópolis apresentou vulnerabilidade equiparada à média do estado do Pará em todos os períodos.

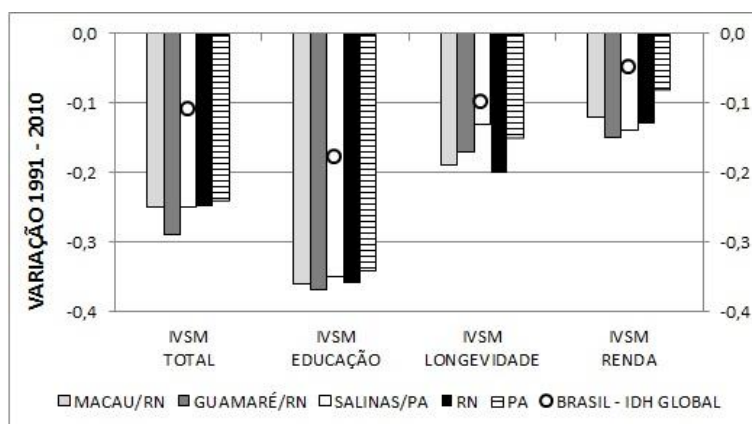


Figura 5.4: Variação do IVSM Total e subíndices entre os anos 1991 a 2010.

O IVSM dos três municípios foi maior que o índice brasileiro em todos os subíndices e em todo o período analisado, portanto são mais vulneráveis que a média dos municípios brasileiros. Porém, a redução acumulada da vulnerabilidade socioeconômica entre os anos de 1991 a 2010 nos três municípios foi superior à brasileira, tanto no índice total quanto para os subíndices. O subíndice educação foi o de maior redução na vulnerabilidade socioeconômica, sendo a redução nos três municípios praticamente o dobro da redução nacional, enquanto que a redução nos subíndices longevidade e renda foi de no máximo 15% à média brasileira (Figura 5.4).

Estes dados indicam que a redução da vulnerabilidade socioeconômica para os três municípios foi motivada pela melhoria na educação, ainda que nestes o subíndice educação esteja classificado como em alta vulnerabilidade nos anos 2010. Significa também que melhoria no setor econômico não necessariamente se reflete no âmbito social, corroborando com o diagnóstico socioeconômico (item 5.1). Tanto que os municípios de Macau e Guararé tiveram nas últimas décadas PIB maior que a média do estado e forte desenvolvimento econômico, motivado pelas indústrias do Petróleo e Gás, Salinicultura e Carcinicultura e pelo setor de serviços em Guararé, enquanto que em Salinópolis o PIB foi inferior à média do estado e a economia está substanciada no setor de comércio e turismo e mesmo assim teve um incremento de renda de 1991 a 2010 superior ao de Macau e similar ao de Guararé, conforme verificado na variável *renda per capita*, e Salinópolis apresentou redução da vulnerabilidade socioambiental similar que em Macau de 1991 a 2010.

### 5.2.2. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IVSF)

O Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IVSF) apontou resultados diversos do IVSM, sendo que neste índice o município mais vulnerável socialmente foi Salinópolis e o menos vulnerável foi Guimarães (Figura 5.5). No índice total nenhum município configurou na classe alta ou baixa vulnerabilidade, sendo que Salinópolis e Macau foram classificados como de vulnerabilidade socioeconômica moderada em todos os períodos, à exceção de 2011, em que a classificação de Macau melhorou de moderada para regular. Enquanto Guimarães foi classificado como de vulnerabilidade socioeconômica regular em todo o período (0,26 a 0,37).

Os subíndices que mais contribuíram para esta classificação em Macau e Guimarães foram emprego e renda e saúde, já em Salinópolis foram saúde e educação. Em 2011 as maiores diferenças municipais foram no subíndice saúde entre Macau e Salinópolis (0,32) e Guimarães e Salinópolis (0,44) e no subíndice emprego e renda entre Macau e Guimarães (0,25).

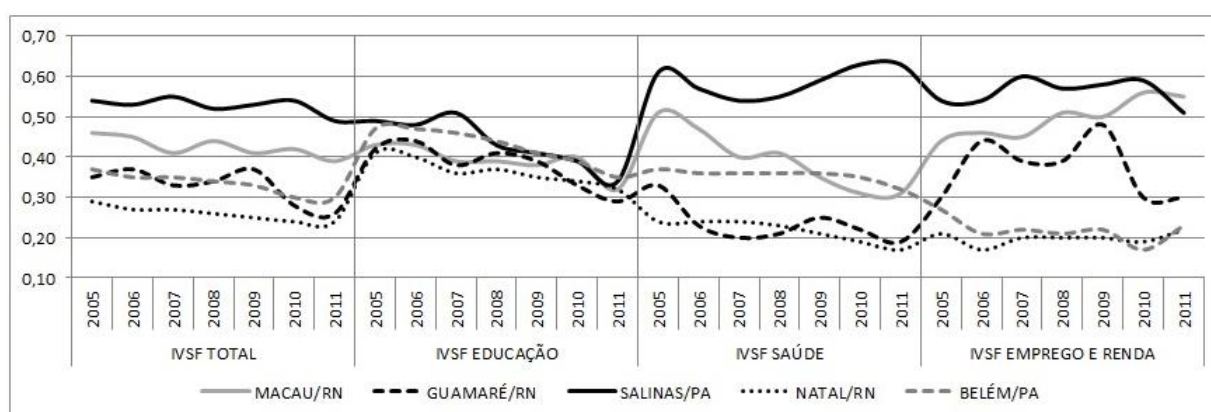


Figura 5.5: Variação anual do Índice e dos subíndices de Vulnerabilidade Socioeconômica baseado no Índice Firjan (IVSF) para os municípios estudados.

Tanto em 2005 quanto em 2011 a diferença entre os municípios no subíndice educação foi pequena ( $< |0,08|$ ). E em 2011 a diferença do subíndice emprego e renda entre Macau e Salinópolis foi 0,04. Isto indica que em Macau o setor de indústrias (Petróleo e Gás, Salinicultura e Carcinicultura) não está impulsionando a geração de emprego e renda de modo mais substancial que o setor de comércio e serviços em Salinópolis. Ou, quando gera, não se utiliza da mão de obra local. Este fato está de acordo com o resultado do diagnóstico

socioeconômico, que apontou Macau como o município com maior taxa de desemprego, seguido por Guararé.

Entre 2005 e 2011, houve uma redução da vulnerabilidade socioeconômica nos três municípios, sendo maior em Guararé (~26%), seguido por Macau (~15%) e Salinópolis (~10%) (Figura 5.6). Esta redução foi provocada por melhorias principalmente na saúde em Macau e Guararé e na educação em Salinópolis. Houve um aumento da vulnerabilidade socioeconômica de Salinópolis no subíndice saúde e no subíndice emprego e renda em Macau. Não houve redução da vulnerabilidade socioeconômica no subíndice emprego e renda em Guararé no período acumulado. Isto indica que as indústrias instaladas na região de Macau e Guararé não estão contribuindo para o aumento do número de emprego e em consequência no aumento da renda da população local. De fato, o número de empregos gerados é maior em Salinópolis, que está substanciado no setor de comércio e serviços, do que em Guararé e Macau (Figura 5.2).

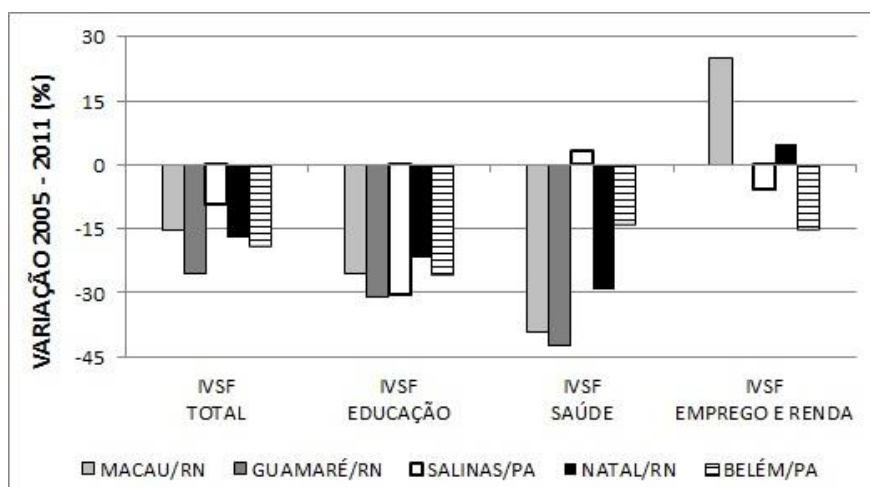


Figura 5.6: Variação do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseado no Índice Firjan - índice total e subíndices entre os anos 2005 a 2011.

Os municípios apresentaram vulnerabilidade socioeconômica maior que a média dos respectivos estados em todo o período. Com exceção entre os anos de 2006 a 2008 em Guararé no subíndice saúde e em 2011 no subíndice educação, em que apresentou vulnerabilidade socioeconômica inferior ao estado. Em 2011 em Salinópolis o subíndice educação também foi inferior à média estadual. Outros estudos de vulnerabilidade socioeconômica também estão utilizando em sua formulação o Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM), como Quintão e Confalonieri (2014), que estão

construindo a componente socioeconômica do Índice Agregado de Vulnerabilidade Municipal (IVM) de municípios mineiros baseados no IFDM.

### 5.2.3. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira (IVSC)

Na análise do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira (IVSC) (Figura 5.7), Macau e Guamaré foram classificados como municípios na classe alta vulnerabilidade, enquanto Salinópolis foi classificado na classe média vulnerabilidade. Guamaré configurou como o mais vulnerável e o menos vulnerável passou a ser Salinópolis. Isto se deve por ser este o município com menor número de afrodescendentes e indígenas, menor crescimento populacional, maior população urbana, menor proporção do gênero feminino e, conforme dispõem Cutter *et al.* (2003, 2009), UNB (2013) e PNA (2015), estas são parcelas da população dentre as mais vulneráveis por não terem acesso a oportunidades socioeconômicas da mesma maneira que as demais.

Por exemplo, mulheres são consideradas mais vulneráveis socialmente em função da natureza de algumas de suas tarefas, bem como pela jornada múltipla de trabalho, e afrodescendentes estão especialmente inseridos em um contexto de desigualdades estruturantes (BRASIL, 2015).

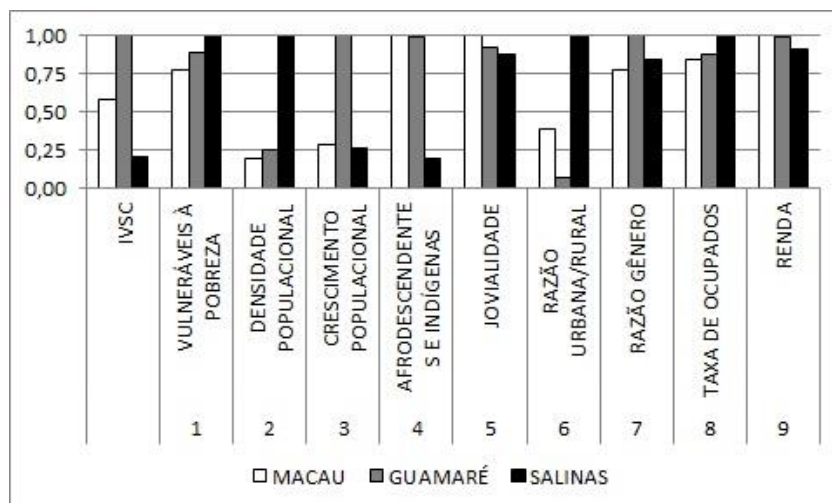


Figura 5.7: Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Costeira e variáveis integrantes.

### 5.2.4. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVS)

Neste índice o município mais vulnerável continuou sendo Guamaré e o menos, Macau (Figura 5.8), sendo Guamaré e Salinópolis classificados como de alta vulnerabilidade

e Macau como de média vulnerabilidade. Os motivos que corroboraram para a alta vulnerabilidade em Guamaré foram piores condições de moradia, maior número de pessoas dependentes, maior população rural e maior taxa de crescimento populacional.

Em Salinópolis a alta vulnerabilidade socioeconômica foi devido a ter uma população menos jovem, maior e mais pobre, com maior densidade demográfica e menor renda. E a classificação de Macau como menos vulnerável se deve, principalmente, por melhores condições de moradia, pela jovialidade da população e pela melhor renda, embora tenha a pior taxa de desocupação (Figura 5.8). Estas variáveis estão dentre os fatores estruturais que determinam a vulnerabilidade do país e da população aos efeitos das mudanças climáticas globais na saúde (CONFALONIEIRI, 2008).

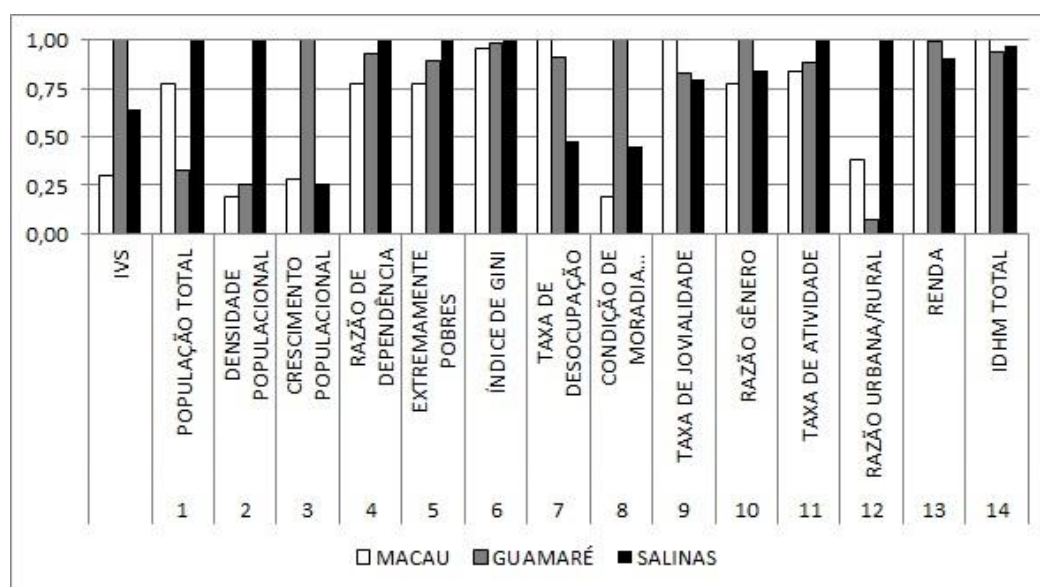


Figura 5.8: Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e variáveis integrantes.

### 5.2.5. Comparação entre os Índices de Vulnerabilidade Socioeconômica

O município de Guamaré foi o de maior vulnerabilidade socioeconômica em todos os índices, exceto no IVSF, em que Salinópolis configurou como o mais vulnerável (Figura 5.9). Os índices que apresentaram maior correlação direta foram IVSM e IVS (1,0) e os com maior correlação inversa foram os índices IVSF e IVSC (-1,0), isto é, apresentaram resultados opostos (Figura 5.10). Os demais índices apresentaram de baixa a moderada correlação entre os resultados ( $<|0,5|$ ).

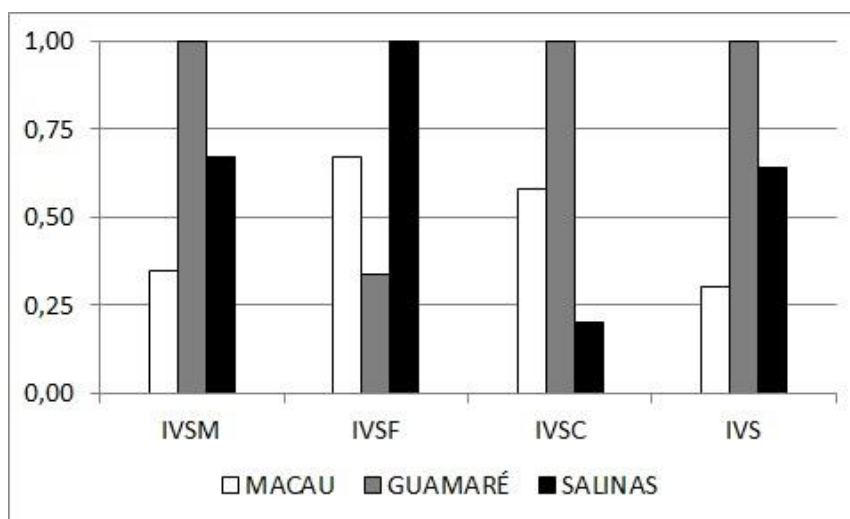


Figura 5.9: Comparação entre os índices de vulnerabilidade socioeconômica.

O IVSF foi o que se diferenciou mais, apresentando correlação negativa com todos os demais índices (Figura 5.10). Tanto que foi o único que apresentou Salinópolis como o município de maior vulnerabilidade socioeconômica. Apesar de baseados no mesmo Índice de Desenvolvimento Global (IDG), os índices IVSM e IVSF mostraram resultados totalmente diversos. Mesmo considerando que o índice IVSM representa informações decadais e o IVSF apresenta informações anuais e isso deve ter influenciado nos resultados tão diferenciados, o fato deste índice apresentar associação negativa com todos os demais pode significar inadequação para o uso do IVSF em estudos de vulnerabilidade socioeconômica, fato que deve ser analisado em estudos posteriores.

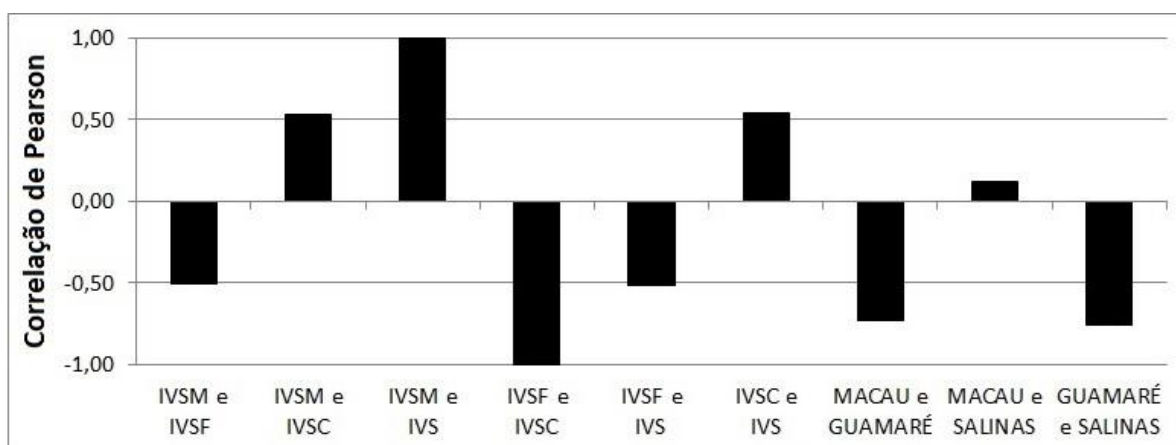


Figura 5.10: Correlação de Pearson entre os índices de vulnerabilidade socioeconômica e entre os municípios estudados.

Apesar de serem municípios adjacentes e pertencentes ao mesmo estado, os resultados da vulnerabilidade socioeconômica entre Macau e Guamaré foram díspares, com alta correlação negativa (-0,73; Figura 5.10). A correlação entre Guamaré e Salinópolis também foi muito negativa (-0,76) e entre Macau e Salinópolis foi muito baixa (0,12). Essa forte correlação negativa de Guamaré com os demais municípios corrobora sua classificação como o município de maior vulnerabilidade socioeconômica em três dos quatro índices estudados.

Os índices IVSC e IVS foram os de aplicação pouco mais complexa que os demais por necessitarem de busca, análise e seleção das variáveis por ACP, ações que demandam maior tempo e conhecimento técnico, apesar de que todas as variáveis estão disponíveis em bancos de dados *online*. Pelo princípio da parcimônia, em que prima pela simplicidade tanto quanto possível, a forte correlação positiva entre os resultados dos índices IVSM e IVS permite a escolha do primeiro, com menos variáveis e maior simplicidade de cálculo, quando da necessidade de reconhecimento urgente da vulnerabilidade socioeconômica de municípios afetados por desastres naturais ou antrópicos, por exemplo. Portanto, este é o índice de vulnerabilidade socioeconômica mais recomendado para futuras replicações. Porém, os índices IVSC e IVS podem ser aplicados em escala municipal e intramunicipal, de acordo com setores censitários, diferentemente dos índices IVSM e IVSF, com abordagem municipal.

Nos índices IVSM e IVSF foram disponibilizados os três subíndices que os formam, para subsidiar a análise do índice total. Nos índices IVSC e IVS a análise das variáveis permitiu discernir sobre o que tem influenciado mais na vulnerabilidade socioeconômica de um município e desta forma pode subsidiar a aplicação de verbas por gestores públicos. Todos os índices podem ser replicáveis para os demais municípios brasileiros, uma vez que as variáveis escolhidas são representativas e o número máximo destas foi de 14 no índice IVS. Essa simplificação de metodologia, através da redução do número de variáveis, foi um dos objetivos desta pesquisa e é importante para permitir a facilidade operacional e, portanto, a replicação dos índices (BARATA; CONFALONIERI, 2011), principalmente por gestores e tomadores de decisão com variados graus de conhecimento técnico.

Dentre os efeitos antrópicos mais significativos na zona costeira estão aqueles associados a atividades petrolífera, aquicultura (carcinicultura), turismo e ocupação por segunda residência, dentre outras, que, associadas ao crescimento populacional, ocasionam mudanças ambientais significativas (BRASIL, 2008). Embora Macau e Guamaré tenham recebido da indústria do petróleo e gás grandes investimentos desde a década de 90 e

Guamaré tenha um PIB bruto total cerca de 5 vezes superior aos demais municípios (IDEMA, 2008a e 2008b; Figura 5.2a), não foi perceptível nos dados socioeconômicos os efeitos deste investimento, uma vez que Salinópolis, cuja estrutura econômica esta baseada no comércio e serviços, apresentou IVSM similar a Macau e Guamaré em todos os sub índices, inclusive no de renda. Isso demonstra que o aporte econômico não causa necessariamente melhoria no desenvolvimento social de um município.

Desde 2013, a União, os estados, o Distrito Federal e os municípios devem aplicar 75% dos *royalties* e participação especial na área de educação e 25% na área de saúde (BRASIL, 2013). Portanto, melhorias sociais nestes subíndices devem ocorrer nos próximos anos como compensação financeira pela exploração de petróleo e gás natural nestes locais. A replicação destes índices de vulnerabilidade socioeconômica com dados do próximo censo demográfico (ano 2020) permitirá acompanhar esta evolução.

Salinópolis passará a ter nos próximos anos a influência socioambiental da atuação da indústria do Petróleo, uma vez que empresas já foram licitadas para exploração e produção de Petróleo e Gás Natural em parte da bacia Pará-Maranhão (DOU, 2013). De modo que os dados deste estudo servirão de base para acompanhamento da evolução da vulnerabilidade socioeconômica deste município antes e depois da instalação desta indústria, servindo como *background* para comparações futuras.

Para Cutter *et al.* (2003), o crescimento da população pode não ser acompanhado pelo crescimento habitacional, bem como dos serviços sociais, como escolas e hospitais, o que pode aumentar a vulnerabilidade socioeconômica destes habitantes. Segundo estes autores, quanto maior o número de mulheres, crianças e idosos, mais vulnerável é a região, uma vez que mulheres têm menos oportunidades de emprego, salários mais baixos e mais responsabilidades familiares, enquanto que crianças e idosos tem mais dificuldades de mobilidade e dispendem mais tempo e dinheiro em seus cuidados, além da menor resiliência no enfrentamento de impactos.

Estudos sobre variáveis e índices de vulnerabilidade socioeconômica, como os desta pesquisa, são muito importantes porque ações de prevenção só podem ser efetuadas com o entendimento das variáveis de vulnerabilidade socioeconômica que afetam essas populações em seus contextos geográficos específicos. Ainda mais ao considerar que dentre os impactos do clima na saúde coletiva mais comuns no Brasil estão fortes tempestades e inundações em zonas urbanas (CONFALONIERI, 2003; BRASIL, 2013).

A utilização de um índice de vulnerabilidade socioeconômica é importante primeiro porque fornece uma ferramenta útil para comparar a variabilidade socioeconômica espacial utilizando um único valor derivado de dados multivariados. Segundo porque pode ser conjugada com dados de vulnerabilidade física e formar um índice de vulnerabilidade global específico a uma região, que podem fornecer informações comparativas importantes para tomadores de decisão e gestores de emergência (BORUFF *et al.*, 2005). E o reconhecimento das vulnerabilidades socioeconômicas municipais, como as apresentadas nesta pesquisa, está em concordância com os princípios da precaução e da prevenção, listados dentre algumas das ações da Política Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2009).

### **5.3. Vulnerabilidade Física**

#### **5.3.1. Processo Analítico de Hierarquia das variáveis físicas**

Na escala de ponderação de Saaty, os maiores valores numéricos foram dados às variáveis declividade e geomorfologia, pois denotam a maior ou menor susceptibilidade à inundação e deslizamentos. A variável vegetação recebeu um valor intermediário, pois uma região vegetada tem menor susceptibilidade à erosão do solo. A variável geologia recebeu os menores valores em virtude das baixas alterações desta variável na escala de tempo geológico. A variável uso do solo teve valor intermediário porque mudanças nesta variável refletem mais rapidamente na vulnerabilidade física de uma região. As variáveis distância da linha de costa e distância das margens dos rios receberam valores altos por indicarem áreas susceptíveis à erosão e inundação (Tabela 5.6, Figura 5.11).

Os resultados do PAH nos índices VN e VA mostraram que as variáveis declividade e geomorfologia tiveram os maiores pesos, o somatório das duas significando 67% e 57% do peso total nesses índices, respectivamente. As variáveis de maior peso no índice VNMM foram declividade, distância da linha de costa, distância das margens dos rios e geomorfologia, equivalentes a 76% do peso total. As variáveis declividade e distância das margens dos rios representaram 67% e 59% do peso total respectivo nos índices VR e VU e foram as variáveis de maior peso destes índices. No índice VR-NMM a variável distância da linha de costa significou 34% do peso total, diminuindo para 20% a importância de cada uma das variáveis declividade e distância das margens dos rios, perfazendo estas três variáveis 74% do peso total neste índice (Tabela 5.6, Figura 5.11).

Tabela 5.6: Ponderações resultantes do Processo de Analítico de Hierarquia das variáveis físicas por índice de vulnerabilidade física.

LÓGICA BOOLEANA	PESOS	VULNERABILIDADE NATURAL	PESOS	VULNERABILIDADE AMBIENTAL	PESOS	VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO AUMENTO RELATIVO DO NMM
	0,42	DECLIVIDADE	0,36	DECLIVIDADE	0,26	DECLIVIDADE
	0,25	GEOMORFOLOGIA	0,21	GEOMORFOLOGIA	0,12	GEOMORFOLOGIA
	0,06	GEOLOGIA	0,05	GEOLOGIA	0,03	GEOLOGIA
	0,16	VEGETAÇÃO	0,17	VEGETAÇÃO	0,09	VEGETAÇÃO
	0,1	SOLOS	0,09	SOLOS	0,05	SOLOS
	-	-	0,11	USO DO SOLO	0,06	USO DO SOLO
	-	-	-	-	0,2	DISTÂNCIA DA LC
-	-	-	-	0,18	DISTÂNCIA DOS RIOS	
FÓRMULA = DECLIVIDADE * 0,42 + GEOMORFOLOGIA * 0,25 + GEOLOGIA * 0,06 + VEGETAÇÃO * 0,16 + SOLOS * 0,10		FÓRMULA = DECLIVIDADE * 0,36 + GEOMORFOLOGIA * 0,21 + GEOLOGIA * 0,05 + VEGETAÇÃO * 0,17 + SOLOS * 0,09 + USO DO SOLO * 0,11		FÓRMULA = DECLIVIDADE * 0,26 + GEOMORFOLOGIA * 0,12 + GEOLOGIA * 0,03 + VEGETAÇÃO * 0,09 + SOLOS * 0,05 + USO DO SOLO * 0,06 + DISTÂNCIA DA LC * 0,20 + DISTÂNCIA DOS RIOS * 0,18		
LÓGICA FUZZY	PESOS	VULNERABILIDADE AMBIENTAL RELATIVA	PESOS	VULNERABILIDADE AMBIENTAL RELATIVA A MUDANÇAS ANTRÓPICAS	PESOS	VULNERABILIDADE AMBIENTAL RELATIVA AO AUMENTO RELATIVO DO NMM
	0,25	DISTÂNCIA DOS RIOS	0,23	DISTÂNCIA DOS RIOS	0,2	DISTÂNCIA DOS RIOS
	0,42	DECLIVIDADE	0,39	DECLIVIDADE	0,2	DECLIVIDADE
	0,1	SOLOS	0,09	SOLOS	0,06	SOLOS
	0,16	VEGETAÇÃO	0,16	VEGETAÇÃO	0,1	VEGETAÇÃO
	0,06	GEOLOGIA	0,05	GEOLOGIA	0,04	GEOLOGIA
	-	-	0,08	USO DO SOLO	0,34	DISTÂNCIA DA LC
	-	-	-	-	0,06	USO DO SOLO
FÓRMULA = DISTÂNCIA DOS RIOS * 0,25 + DECLIVIDADE * 0,42 + SOLOS * 0,10 + VEGETAÇÃO * 0,16 + GEOLOGIA * 0,06		FÓRMULA = DISTÂNCIA DOS RIOS * 0,23 + DECLIVIDADE * 0,39 + SOLOS * 0,09 + VEGETAÇÃO * 0,16 + GEOLOGIA * 0,05 + USO DO SOLO * 0,08		FÓRMULA = DISTÂNCIA DOS RIOS * 0,20 + DECLIVIDADE * 0,20 + SOLOS * 0,06 + VEGETAÇÃO * 0,10 + GEOLOGIA * 0,04 + DISTÂNCIA DA LC * 0,34 + USO DO SOLO * 0,06		

Estes pesos resultantes do PAH entraram na formulação da álgebra de mapas de cada índice de vulnerabilidade física e, portanto, cada variável apresentou maior ou menor influência nos os resultados finais dos índices (Tabela 5.6). Embora embasado em valores atribuídos por gestores públicos, portanto, valores subjetivos, o uso do PAH permitiu diminuir a subjetividade na determinação da importância das variáveis por incorporar ao processo de ponderação a coerência ou consistência da hierarquia entre as variáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2009), portanto, se mostrou uma ferramenta apropriada para suporte à tomada de decisão em estudos de vulnerabilidade física.

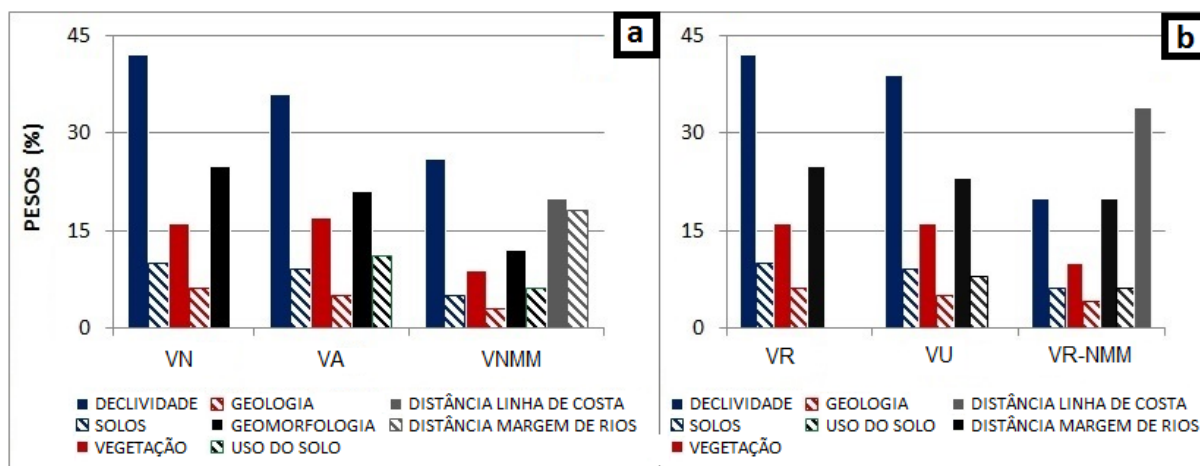


Figura 5.11: Ponderação das variáveis segundo Processo Analítico de Hierarquia para análises de vulnerabilidade com (a) lógica booleana e (b) lógica *fuzzy*.

### 5.3.2. Classes de vulnerabilidade por variável física - Macau e Guamaré/RN

As variáveis geologia e solos apresentaram maior proporção da classe alta vulnerabilidade e as variáveis distância da linha de costa, uso do solo e geomorfologia se destacaram como aquelas com maior proporção da classe muito baixa vulnerabilidade (Figura 5.12). A variável declividade foi a de maior peso segundo o PAH e a maior parte das áreas dos municípios apresentou classes de vulnerabilidade média por estarem localizados em zona costeira plana de baixas altitudes. No entanto, em Guamaré as classes de vulnerabilidade média, alta e muito alta quanto à variável declividade foram maiores, tornando esse município o mais vulnerável nesta variável (Figura 5.12c).

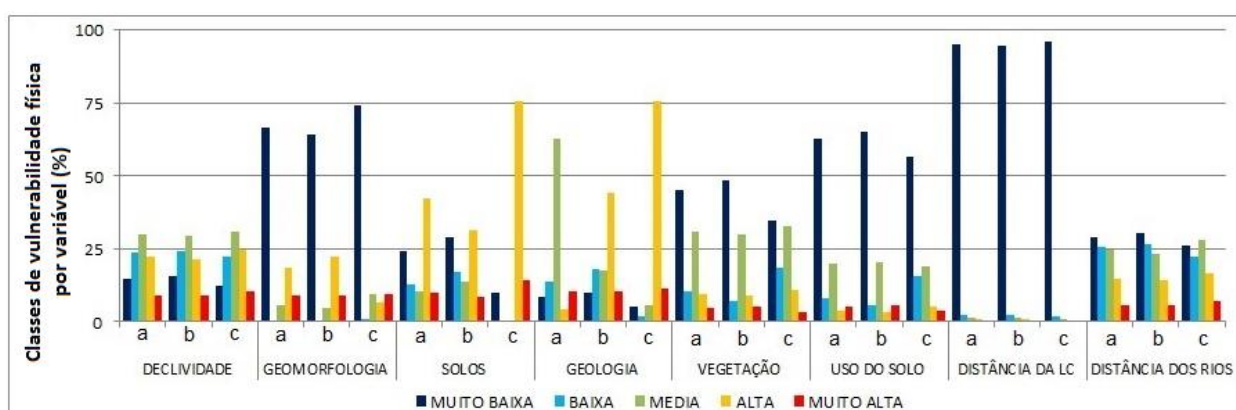


Figura 5.12: Distribuição das classes de vulnerabilidade por variável na (a) área total, (b) Macau e (c) Guamaré.

Quanto à variável geomorfologia, segunda em maior peso para os índices VN e VA, Guimarães apresenta uma proporção ligeiramente superior nessa classe, significando, portanto maior vulnerabilidade de Macau segundo esta variável, embora ambos os municípios apresentem maior proporção em vulnerabilidade muito baixa (Figura 5.12b e 5.12c). Na variável solos, a classe alta vulnerabilidade foi a de maior proporção, sendo cerca de 30% da área de Macau e 76% de Guimarães. A segunda maior classe para Macau foi muito baixa vulnerabilidade, cerca de três vezes superior a Guimarães. Guimarães não apresentou as classes baixa e média vulnerabilidade, sendo a classe muito alta vulnerabilidade a segunda maior, com quase o dobro da área de Macau, configurando Guimarães como de maior vulnerabilidade neste quesito (Figura 5.12c).

Na variável geologia a classe vulnerabilidade alta foi a de maior proporção em ambos os municípios; porém, Guimarães apresentou quase o dobro desta classe em relação Macau. A segunda maior classe em Guimarães foi muito alta vulnerabilidade, enquanto em Macau a segunda maior classificação foi baixa vulnerabilidade, cerca de 10 vezes maior do que em Guimarães. Portanto, Guimarães é mais vulnerável que Macau também segundo esta variável (Figura 5.12b).

A variável vegetação apresentou uma distribuição bimodal, com o maior pico na classe muito baixa vulnerabilidade, representando quase 50% e 35% da área de Macau e Guimarães, respectivamente. O segundo pico foi na classe média vulnerabilidade, correspondendo a cerca de 30% e 33% das áreas de Macau e Guimarães, respectivamente. Na classe muito baixa vulnerabilidade Macau teve área 1,4 vezes superior a Guimarães, condicionando Guimarães também segundo esta variável como mais vulnerável (Figura 5.12b).

Para ambos os municípios, a classe predominante quanto à variável uso do solo foi muito baixa vulnerabilidade, quase 65% da área de Macau e 57% de Guimarães. Também para ambos a segunda maior classe foi média vulnerabilidade, correspondendo a cerca de 20% dos municípios (Figura 5.12a). Macau teve área 1,5 vezes superior a Guimarães na classe muito alta e Guimarães teve área 1,5 vezes superior na classe alta vulnerabilidade e quase 3 vezes superior na classe baixa vulnerabilidade (15,76%). De modo que Macau apresentou-se mais vulnerável que Guimarães nesta variável.

Na variável distância da linha de costa, específica do índice VNMM, as classes foram praticamente equivalentes entre os municípios, estando quase 95% de Macau e 96% de Guimarães classificados como de muito baixa vulnerabilidade (Figura 5.12b e 5.12c). Esta

variável foi a de segundo maior peso para o índice VNMM e, por este motivo, forçou o resultado deste índice para as classes baixa e muito baixa vulnerabilidade. Tanto que neste índice a classe de vulnerabilidade muito alta se mostrou reduzida (<0,1%) e foi o de menor proporção na classe alta vulnerabilidade (< 3,5%).

Na variável distância das margens dos rios houve diferenças menores que 5% entre os municípios. As diferenças foram nas classes muito baixa e baixa, quase 1,2 vezes maior em Macau, e nas classes média, alta e muito alta, todas quase 1,2 vezes maior em Guamaré (Figura 5.12). Esta variável equivale ao terceiro maior peso (0,18) do índice VNMM e também forçou a classificação na direção das classes de menor vulnerabilidade, sendo possível observar o contorno dos rios nos mapas de vulnerabilidade física resultantes. A integração das variáveis distância da linha de costa e distância das margens dos rios foi a principal responsável pelo índice VNMM ter mais de 50% da área classificada como muito baixa e baixa vulnerabilidade e apresentar as menores proporções das classes alta e muito alta vulnerabilidade.

### **5.3.3. Classes de vulnerabilidade por variável física - Salinópolis/PA**

Em Salinópolis, vegetação e declividade foram as variáveis com maior proporção da classe muito alta vulnerabilidade e as variáveis uso do solo, distância das margens dos rios e distancia da linha de costa foram as com maior proporção da classe muito baixa vulnerabilidade (Figura 5.13). Segundo a PAH, a variável declividade foi a de maior peso na maioria dos índices, assim como distância da linha de costa foi a de maior peso nos índices que a continham (Figura 5.11).

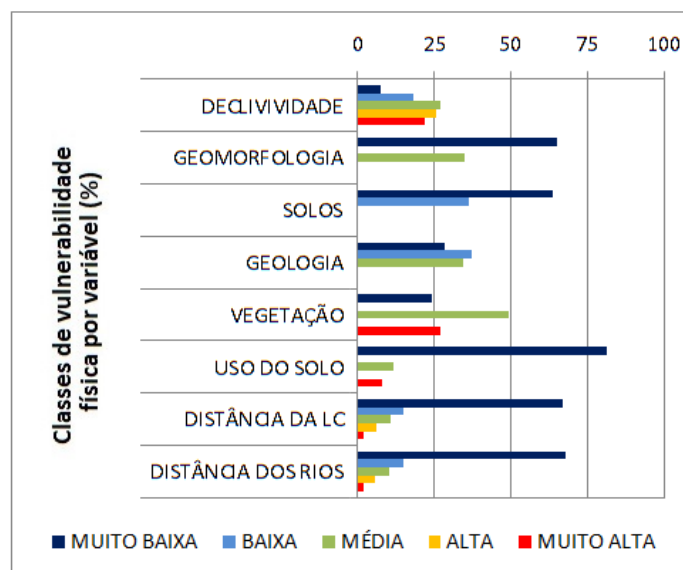


Figura 5.13: Distribuição das classes de vulnerabilidade por variável em Salinópolis/PA.

Salinópolis apresentou principalmente as classes média, alta e muito alta vulnerabilidade na variável declividade. Aproximadamente 75% do relevo apresentou de 0 a 3% de declividade. O relevo é classificado como plano quando tem declividade variando de 0 a 3%, apresentando superfície de topografia horizontal, com desnivelamentos muito pequenos (EMBRAPA, 2006). De modo que a maior parte deste município tem seu território em relevo plano e de baixa altitude, a chamada zona costeira de baixas altitudes. Por este motivo, mais de 65% da área foi classificada como muito baixa vulnerabilidade segundo a variável geomorfologia (Figura 5.13).

Quanto à variável solos, Salinópolis apresentou 64% e 36% dessa variável nas classes muito baixa e baixa vulnerabilidade, respectivamente. Quanto à geologia, as maiores classes de vulnerabilidade foram classificadas como baixa e média vulnerabilidade. Na variável vegetação, quase metade do território de Salinópolis foi classificado como de média vulnerabilidade, enquanto que na variável uso do solo mais de 80% do território foi classificado como muito baixa vulnerabilidade. Nas variáveis distância da linha de costa e distância das margens dos rios cerca de 70% da área foi classificada em muito baixa vulnerabilidade (Figura 5.13).

Houve diferenças entre as classes de vulnerabilidade física das variáveis físicas segundo cada área estudada. Como Macau abrange a maior parte da área integrada de Macau e Guimarães, apresentou classes de vulnerabilidade quanto as variáveis muito similar a esta área total. Enquanto que Guimarães, mesmo sendo um município vizinho à Macau, apresentou

diferenças nestas, principalmente nas variáveis solos e geologia, sendo a classe alta vulnerabilidade foi a principal neste município. As diferenças nas classes das variáveis físicas de Salinópolis em relação a Macau e Guamaré se devem não apenas ao distanciamento geográfico entre os municípios, mas também pela diferença na escala de análise, já que os dados referentes à Salinópolis estão em escala 1:250.000.

Importante ressaltar que a variável declividade foi empregada em diferentes índices de análise de vulnerabilidade física aplicados em outras partes do mundo como, por exemplo, no Índice de Vulnerabilidade Costeira (GORNITZ *et al.*, 1994; SHAW *et al.*, 1998). Trata-se de uma variável importante quando se considera que grande parte da zona costeira está em baixas altitudes e possuem alta densidade populacional (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010; IPCC 2012, 2014a), frente aos constantes desastres relacionados à erosão e inundações nessas regiões (MCGRANAHAN; ANDERSON, 2007; NEVES; MUEHE, 2008; BRASIL, 2008, 2013; NOBRE, 2008; COSTA *et al.*, 2010b; NICOLODI; PETERMANN, 2010; KOKS *et al.*, 2015).

Özyurt e Ergin (2010) também usaram a distância da linha de costa como uma variável de análise de vulnerabilidade física. Contudo, o diferencial nesta pesquisa foi adicionar a variável distância das margens dos rios e de canais de maré, por se tratar de uma região sujeita a meso e macromarés semidiurnas e, portanto, mais vulnerável à inundação temporária (marés de preamar) e permanente (aumento relativo do NMM).

As proporções das classes de vulnerabilidade das variáveis físicas, conforme apresentado nas figuras Figura 5.12 e 5.13, influenciaram nos resultados dos mapas de vulnerabilidade e por isso estão discutidas a seguir.

#### **5.3.4. Análise de Componentes Principais - Macau e Guamaré/RN**

A primeira, segunda e terceira componentes principais (CP1, CP2 e CP3) captaram de 95% a 99,9% da variância acumulada nos índices e representaram bem a informação original. A CP1 reteve de 43% a 57%, a CP2 reteve 23% a 34% e a CP3 reteve de 10% a 22% da variância total em todas as regiões analisadas e, em geral, quanto mais variáveis um índice apresentou, maior foi a participação da CP1 na variância total. Nos índices com lógica booleana a CP1 captou de 43% a 57% da variância total e nos índices com lógica *fuzzy* a CP1 captou de 44% a 56% da variância total em Macau e Guamaré e na área integrada destes e,

portanto, explicou quase metade da vulnerabilidade física nestes índices (Anexo, tabela 10 e 11).

As variáveis de maior carga em cada CP por índice e por área de estudo estão sintetizadas nas tabelas 5.7 e 5.8. Na área integrada de Macau e Guamaré, as variáveis de maior carga que mais se repetiram nos índices VN, VA e VNMM foram geomorfologia e uso do solo na CP1, geologia na CP2 e solos e declividade na CP3. Já nos índices VR, VU e VR-NMM as variáveis mais recorrentes foram vegetação na CP1, declividade e solos na CP2 e declividade na CP3. No município de Macau, as variáveis de maior carga mais recorrentes nos índices com lógica booleana foram geomorfologia, uso do solo e vegetação na CP1, geologia na CP2 e declividade na CP3. Enquanto que nos índices com lógica *fuzzy* as variáveis mais constantes foram uso do solo, distância das margens dos rios e vegetação na CP1, geologia e declividade na CP2, declividade e solos na CP3 (Tabela 5.7 e 5.8).

Tabela 5.7: Variáveis físicas mais influentes (cargas  $\geq |0,5|$ ) segundo a Análise de Componentes Principais para os índices de vulnerabilidade física com lógica booleana Vulnerabilidade Natural - VN, Vulnerabilidade Ambiental - VA, Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar - VNMM.

		MACAU e GUAMARÉ	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS
VN	CP1	GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA	GEOMORFOLOGIA, VEGETAÇÃO, SOLOS	GEOLOGIA, SOLOS	SOLOS, DECLIVIDADE
	CP2	VEGETAÇÃO	GEOLOGIA	DECLIVIDADE	VEGETAÇÃO
	CP3	SOLOS, DECLIVIDADE	DECLIVIDADE	VEGETAÇÃO, GEOMORFOLOGIA	GEOLOGIA, DECLIVIDADE
VA	CP1	GEOMORFOLOGIA, USO DO SOLO, VEGETAÇÃO	USO DO SOLO, GEOMORFOLOGIA, VEGETAÇÃO	USO DO SOLO	SOLOS
	CP2	GEOLOGIA	GEOLOGIA	SOLOS	GEOMORFOLOGIA, VEGETAÇÃO, USO DO SOLO
	CP3	SOLOS, DECLIVIDADE	DECLIVIDADE	DECLIVIDADE, VEGETAÇÃO	GEOLOGIA, DECLIVIDADE
VNMM	CP1	USO DO SOLO*, DISTÂNCIA DA LC*	USO DO SOLO**, DISTÂNCIA DA LC**	USO DO SOLO**	DISTÂNCIA RIOS***, DISTÂNCIA LC***
	CP2	GEOLOGIA, DECLIVIDADE	GEOLOGIA, DECLIVIDADE	DECLIVIDADE	VEGETAÇÃO, USO DO SOLO
	CP3	SOLOS, DECLIVIDADE	DECLIVIDADE	GEOLOGIA, SOLOS	SOLOS, GEOLOGIA

\* Carga da variável igual a 0,46.

\*\* Carga da variável igual a 0,48.

\*\*\* Carga da variável igual a 0,45.

Por fim, no município de Guamaré as variáveis mais recorrentes nos índices VN, VA e VNMM foram uso do solo na CP1, declividade na CP2 e vegetação na CP3, sendo que nos

índices VR, VU e VR-NMM as variáveis mais recorrentes foram vegetação na CP1 e declividade na CP2 e na CP3. De modo que as variáveis uso do solo e vegetação foram, respectivamente, muito influentes nos resultados dos índices de vulnerabilidade física do tipo booleano e com lógica *fuzzy* para estas áreas (Tabela 5.7 e 5.8). O fato das variáveis de maiores cargas na área integrada de Macau e Guamaré diferirem do encontrado nos municípios isoladamente evidencia a necessidade em se analisar a vulnerabilidade física ao menor nível possível, por exemplo, na esfera municipal.

Tabela 5.8: Variáveis físicas mais influentes (cargas  $\geq |0,5|$ ) segundo a Análise de Componentes Principais para os índices de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy* Vulnerabilidade Ambiental Relativa - VR, Vulnerabilidade ambiental relativa ao Uso do solo - VU e Vulnerabilidade ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar - VR-NMM.

		MACAU e GUAMARÉ	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS
VR	CP1	GEOLOGIA, VEGETAÇÃO, DISTÂNCIA DE RIOS	DISTÂNCIA DE RIOS, VEGETAÇÃO	VEGETAÇÃO, DISTÂNCIA DE RIOS	SOLOS, DECLIVIDADE, DISTÂNCIA DE RIOS
	CP2	DECLIVIDADE	GEOLOGIA	DECLIVIDADE	VEGETAÇÃO, GEOLOGIA
	CP3	DECLIVIDADE, VEGETAÇÃO	DECLIVIDADE, SOLOS	DECLIVIDADE	GEOLOGIA, VEGETAÇÃO
VU	CP1	VEGETAÇÃO	VEGETAÇÃO, USO DO SOLO, DISTÂNCIA DE RIOS	VEGETAÇÃO	SOLOS
	CP2	DECLIVIDADE, GEOLOGIA, SOLOS	GEOLOGIA, DECLIVIDADE	DECLIVIDADE	VEGETAÇÃO, USO DO SOLO
	CP3	DECLIVIDADE, USO DO SOLO	DECLIVIDADE, SOLOS	USO DO SOLO, DECLIVIDADE	GEOLOGIA
VR-NMM	CP1	USO DO SOLO *	USO DO SOLO	USO DO SOLO **, VEGETAÇÃO**	SOLOS *
	CP2	SOLOS, GEOLOGIA	GEOLOGIA, DECLIVIDADE	DECLIVIDADE	USO DO SOLO, VEGETAÇÃO
	CP3	DECLIVIDADE	DECLIVIDADE, SOLOS	SOLOS, GEOLOGIA	GEOLOGIA

\* Carga da variável igual a 0,49

\*\* Carga da variável igual a 0,47

### 5.3.5. Análise de Componentes Principais - Salinópolis/PA

A primeira, segunda e terceira componentes principais (CP1, CP2 e CP3) captaram 99,9% da variância acumulada nos índices, representando bem a informação original. A CP1 reteve de 51% a 63%, a CP2 reteve 27% a 37% e a CP3 reteve de 8% a 14% da variância total em todas as regiões analisadas. A CP1 captou de 51% a 59% da variância total nos índices com lógica booleana e de 56% a 63% da variância total nos índices com lógica *fuzzy* (Anexo, tabela 10 e 11). De modo que as variáveis de maior carga na CP1 foram as que mais

influenciaram nos resultados de vulnerabilidade física, correspondendo a mais da metade da informação original em todos os índices aplicados.

A variável solos foi a que apareceu mais vezes como a maior carga na CP1 em 5 dos 6 índices. A única diferença foi no índice VNMM, em que as variáveis distância das margens dos rios e distância da linha de costa foram as de maior carga e que, portanto, influenciaram mais o resultado. Na CP2 as variáveis mais recorrentes foram uso do solo e vegetação, tanto nos índices booleanos quanto nos de lógica *fuzzy*. Na CP3 as variáveis mais recorrentes foram geologia e declividade nos índices com lógica booleana e geologia nos índices com lógica *fuzzy* (Anexo, tabela 10 e 11). Esta diferenciação em relação aos resultados encontrados em Macau e Guamaré era de se esperar e ocorreu não apenas por diferenças nas características físicas destes municípios, situados em regiões tão distintas, mas também pela diferenciação na escala de análise.

Quando da adição da variável uso do solo, esta foi uma das que mais contribuiu na CP1 nas áreas de estudo do RN e na CP2 em Salinópolis e, por consequência, nos resultados dos índices de vulnerabilidade VA, VNMM, VU e VR-NMM. Isto mais uma vez destaca a variável uso do solo como de grande importância na análise de vulnerabilidade física, fato que foi anteriormente corroborado pela análise da vulnerabilidade por variável (item 5.3.2). Enquanto as mudanças nas características de geologia, geomorfologia e solos ocorrem em escala de tempo geológica, as mudanças no uso do solo ocorrem em escala de tempo curta, de poucos anos. Por isso, este critério deve ser reanalisado periodicamente, ainda mais que mudanças de uso e ocupação do solo refletem rapidamente a vulnerabilidade socioambiental de uma região.

A ACP destacou a maior ou menor importância de cada variável de acordo com a proporção das classes de vulnerabilidade. Esta análise difere da análise de importância das variáveis pela escala de Saaty, que se embasa no conhecimento prévio das características físicas da área estudada ou em referências que pautem a tomada de decisão quanto à maior ou menor importância das variáveis. Portanto, a ACP pode corroborar com a análise de ponderação de Saaty, porém não pode substituí-la, uma vez que a ponderação deve ser baseada em diretrizes apropriadas ao que o gestor pretende gerir, ou seja, apoiada no conhecimento prévio a cerca da área por parte dos tomadores de decisão, e não apenas se uma variável apresenta maior ou menor proporção de áreas vulneráveis. Neste estudo, a variável Geologia recebeu o menor peso frente às demais na escala de ponderação de Saaty, porém

configurou como uma das variáveis de maior importância na CP1 por ser a variável que mais apresentou áreas de alta e muito alta vulnerabilidade.

Como Macau corresponde à maior parte da área integrada dos dois municípios, apresentou maior correspondência com o resultado. Isto corrobora com a sugestão de se fazer análise de vulnerabilidade física ao nível municipal sempre que possível. Pois há diferenças ao englobar municípios em grandes regiões.

O fato de Solos ter sido a variável mais importante em Salinópolis em todos os índices tanto segundo o PAH quanto segundo a ACP indica que há maior correlação entre as variáveis físicas e os resultados de vulnerabilidade física quanto maior o detalhamento da análise de vulnerabilidade física. Embora, pelo princípio da precaução, este fato não exclua a execução de análise em escalas de 1:250.000 quando não há planos de informação em melhor escala.

### **5.3.6. Análise dos índices de vulnerabilidade física em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN**

#### **5.3.6.1. Índices Vulnerabilidade Natural (VN), Ambiental (VA) e Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM)**

Em todos os índices booleanos aplicados nas áreas de Macau, Guamaré e a na área integrada destes municípios as classes média e alta vulnerabilidade foram as de maior proporção (Figura 5.14 e 5.15). O índice VN foi o que apresentou maior proporção das classes alta e muito alta vulnerabilidade, bem evidenciada pela assimetria negativa da curva de distribuição das classes, sendo, portanto, o índice mais pessimista (Figura 5.16). Os índices VN e VNMM não apresentaram área de muito baixa vulnerabilidade e o índice VA apresentou apenas 0,01 km<sup>2</sup> nesta classe (Figura 5.15).

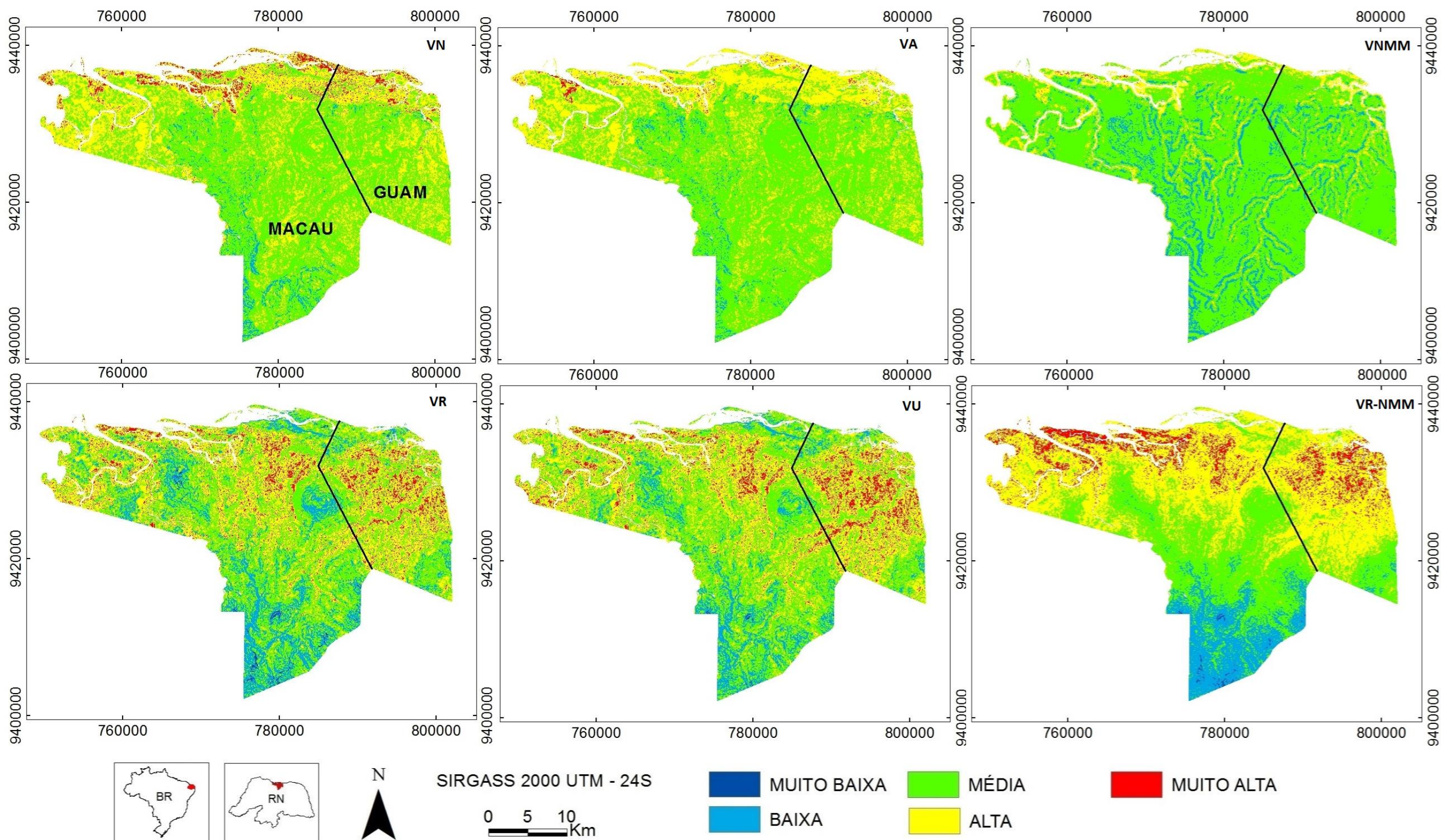


Figura 5.14: Mapas de vulnerabilidade física para os municípios de Macau e Guamaré/RN segundo os índices de Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA), Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM), Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU), Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM).

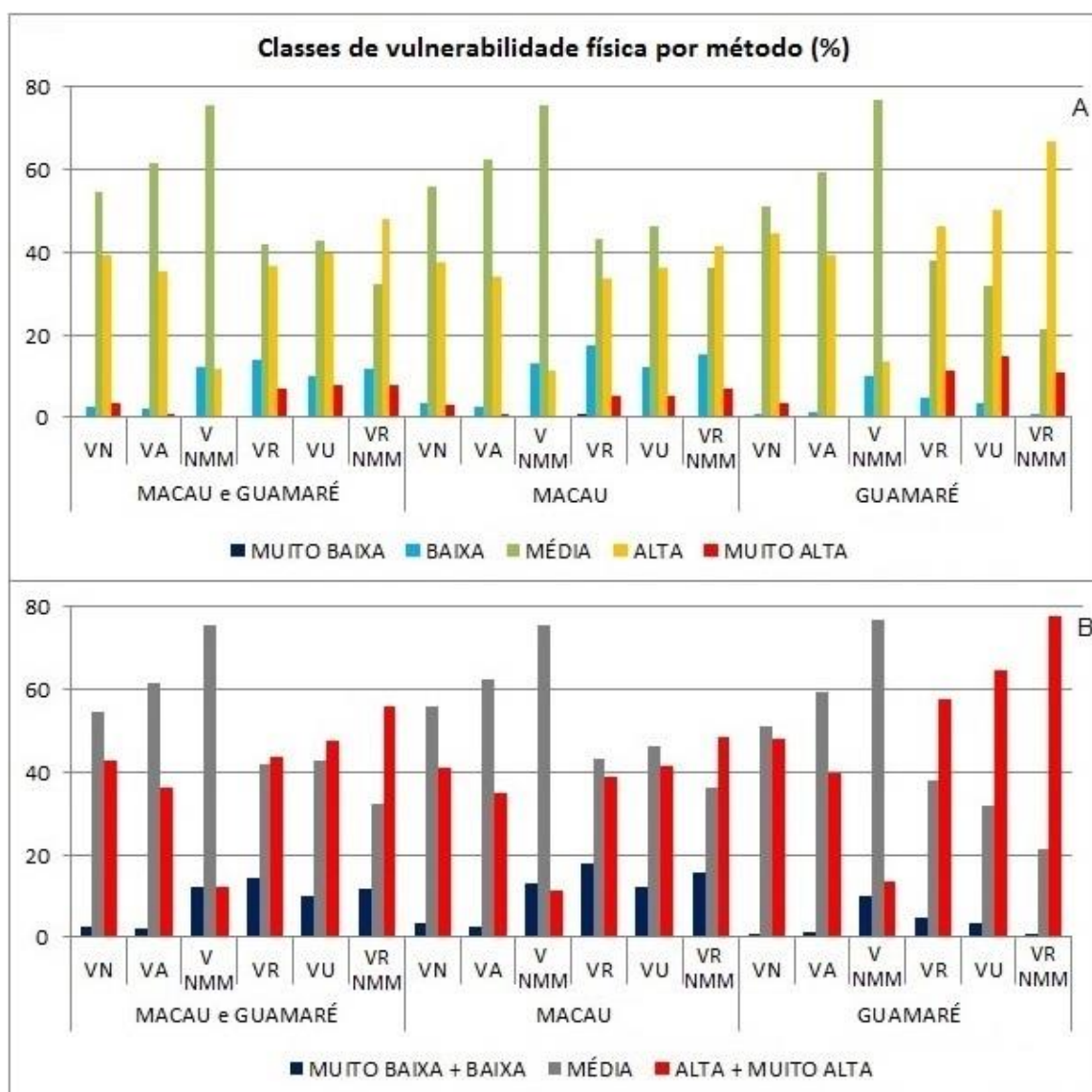


Figura 5.15: Classes (a) Normal e (b) Acumulada da Vulnerabilidade Natural (VN), Ambiental (VA), Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM), Ambiental Relativa (VR), Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) em Macau e Guamaré/RN.

O índice VNMM quase não apresentou área com muito alta vulnerabilidade ( $\leq 0,1\%$ ), porém estas áreas quando ocorreram corresponderam a *hotspots* de erosão e inundação, por indicarem áreas de menor declividade próximas à orla costeira e às margens de rios. Também este índice teve maior proporção da classe baixa vulnerabilidade, sendo o índice mais otimista dos três, como representado pela assimetria positiva da curva de distribuição das classes (Figura 5.16a e 5.16b).

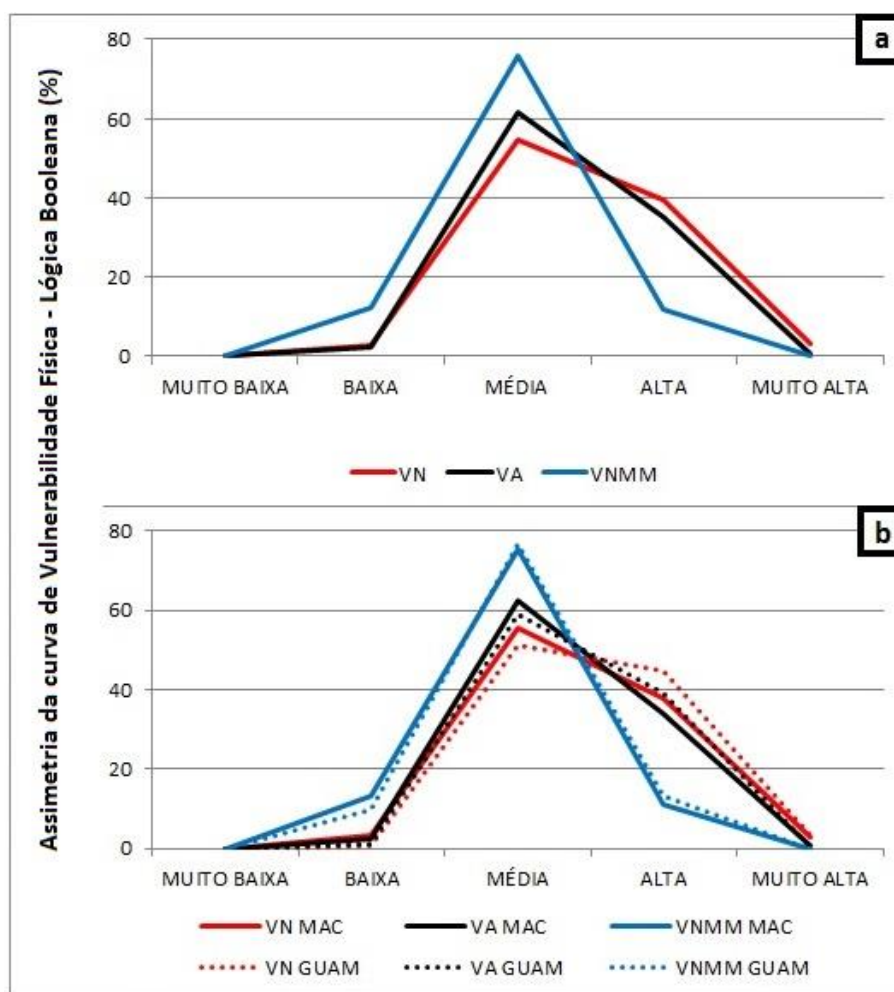


Figura 5.16: Assimetria da curva de vulnerabilidade física com lógica booleana Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA) e Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) para as áreas (a) total e (b) Macau (MAC) e Guamaré (GUAM).

O que contribuiu para resultados de vulnerabilidade maiores no índice VN foi principalmente a variável declividade, que apresentou grande proporção classificada como de alta e muito alta vulnerabilidade, sendo esta a variável de maior peso do índice VN (0,42), seguida das variáveis geomorfologia (0,25) e vegetação (0,16) (Figura 5.11 e 5.12). Para o índice VA, estas variáveis mais a variável uso do solo foram as de maior peso, segundo o PAH. A maior parte dos municípios foi classificada como de muito baixa vulnerabilidade (~60%) segundo a variável uso do solo, estando em menor proporção as áreas de maior vulnerabilidade, representadas pelas indústrias do sal, do petróleo, salinicultura e carcinicultura. Por isso este índice teve redução das áreas mais vulneráveis em relação ao índice VN.

As variáveis distância da linha de costa e distância das margens dos rios foram responsáveis pelo aumento na proporção da classe baixa vulnerabilidade no índice VNMM (Figura 5.15a e 5.15b). A variável distância da linha de costa foi a de segundo maior peso para o índice VNMM e forçou o resultado deste índice para classes de menor vulnerabilidade (Figura 5.12a e 5.12b). A variável distância das margens dos rios equivale ao terceiro maior peso (0,18) do índice VNMM, sendo possível observar o contorno dos rios nos mapas resultantes. Nos índices VN e VA, a classe muito alta vulnerabilidade ficou concentrada nas áreas de menor declividade às adjacências da linha de costa. No índice VNMM, a classe muito alta vulnerabilidade foi observada na zona litorânea e a classe alta vulnerabilidade ao entorno das margens dos rios (Figura 5.14).

Macau apresentou resultados similares à área integrada dos municípios nos três índices booleanos. A soma das classes alta e muito alta vulnerabilidade em Guamaré foi cerca de 20% superior a Macau no índice VN e VNMM e quase 15% superior no índice VA. Macau apresentou áreas de vulnerabilidade muito baixa e baixa quase 5 (índice VNMM), 2,5 (índice VA) e 1,5 (índice VN) vezes superior que em Guamaré. Portanto, Guamaré foi o município de maior vulnerabilidade física segundo os índices booleanos analisados (Figura 5.16b). Grigio *et al.* (2004) aplicaram os índices VN e VA para o município de Guamaré e Boori e Amaro (2010) aplicaram os mesmos índices na região do estuário do rio Apodi-Mossoró, que engloba parte da área estudada nesta pesquisa. Estes autores encontraram vulnerabilidades maiores no índice VN, como verificado neste estudo, ainda que não tenham utilizado a variável declividade na construção dos índices e que os pesos tenham sido diferentes dos usados nesta pesquisa.

As diferenças nos resultados de Macau e Guamaré demonstraram a necessidade de que a menor célula de análise de vulnerabilidade física seja pelo menos o município, como corroborado pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro que atribui ao município a responsabilidade de elaborar, implementar, executar e acompanhar o Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro que tem por objetivo o planejamento e a gestão para o uso sustentável da zona costeira (BRASIL, 1997, 2004). Além disso, o reconhecimento do município de Guamaré como o mais vulnerável segundo os índices de vulnerabilidade física é importante para a gestão ambiental integrada, ainda mais ao considerar que este é também o município de maior vulnerabilidade socioeconômica.

Nos índices de vulnerabilidade física com lógica booleana, a vulnerabilidade física dos municípios mudou de modo gradual e não abrupto (Figura 5.14), como ocorre em índices que usam lógica *fuzzy*. Isto foi em decorrência das ponderações das variáveis, principalmente da variável declividade. Em geral, os estudos que aplicam a análise booleana resultam em mapas de vulnerabilidade com limites abruptos, bem definidos, como visto em Grigio *et al.* (2004), Boori e Amaro (2011), Bastos *et al.* (2015) e Batista e Veríssimo (2012). A diferença no resultado desta pesquisa foi a inserção da variável declividade, que teve a maior ponderação nos índices, dissolvendo os limites rígidos das demais variáveis. Esta etapa de ponderação em geral é feita de modo subjetivo e um diferencial deste estudo foi diminuir a subjetividade por incorporar na análise de ponderação o Processo Analítico de Hierárquica (PAH) (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

### **5.3.6.2. Índices Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM)**

Os índices de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy* aplicados nas áreas de Macau, Guamaré e a na área integrada destes municípios também apresentaram as classes média e alta vulnerabilidade em maior proporção, sendo que a classe alta vulnerabilidade apresentou proporções bem maiores que nos índices booleanos, com máximo de cerca de 70% no índice VR-NMM contra um máximo aproximado de 45% no índice VN (Figura 5.14 e 5.17).

Os índices de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy* apresentaram menos que 1% da classe muito baixa vulnerabilidade. Mesmo no índice mais otimista (VR) menos de 20% da área foi classificada como em muito baixa e baixa vulnerabilidade. Enquanto que no índice mais pessimista (VR-NMM) a proporção acumulada das classes alta e muito alta vulnerabilidade foi de quase 80%, sendo este o mais pessimista dentre todos os índices aplicados, tanto os com lógica booleana quanto os com lógica *fuzzy* (Figura 5.16 e 5.17).

Nos índices VR e VU a classe muito alta vulnerabilidade foi distribuída na região litorânea e nas áreas de menor declividade, mais planas (Figura 5.14). Já no índice VR-NMM as classes de vulnerabilidade estão distribuídas de modo quase paralelo à linha de costa e às proximidades da linha de costa estão as classes de maior vulnerabilidade, isto é, estão concentradas em zona costeira de baixa altitude (Figura 5.14).

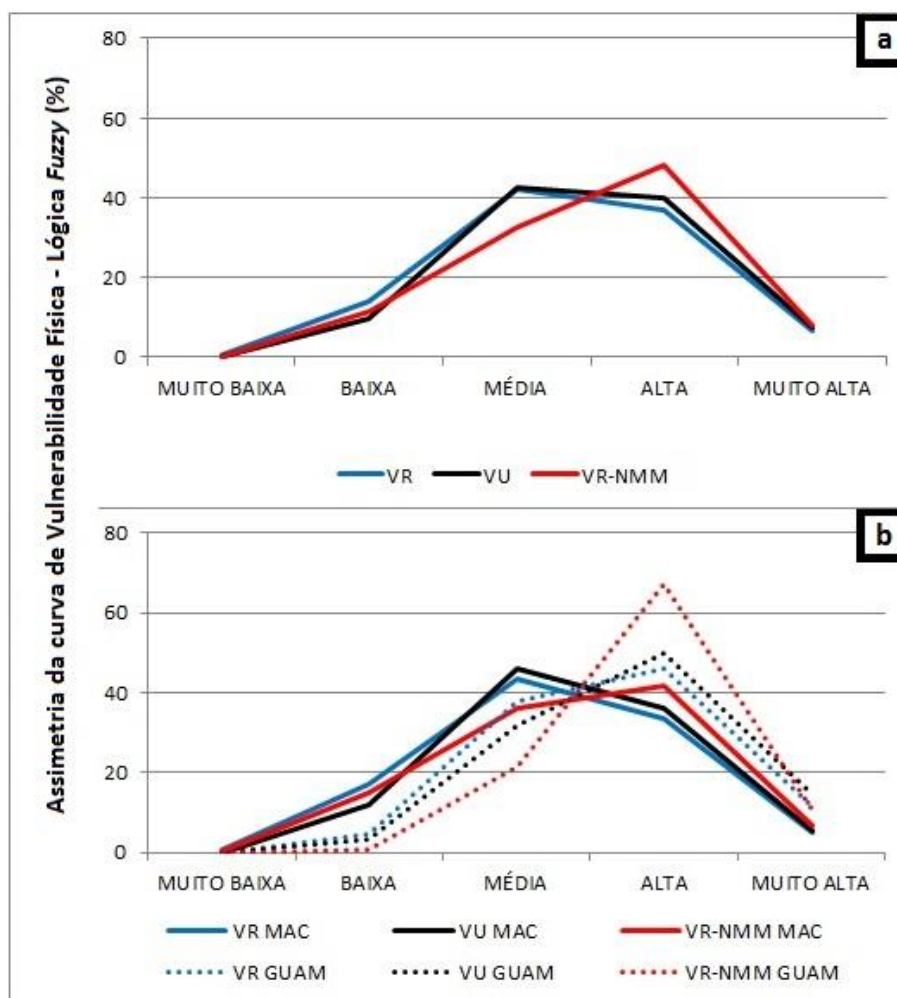


Figura 5.17: Assimetria da curva de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy* Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade Ambiental relativa ao Uso do solo (VU) e Vulnerabilidade ambiental relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR- NMM) para as áreas (a) total e (b) Macau (MAC) e Guamaré (GUAM).

Segundo o PAH, as variáveis declividade e distância da margem de rios receberam os maiores pesos nos índices VR e VU. Já no índice VR-NMM a variável distância da linha de costa foi a de maior peso. Como Guamaré tem relevo mais plano que Macau e maior proporção do território às proximidades de rios, apresentou maior vulnerabilidade que Macau nestes índices (Tabela 5.6 e Figura 5.11). Muitos estudos aplicam índices de vulnerabilidade física englobando uma região ao invés de uma área municipal. Esta pesquisa demonstrou que isto pode mascarar resultados municipais, uma vez que os resultados da área integrada de Macau e Guamaré foram semelhantes aos de Macau e divergentes dos de Guamaré.

### 5.3.7. Análise dos métodos de vulnerabilidade física em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA

### **5.3.7.1. Índices Vulnerabilidade Natural (VN), Ambiental (VA) e Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM)**

Em Salinópolis, os índices VN e VA apresentaram maior proporção das classes média, baixa e alta vulnerabilidade, enquanto o índice VNMM apresentou maior proporção das classes baixa e média vulnerabilidade (Figura 5.18 e 5.19), sendo o índice VN o mais pessimista destes e o índice VNMM o mais otimista (Figura 5.20). Nos mapas dos índices VN e VA em Salinópolis pôde-se observar a maior vulnerabilidade seguindo o contorno da geomorfologia, já que esta variável física teve o segundo maior peso nestes índices, segundo o PAH, e apresentou a segunda maior proporção na classe média vulnerabilidade. No mapa VNMM esta influência da geomorfologia foi menor, já que os maiores pesos do PAH foram das variáveis declividade, distância da linha de costa e distância das margens dos rios, podendo se observar as classes muito alta, alta e média vulnerabilidade contornando a orla costeira e fluvial e as classes baixa e muito baixa vulnerabilidade no interior do município (Figura 5.19).

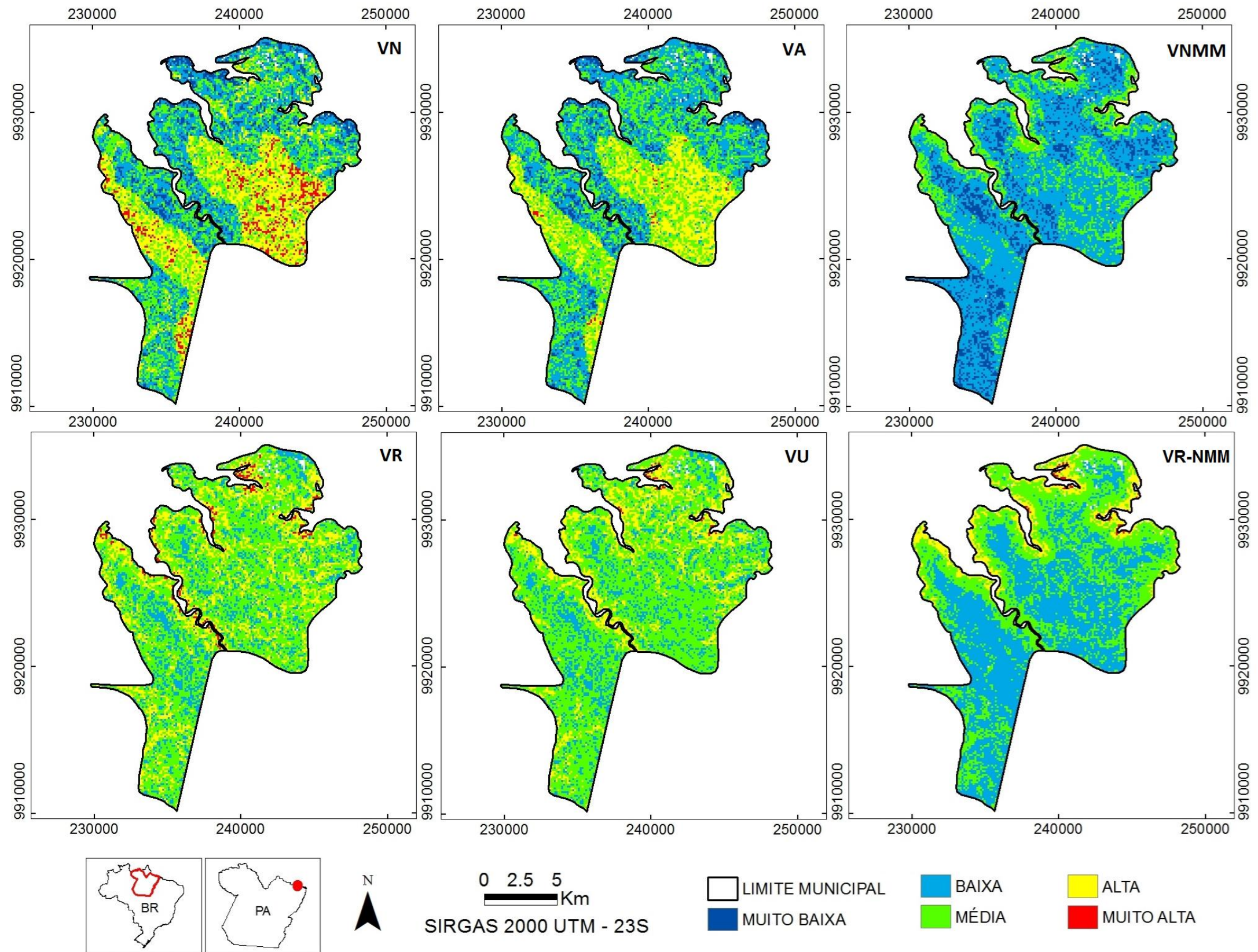


Figura 5.18: Mapas de vulnerabilidade física do município de Salinópolis/PA segundo os índices de Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA), Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar - VNMM, Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do nível médio do mar (VR-NMM).

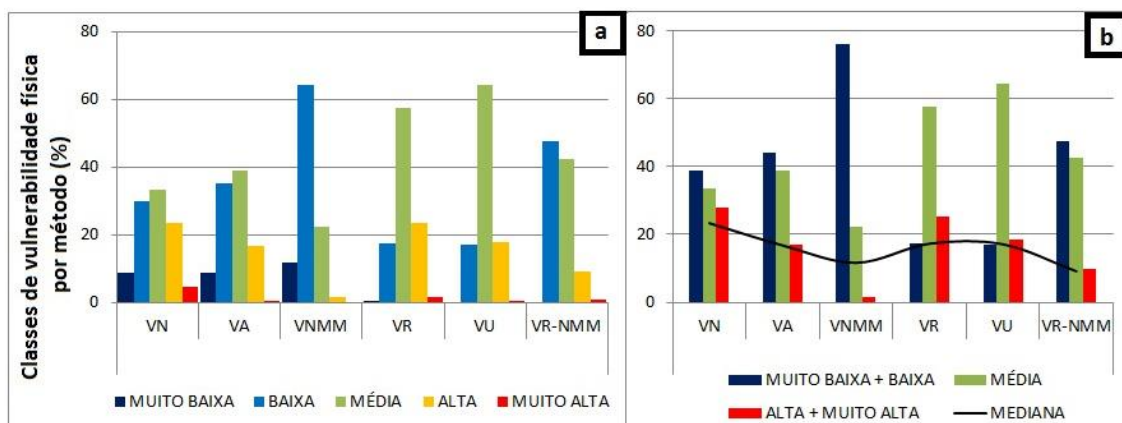


Figura 5.19: Classes (a) Normal e (b) Acumulada da Vulnerabilidade Natural (VN), Ambiental (VA), Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM), Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade ambiental relativa ao Uso do Solo (VU) e Vulnerabilidade ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) em Salinópolis/PA.

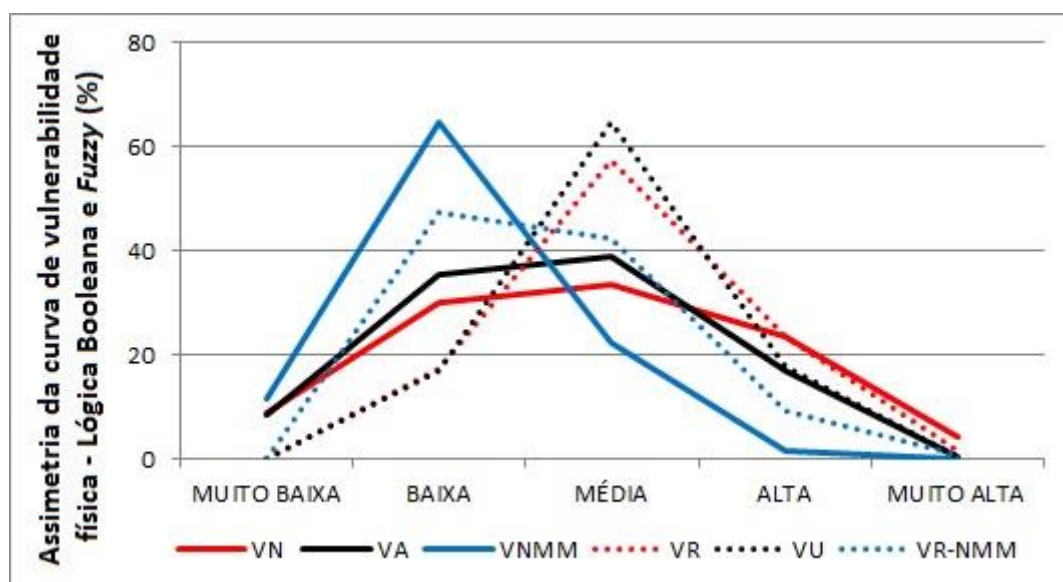


Figura 5.20: Assimetria da curva de Vulnerabilidade Física com lógica booleana Vulnerabilidade Natural (VN), Vulnerabilidade Ambiental (VA), Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) e com lógica *fuzzy* Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Vulnerabilidade ambiental relativa ao Uso do solo (VU) e Vulnerabilidade ambiental relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) em Salinópolis/PA.

A variável uso do solo foi a responsável pela diminuição da vulnerabilidade no índice VA em relação ao índice VN, pois esta variável apresentou o quarto maior peso segundo o PAH e a maior parte do município de Salinópolis foi classificada como de muito baixa vulnerabilidade (~80%) nesta variável, forçando os resultados para valores mais baixos de vulnerabilidade.

### 5.3.7.2. Índices Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR), Ambiental Relativa ao Uso do Solo (VU) e Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM)

Em Salinópolis os índices VR e VU apresentaram maior proporção da classe média vulnerabilidade, enquanto que no índice VR-NMM a maior proporção foi da classe baixa vulnerabilidade. Segundo a curva de assimetria, o índice VR foi o mais pessimista e o índice VR-NMM o mais otimista (Figura 5.20). Apesar de Salinópolis ser um município costeiro que apresenta reentrâncias geradas por maré, tem mais de 60% de seu território na porção interior, distante da margem de rios e da orla costeira. Por isso apresentou menor vulnerabilidade no índice VR-NMM. E por ter um relevo muito plano apresentou maiores proporções de classe média e alta vulnerabilidade nos índices VR e VU.

A declividade foi a variável de maior peso nos índices VR e VU, o que influenciou para a modificação gradual ao invés de abrupta da vulnerabilidade física. No índice VR-NMM as classes muito alta, alta e média vulnerabilidade estão ao longo da orla costeira e das margens dos rios, enquanto que na região interior predomina a classe baixa vulnerabilidade em virtude das variáveis distância da linha de costa e distância das margens dos rios serem as de maior peso neste índice.

### 5.3.7.3. Comparação entre os índices com lógica booleana e com lógica *fuzzy*

O índice VA se mostrou mais completo que o VN, em virtude de envolver a variável uso do solo, cujas mudanças de curto prazo são refletidas mais rapidamente na vulnerabilidade física de uma região. Considerando impactos atuais e futuros por aumento relativo do Nível Médio do Mar, o índice VNMM é uma ferramenta útil e mais apropriada que os índices VN e VA, por identificar regiões antrópicas mais susceptíveis à erosão e inundação e, por isso, deve ser replicada em municípios da zona costeira brasileira.

É mais recomendável a aplicação do índice VU que o VR, porque o primeiro considera na sua formulação o uso atual do solo, portanto, as modificações antrópicas da paisagem. Porém, o mais recomendável dentre os três índices com lógica *fuzzy* é o índice VR-NMM, também por este correlacionar áreas antrópicas com áreas mais susceptíveis à erosão e inundação costeira. O índice mais otimista em todas as áreas de estudo foi o índice VNMM, de lógica booleana. E os mais pessimistas foram os índices VR e VR-NMM, de lógica *fuzzy* (Tabela 5.9).

Tabela 5.9: Índices mais pessimistas e otimistas, segundo cada área de estudo.

ÍNDICES DE VULNERABILIDADE FÍSICA			
ÁREA DE ESTUDO	PESSIMISTA	OTIMISTA	ESCALA
MACAU E GUAMARÉ	VR-VNMM	VNMM	1:100.000
MACAU	VR-VNMM	VNMM	1:100.000
GUAMARÉ	VR-VNMM	VNMM	1:100.000
SALINÓPOLIS	VR	VNMM	1:250.000

Embora a variável uso do solo não tenha recebido o maior valor no PAH, esteve entre as de maior correlação, portanto, maior influência, nas CP1 e CP2 dos índices de vulnerabilidade física. Por isso, a variável uso do solo deve constar em análises de vulnerabilidade física de uma região. Os resultados desta pesquisa indicam que a escolha do método de análise de vulnerabilidade física deve ocorrer de acordo com diretrizes específicas ao que se pretende gerir, tanto na escolha das variáveis, quanto dos respectivos pesos, uma vez que as respostas de um método podem ser discrepantes às de outro em virtude desta escolha. Como o resultado da vulnerabilidade física depende fortemente das variáveis componentes dos índices aplicados, uma análise estatística para explicar quais as variáveis mais influentes nos resultados foi realizada.

## 5.4. Vulnerabilidade Socioambiental

### 5.4.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN

Dentre os quatro índices de vulnerabilidade socioeconômica estudados, foram utilizados para estudo da vulnerabilidade socioambiental o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica Municipal (IVSM) e o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica baseado no Índice Firjan (IVSF). Esta escolha se deu por três motivos, primeiro pela facilidade de acesso aos índices, já que os dados que os geraram estão disponibilizados em sítios de instituições públicas e de pesquisa nacionais para todos os municípios brasileiros (PNUD, 2013; IFDM, 2014). Segundo pela simplicidade da formulação, já que estes índices são resultantes dos índices IDHM e IFDM, cujas metodologias baseiam-se em padrão nacional e internacional (PNUD, 2013; IFDM, 2014). O terceiro motivo é pela correlação negativa que há entre os índices, o que permitiu verificar resultados diferenciados.

Dentre os seis índices de vulnerabilidade física estudados, o índice com lógica booleana VNMM foi o que apresentou cenários mais otimistas para os três municípios. Já

os índices com lógica *fuzzy* VR-NMM e VR foram os que apresentaram cenários mais pessimistas de vulnerabilidade, o primeiro para Macau e Guimarães e o segundo para Salinópolis (Tabela 5.9). Por isso, estes mapas foram escolhidos para se aplicar a análise de vulnerabilidade socioambiental nestes municípios.

No município de Macau, os índices de vulnerabilidade socioambiental do tipo VNMM e o índice VR-NMM-IVSM apresentaram maior proporção da classe média vulnerabilidade, cerca de 70% para os índices do tipo VNMM e mais de 75% para o VR-NMM-ISVM. Porém, a segunda maior classe foi baixa vulnerabilidade no índice VNMM-IVSM (~32%), alta vulnerabilidade no índice VNMM-IVSF (~32%) e baixa vulnerabilidade no índice VR-NMM-IVSM (~22%) (Figura 5.21 e 5.22). Sendo assim, o índice VNMM-IVSM foi o mais otimista.

O índice mais divergente foi o VR-NMM-IVSF, sendo também o que apresentou cenário mais pessimista de vulnerabilidade socioambiental, com quase 64% da área classificada como de alta vulnerabilidade. Isto porque no índice social IVSF Macau foi classificado como de média vulnerabilidade e o índice VR-NMM foi o que apresentou resultados de maior vulnerabilidade física para Macau e Guimarães. Nenhum dos índices apresentou vulnerabilidade muito baixa.

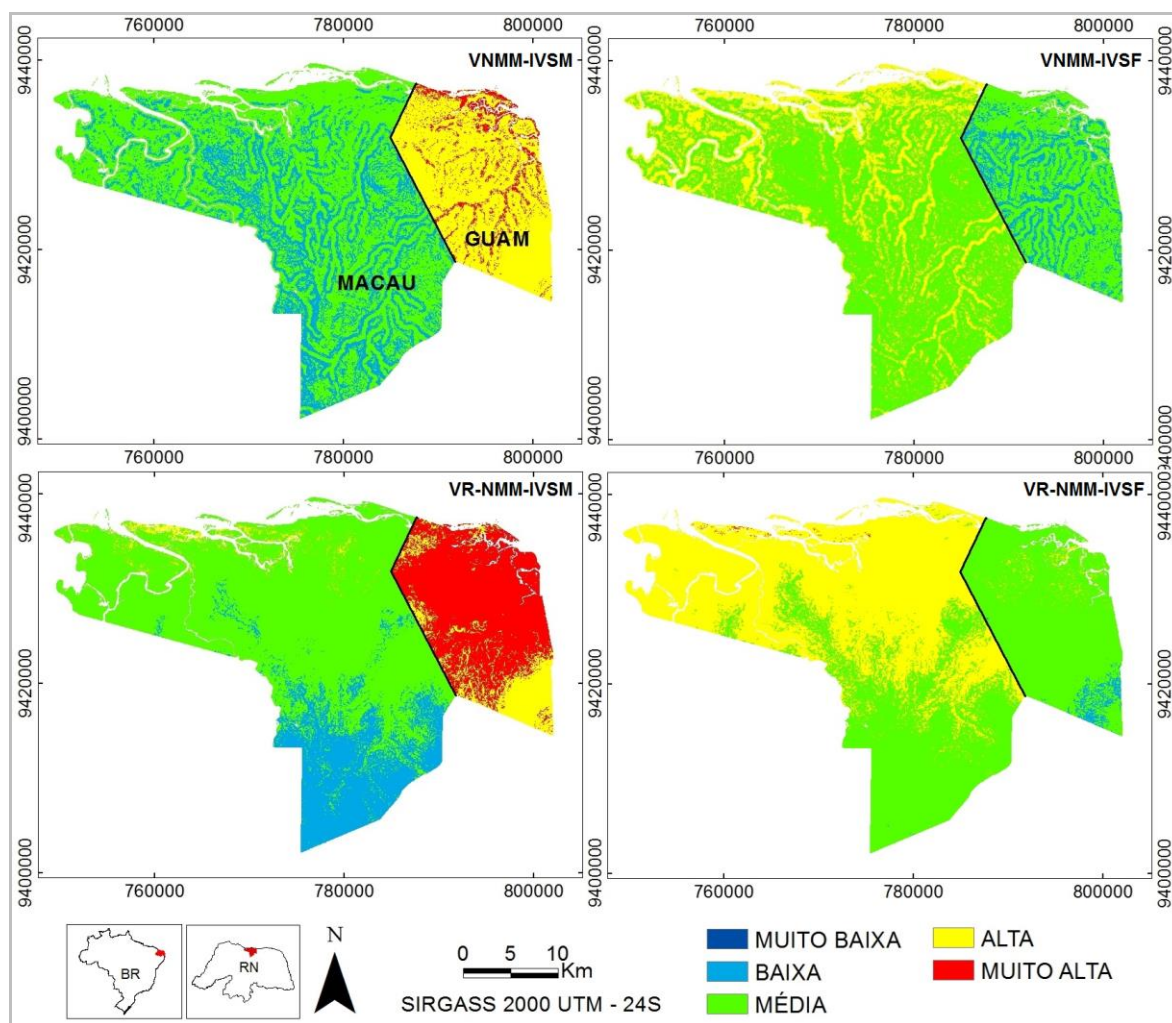


Figura 5.21: Mapas de vulnerabilidade socioambiental de Macau e Guamaré/RN de acordo com os índices (a) VNMM-IVSM (b) VNMM-IVSF, (c) VR-NMM-IVSM e (d) VR-NMM-IVSF.

Em Guamaré, a vulnerabilidade socioambiental nos índices do tipo IVSM foram ainda maiores que em Macau, enquanto que no índice do tipo IVSF foram menores, já que neste índice Guamaré configurou como o município de menor Vulnerabilidade Socioeconômica. O pior resultado foi observado no índice VR-NMM-IVSM, em que mais de 77% da área foi classificada como em muito alta vulnerabilidade e 22% na classe alta vulnerabilidade (Figura 5.21). O melhor resultado foi observado no índice VR-NMM-IVSF, que apresentou quase 94% de proporção na classe média vulnerabilidade. Ou seja, o cenário mais otimista ainda é de média vulnerabilidade. Nenhum índice apresentou a classe muito baixa vulnerabilidade.

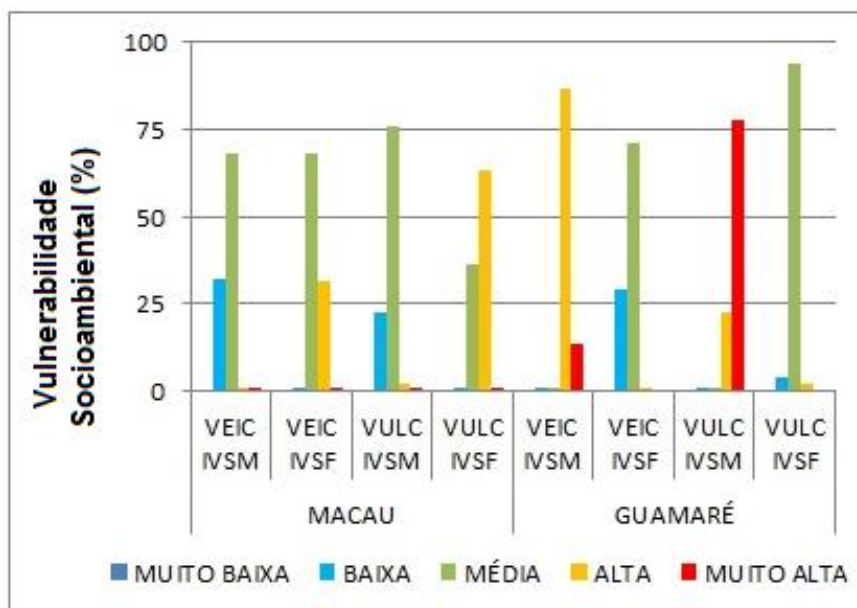


Figura 5.22: Classes de vulnerabilidade socioambiental para os municípios de Macau e Guamaré/RN.

Guamaré foi mais vulnerável que Macau em três dos quatro índices de vulnerabilidade socioambiental estudados. Isto era de se esperar, uma vez que as análises tanto de socioeconomia quanto de vulnerabilidade física apontaram Guamaré como o mais vulnerável dentre os dois municípios. Esse resultado deveria soar como uma alerta para gestores públicos re-planejarem suas ações de gestão. E este limite tão abrupto na vulnerabilidade socioambiental entre Macau e Guamaré foi devido aos resultados de vulnerabilidade socioeconômica serem extremos opostos entre estes municípios (Figura 5.21).

#### 5.4.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA

Em Salinópolis, os índices VNMM-IVSM, VNMM-IVSF e VR-IVSF apresentaram maior proporção na classe alta vulnerabilidade, correspondendo a quase 61% para o primeiro e quase 76% para os outros dois. Já o índice VR-IVSM foi o único que apresentou maior proporção na classe média vulnerabilidade (~54%), seguida pela classe alta vulnerabilidade (~46%) (Figura 5.23 e 5.24).

O cálculo de vulnerabilidade socioambiental evidenciou as regiões de maior vulnerabilidade de acordo com cada mapa que o compôs, chegando mesmo a excluir ou diminuir as classes de muito baixa e baixa vulnerabilidade. Esta consideração é importante por demonstrar a importância da gestão equilibrada tanto do meio ambiente físico quanto

do meio social que dele se beneficiam. A má gestão ou uma gestão que só contemple uma das variáveis refletirá em resultados negativos para a outra.

Também chama a atenção o fato de municípios com alto valor adicionado ao PIB pelo setor industrial e que recebem *royalties* da indústria petrolífera, como é o caso de Macau e Guamaré, terem sido classificados segundo alguns dos índices como em maior vulnerabilidade socioambiental que Salinópolis, município cuja economia está pautada no setor de comércio e turismo.

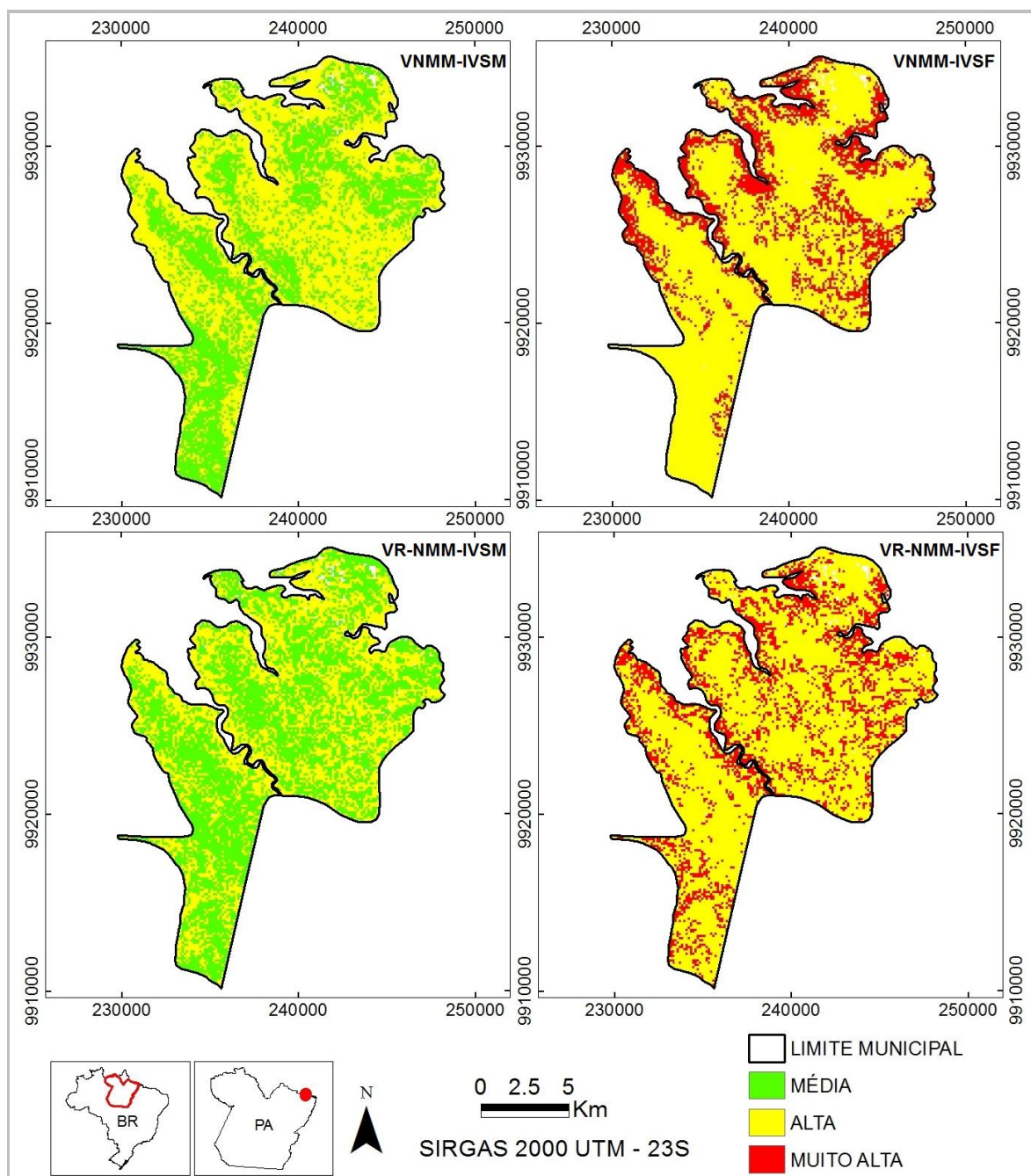


Figura 5.23: Mapas de vulnerabilidade socioambiental de Salinópolis/PA.

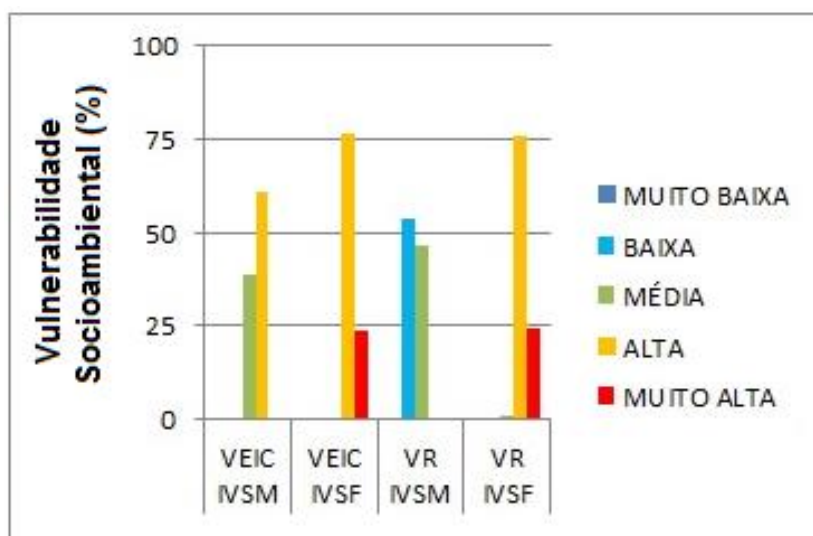


Figura 5.24: Classes de vulnerabilidade socioambiental para o município de Salinópolis/PA.

## 5.5. Análise de Área Inundável

### 5.5.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN

A área total sujeita à inundação em Macau correspondeu a pouco mais de 100 Km<sup>2</sup>, ou menos de 13% da área total do município. A sede de Macau encontra-se a cerca de 4 m acima do NMM atual (Figura 5.25). A área inundável à até 1 m e à até 2m de elevação relativa do NMM foi de 13 Km<sup>2</sup> e 14 Km<sup>2</sup> respectivamente, o que correspondeu a menos de 2% da área total. A projeção de inundação para uma elevação superior a 2 m do NMM foi de aproximadamente 74 Km<sup>2</sup>, correspondente a menos de 10% da área total do município (Figura 5.26 e 5.27).



Figura 5.25: Sede municipal de Macau (ponto vermelho) margeada pelo rio Piranhas-Assu e por salinicultura/carcinicultura. Fonte Imagens: Landsat 8 e Google Earth.

No município de Guimarães, cuja sede está a 3 m do NMM atual (Figura 5.28), a área inundável total foi de cerca de 20 Km<sup>2</sup>, correspondendo a menos de 8% da área total do município (Figura 5.26). Deste total, 2,2 Km<sup>2</sup> correspondeu à inundação por elevação relativa de até 1 m do NMM. Outros 3,15 Km<sup>2</sup> corresponderam à área inundável a até 2 m de elevação relativa do NMM, enquanto que para uma elevação relativa acima de 2 m projetou-se uma inundação aproximada de 14 Km<sup>2</sup> (Figura 5.27).

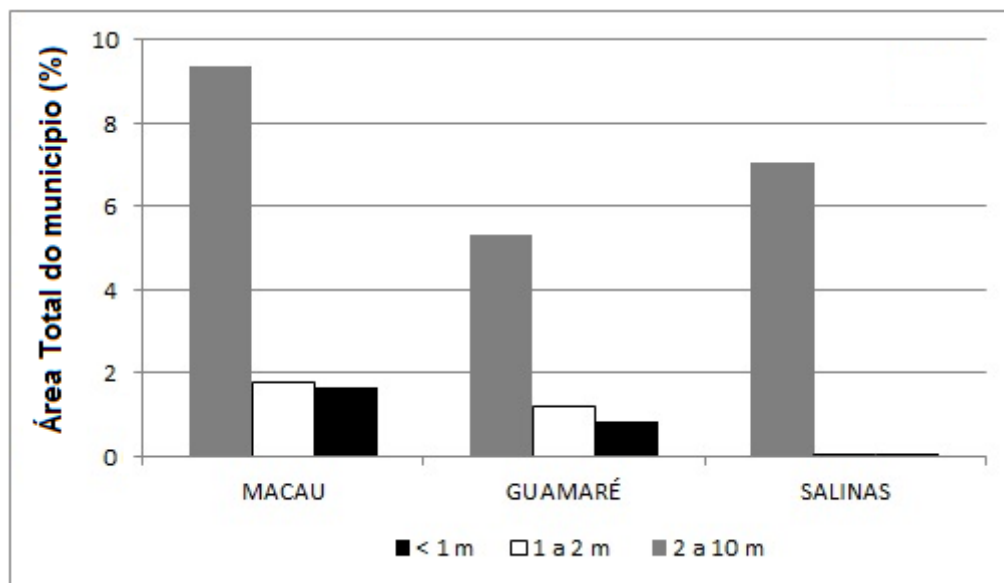


Figura 5.26: Projeção de área inundável a 1m, 2m e 10m de elevação do nível médio do mar em proporção para a área total de cada município.

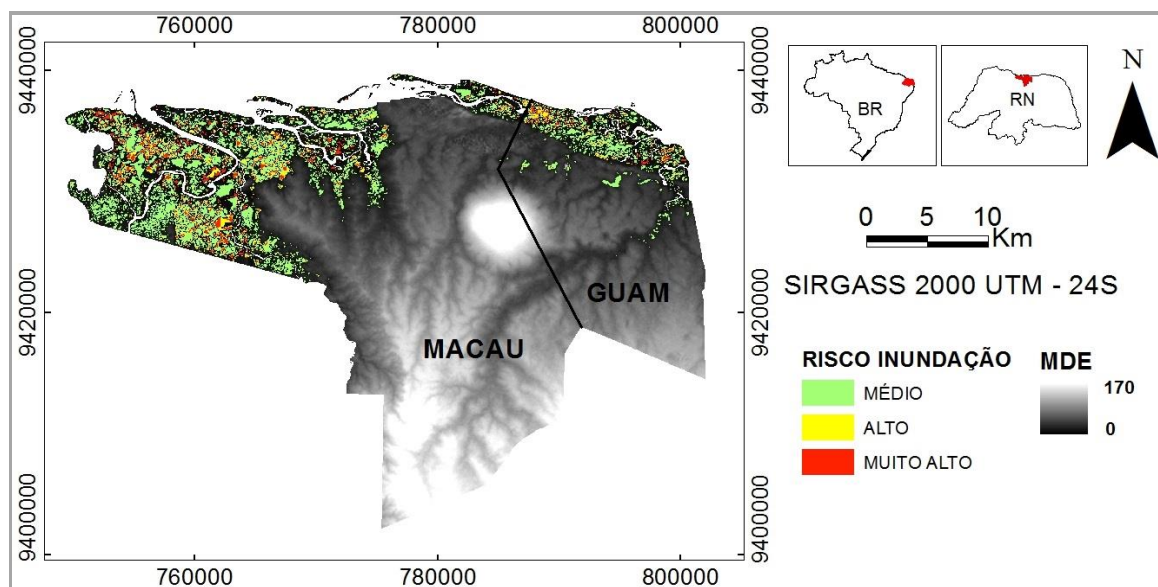


Figura 5.27: Mapa da Área Inundável para os municípios de Macau e Guamaré/RN.



Figura 5.28: Sede municipal de Guamaré (ponto vermelho), entre rios Aratuá e Miassaba. Fonte Imagens: Landsat 8 e Google Earth.

Apesar de corresponderem a pequenas áreas do total dos municípios, a ocorrência de tais inundações permanentes resultarão em danos ambientais e socioeconômicos, conforme pode ser visto na análise de criticidade de gestão ao risco de inundação (item 6.5.3). Ressalta-se que as projeções dos caminhos representativos de concentração (RCP) não levaram em conta eventos extremos de pluviosidade e elevação de maré. Tanto desastres ambientais quanto urbanos já ocorrem mais intensamente em zonas costeiras de baixa altitude, porém, mudanças climáticas irão ampliar os riscos sócio-ambientais nessas regiões (MCGRANAHAN; ANDERSON, 2007).

A ocupação sem planejamento ao longo de leitos de rios e da linha de costa torna a população vulnerável a riscos por inundações sazonais extremas. Os municípios de Macau e Guamaré estão sujeitos à mesomarsés semidiurnas de até 3 m de amplitude. Estas amplitudes se referem ao NMM atual, baseado no Porto de Imbituba, Santa Catarina (BNDO, 2014). De modo que as maiores marés causam inundações acima do NMM atual de até 1,5m em Macau e Guamaré (Figura 5.29). Quando as maiores amplitudes de maré ocorrem conjuntamente com eventos extremos climáticos de ventos e chuvas há os fenômenos de inundações extremas, que já vem causando problemas e perdas financeiras e socioeconômicas nos três municípios.



Figura 5.29: Comunidade de Diogo Lopes/Macau. Perspectiva na maré baixa (a) e (c) e na maré alta (b) e (d). Fonte: GEOPRO (novembro 2014).

Como exemplo, dos desastres naturais causados por inundação gradual temporária no Rio Grande do Norte entre os anos de 1991 e 2010, o município de Macau foi o de maior número de afetados, cerca de 54 mil pessoas ou 18,4% do total do estado. Comparado ao número de habitantes daquele período, de aproximadamente 29 mil pessoas, estes números indicam que muitos habitantes foram afetados mais de uma vez. Houve perdas materiais, porém não perdas de vidas. Além de três desastres por inundação gradual (anos 2006, 2008 e 2009), Macau já sofreu um desastre por inundação brusca no ano de 2004 (UFSC, 2011).

Fenômenos climáticos na Região Nordeste que ocorreram no final de 2003 e início de 2004 influenciaram a inundação de 2004 em Macau (INMET, 2014). No mês de janeiro de 2004, que registrou o maior número de ocorrências de inundações graduais no Rio Grande do Norte, as chuvas intensas que ocorreram em toda a Região Nordeste foram devidas ao deslocamento de frentes frias para o norte, deslocamento ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à presença de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) sobre o Oceano Atlântico (UFSC, 2011).

A primeira sede municipal de Macau estava localizada na ilha de Manoel Gonçalves, a noroeste da atual Ponta do Tubarão. Porém, em meados de 1820 os primeiros habitantes tiveram que deixar a ilha em virtude do avanço das águas do mar, sendo a sede depois totalmente inundada pelo mar (MACAU, 2016). Este fato indica que riscos costeiros há muito acarretam danos socioeconômicos neste município.

Embora, segundo o Atlas de Desastres Naturais, não tenha havido eventos de inundação gradual nem brusca no município de Guamaré entre os anos de 1991 a 2010 (UFSC, 2011), estes sofrem sazonalmente inundações maiores provocadas por amplitude máxima de maré (BNDO, 2014), conjugada com fenômenos climáticos.

### 5.5.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA

Em Salinópolis projetou-se uma área inundável total de quase 14 Km<sup>2</sup>, porém mais de 99% desta área correspondeu a uma inundação por elevação relativa do NMM superior a 2 m. Apenas aproximadamente 63 mil m<sup>2</sup> e 21 mil m<sup>2</sup> corresponderam à inundação por elevação relativa de até 1 m e até 2 m do NMM (Figura 5.26 e Figura 5.30). Mas Salinópolis está sob o regime de macromarés semidiurnas, com amplitude máxima de 5,8 m (BNDO, 2014). De modo que as maiores marés causam inundações temporárias acima do NMM atual de até cerca de 3 m em Salinópolis (Figura 5.31).

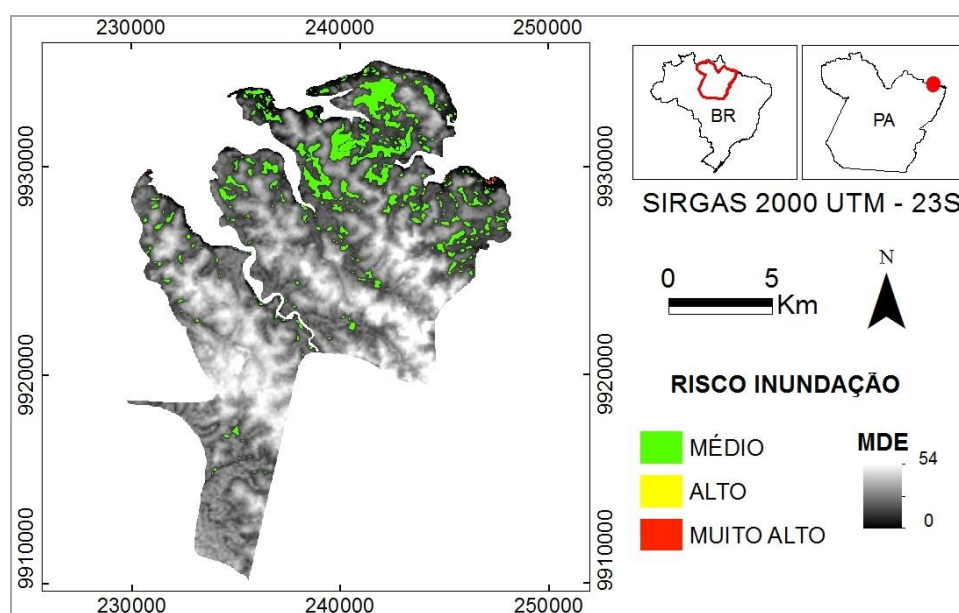


Figura 5.30: Mapa da Área Inundável para o município de Salinópolis/PA.

Embora não tenha ocorrido inundação gradual ou brusca de 1991 a 2010 em Salinópolis (UFSC, 2011), eventos extremos de inundação e erosão costeira ocorrem durante as famosas marés de março, que são as marés equinociais de sizígia, portanto, de maiores amplitude e energia (Figura 5.31). Este período coincide com o período chuvoso em Salinópolis, confluindo para inundações mais intensificadas (Figura 5.31). Tanto assim que muitos proprietários de casas de segundas-residências alocadas na praia do Atalaia se preparam para visitar estas moradias após as maiores marés neste período para reconhecimento dos danos causados nas casas e nas obras de contenção à erosão (BUSMAN *et al.*, 2005a).



Figura 5.31: Maré alta incidindo sobre obras de contenção à erosão na praia do Atalaia, Salinópolis/PA durante (a) período chuvoso (abril de 2012) e (b) período seco (novembro 2014).

Por isso, mesmo considerando que o cenário mais pessimista de elevação relativa do NMM seja de aproximadamente 1 m (RCP 8,5) para o ano 2100, esta área será referente à inundação permanente. De modo que as áreas sujeitas a inundações temporárias provocadas por flutuações sazonais de maré e por eventos extremos climáticos, como fortes tempestades, as quais podem amplificar o efeito das alturas significativas de ondas e da amplitude de maré, provavelmente serão superiores a 1 ou mesmo 2 m. Além disso, é muito provável que a taxa de aumento global do NMM durante o século 21 seja superior à taxa observada durante as décadas de 1971-2010 para todos cenários RCPs devido ao aumento no aquecimento dos oceanos e a perda de massa das geleiras e camadas de gelo (IPCC, 2014), aumentando com isso a superfície de inundação permanente e temporária.

## 5.6. Risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do Nível Médio do Mar

### 5.6.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN

Para as áreas vulneráveis sujeitas à inundação em todos os três municípios só foram observadas as classes de Muito Alto, Alto e Médio risco. Em Macau, as análises de risco que envolveram o índice de vulnerabilidade socioeconômica IVSM apresentaram quase que exclusivamente as classes Médio e Alto risco, com proporção muito similar de distribuição, sendo cerca de 80% para a classe de Médio e cerca de 20% para a classe de Alto risco (Figura 5.32 e 5.33).

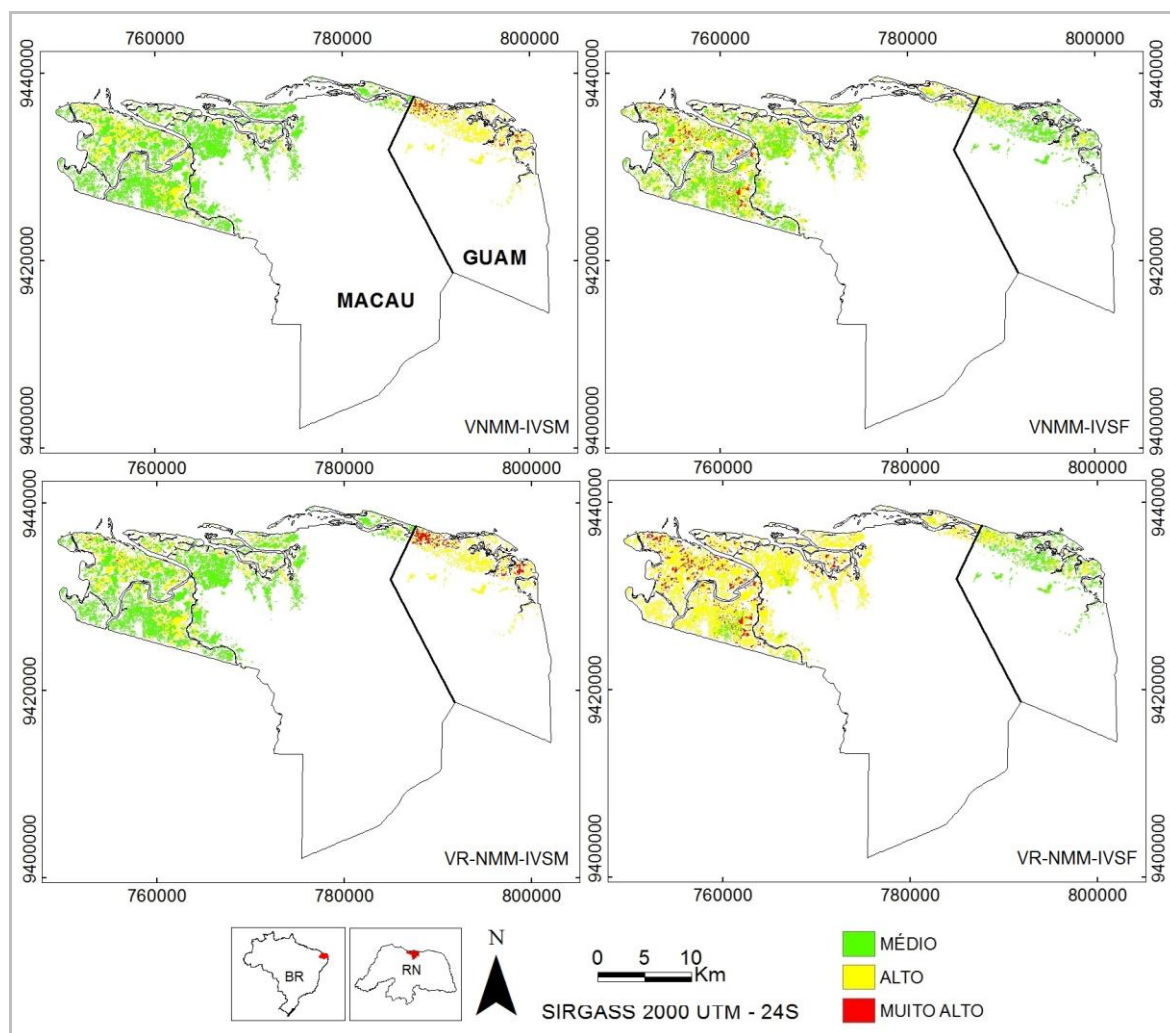


Figura 5.32: Mapas de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar para os municípios de Macau e Guamaré/RN.

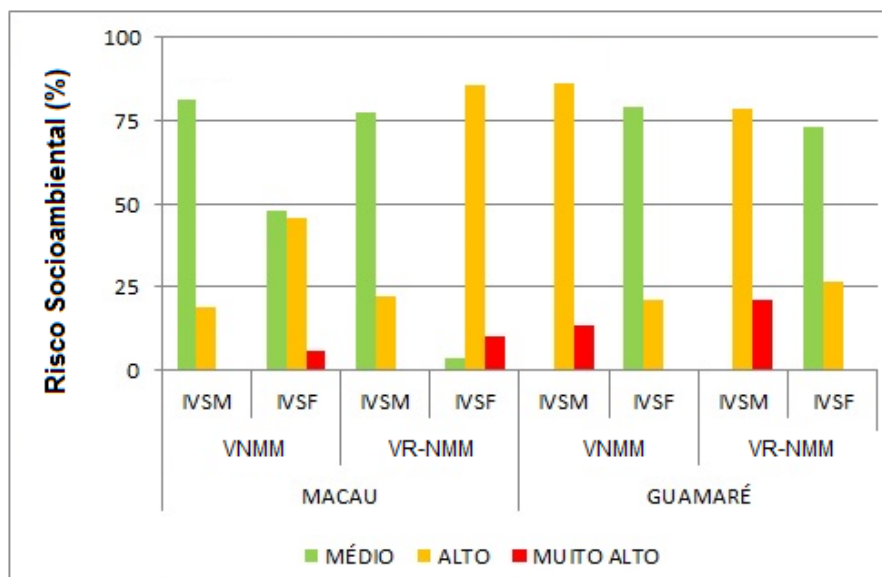


Figura 5.33: Classes de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar para os municípios de Macau e Guamaré/RN.

Enquanto a classe de Muito alto risco apresentou menos de 1 Km<sup>2</sup> para estes índices, as classes Alto e Médio risco corresponderam à 17,3 Km<sup>2</sup> e 74 Km<sup>2</sup>, respectivamente, no índice VNMM-IVSM e à 20,2 Km<sup>2</sup> e 70,5 Km<sup>2</sup>, respectivamente, no índice VR-NMM-IVSM (Tabela 5.10). Nos mapas destes índices em Macau é possível observar apenas as classes de médio e alto risco, em verde e amarelo, respectivamente (Figura 5.32). O índice de análise de risco mais otimista foi o VNMM-IVSM para Macau.

Já as análises que envolveram o índice de vulnerabilidade socioeconômica IVSF apresentaram resultados bem diferenciados entre si (Figura 5.32). No índice VNMM-IVSF, as classes de Muito Alto, Alto e Médio risco foram de aproximadamente 6% (5,6 Km<sup>2</sup>), 46% (41,6 Km<sup>2</sup>) e 48% (43,5 Km<sup>2</sup>). No índice VR-NMM-IVSF estas mesmas classes foram de aproximadamente 10% (9,3 Km<sup>2</sup>), 86% (78,2 Km<sup>2</sup>) e 4% (3,6 Km<sup>2</sup>), respectivamente, sendo este índice o que apresentou resultado mais pessimista de risco para Macau. Nos mapas destes índices é possível observar as classes de médio (em verde), alto (em amarelo) e muito alto risco (em vermelho), sendo que apenas no mapa do índice VR-NMM-IVSF a classe alto risco domina sobre as demais.

Em Guamaré, houve similaridades na distribuição das classes de risco socioambiental a cenários de inundação entre os índices VNMM-IVSM e VR-NMM-IVSM e VNMM-IVSF e VR-NMM-IVSF. Os índices do tipo IVSM praticamente não apresentaram a classe médio risco (< 4 mil m<sup>2</sup>), por isso nestes mapas se observam apenas as cores amarelo (alto risco) e vermelho (muito alto risco) (Figura 5.32), sendo que as

classes de muito alto risco estão concentradas nas áreas de mais baixa altitude, às proximidades da linha de costa e da margem de rios.

Tabela 5.10: Índices de vulnerabilidade socioambiental aplicados à análise de risco socioambiental e criticidade de gestão ao risco de inundação.

MUNICÍPIO	ÍNDICE	MAPA DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL
MACAU, GUAMARÉ e SALINÓPOLIS	VNMM-IVSM	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) e Mapa de Vulnerabilidade Social baseada no Índice de Vulnerabilidade Social Municipal (IVSM)
MACAU, GUAMARÉ e SALINÓPOLIS	VNMM-IVSF	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VNMM) e Mapa de Vulnerabilidade Social baseada no Índice de Vulnerabilidade Social baseado no Índice Firjan (IVSF)
MACAU e GUAMARÉ	VR-NMM-IVSM	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) e Mapa de Vulnerabilidade Social baseada no Índice de Vulnerabilidade Social Municipal (IVSM)
MACAU e GUAMARÉ	VR-NMM-IVSF	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar (VR-NMM) e Mapa de Vulnerabilidade Social baseada no Índice de Vulnerabilidade Social baseado no Índice Firjan (IVSF)
SALINÓPOLIS	VR-IVSM	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR) e Mapa de Vulnerabilidade Social baseada no Índice de Vulnerabilidade Social Municipal (IVSM)
SALINÓPOLIS	VR-IVSF	Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental resultante da álgebra entre os mapas Vulnerabilidade Ambiental Relativa (VR) e Mapa de Vulnerabilidade Social baseada no Índice de Vulnerabilidade Social baseado no Índice Firjan (IVSF)

As proporções foram de 13,6% (2,3 Km<sup>2</sup>) e 86,4% (14,5 Km<sup>2</sup>) para a classe Muito alto e Alto risco, respectivamente, no índice VNMM-IVSM e de 21,3% (3,6 Km<sup>2</sup>) e 78,6% (13,2 Km<sup>2</sup>) para a classe Muito alto e Alto risco, respectivamente, no índice VR-NMM-IVSM. Dentre todos os índices de análise de risco, este foi o que apresentou o cenário mais pessimista para Guamaré.

Já dentre os índices do tipo IVSF, apenas o VR-NMM-IVSF apresentou classe Muito Alto risco e mesmo assim foi de 0,2% da área total, equivalente a 33 mil m<sup>2</sup> (Figura 5.32). A distribuição das classes de Alto e Médio risco foi de 21% (3,5 Km<sup>2</sup>) e 79% (13,3 Km<sup>2</sup>) para o índice VNMM-IVSF e de 26,9% (4,5 Km<sup>2</sup>) e 72,9% (12,3 Km<sup>2</sup>) para o índice VR-NMM-IVSF, respectivamente. Portanto, o índice VNMM-IVSF foi o de cenário mais otimista para Guamaré.

### 5.6.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA

No município de Salinópolis, todos os índices apresentaram a classe alto risco em proporção predominante, de quase 100%. A exceção foi do índice VR-IVSM, em que mesmo sendo esta a classe em maior distribuição, ela correspondeu a menos de 56% da área total do município, sendo este o cenário mais otimista de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar (Figura 5.34 e 5.35).

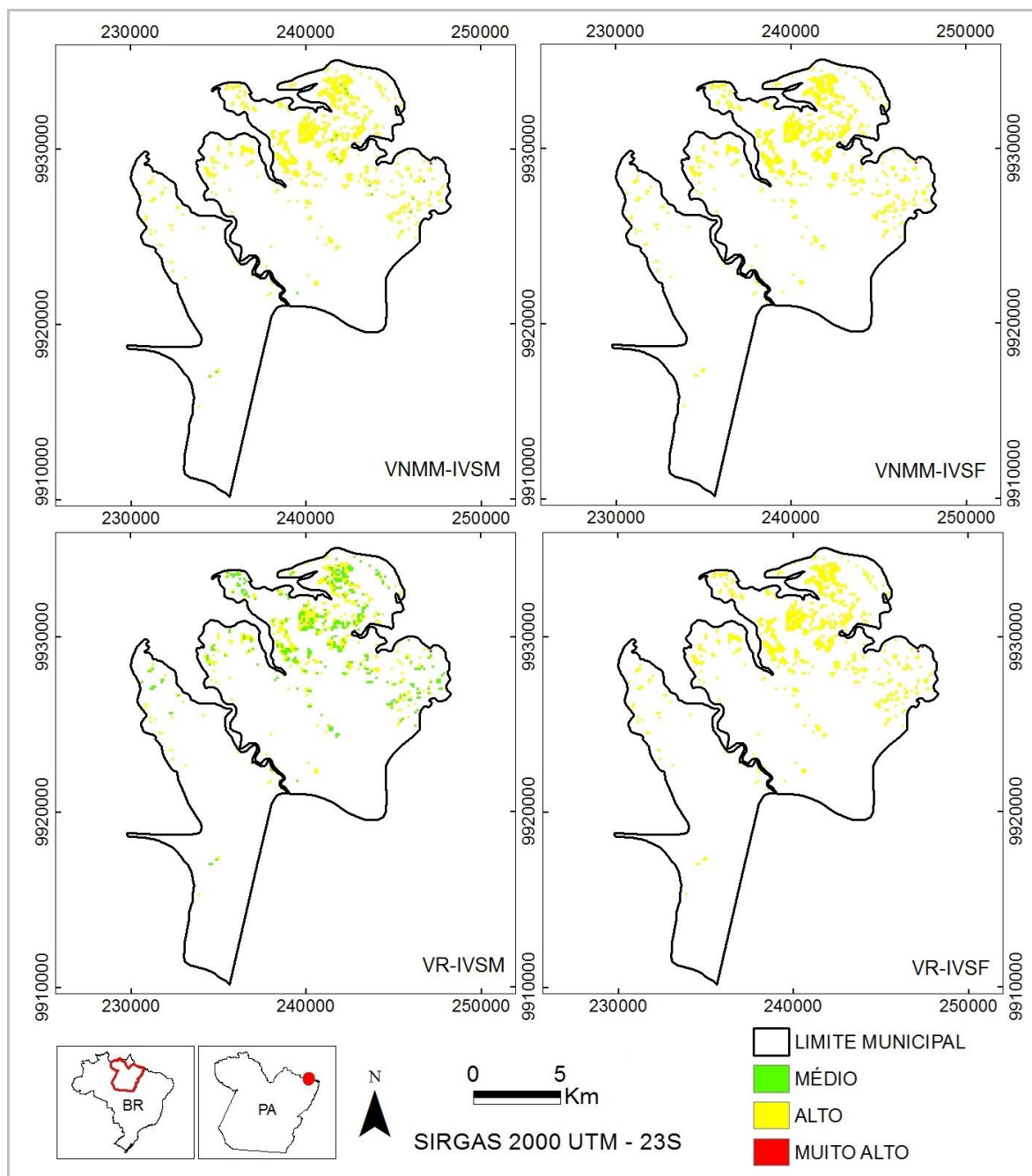


Figura 5.34: Mapa de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar para o município de Salinópolis/PA.

No índice VNMM-IVSM, a área em muito alto risco foi de 0,2% (~21 mil m<sup>2</sup>), em alto risco foi aproximadamente 98% (11 Km<sup>2</sup>) e em médio risco foi de quase 2% (200 mil m<sup>2</sup>) (Figura 5.34). Nos índices VNMM-IVSF e VR-IVSF a proporção da classe muito alto risco foi de 0,2% (~21 mil m<sup>2</sup>) e da classe alto risco foi de 99,8% (11,3Km<sup>2</sup>), não sendo observada a classe médio risco, sendo estes dois índices os que apresentaram cenário mais pessimista quanto ao risco de inundação em Salinópolis. O índice VR-IVSM apresentou 0,1% (~10 mil m<sup>2</sup>), 55,9% (6,2 Km<sup>2</sup>) e 44% (4,8 Km<sup>2</sup>) das classes muito alto, alto e médio risco, respectivamente (Figura 5.35).

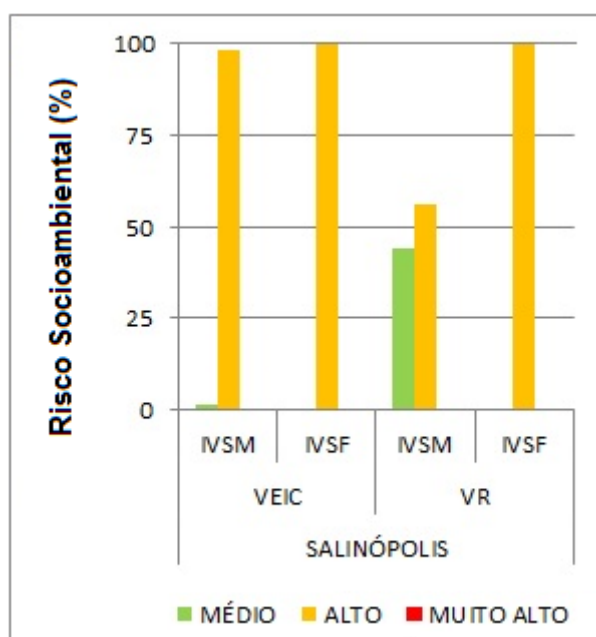


Figura 5.35: Classes de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do nível médio do mar para o município de Salinópolis/PA.

## 5.7. Criticidade de gestão ao risco de inundação

### 5.7.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN

Com o fim de melhor comparação e compreensão entre os resultados de criticidade, apenas os resultados dos índices de risco socioambiental a cenários de inundação por aumento relativo do NMM mais otimista e mais pessimista estão discutidos abaixo. Em Macau, cerca de 90 Km<sup>2</sup> do município estão em risco de inundação médio à muito alto no ano 2100 (Figura 5.36). O índice VNMM-IVSM, de cenário de risco mais otimista, apresentou cerca de 80% dos tipos de vegetação e uso do solo na classe média criticidade (médio risco socioambiental a cenários de inundação) e 20% na de alta criticidade (sujeitos

à alto risco). No índice mais pessimista (VR-NMM-IVSF) apenas cerca de 4% foram classificados como de média criticidade e aproximadamente 86% e 10% foram classificados como de alta e muito alta criticidade, respectivamente.

Neste município, os tipos de vegetação e uso do solo em maior risco de inundação ao aumento relativo do NMM de 1, 2 e 10 m são a zona urbana, indústria do petróleo, mangue salinicultura, carcinicultura e solo exposto. Sendo que dependendo do índice de análise de risco utilizado, estes apresentaram maior ou menor proporção de médio à alto risco (Figura 5.36).

A maior criticidade foi na zona urbana de Macau, localizada a cerca de 4 m de altitude (MACAU, 2016). No índice mais otimista de risco (VNMM-IVSM) 1,2 Km<sup>2</sup> da cidade estará em risco médio de inundação, mais de 30% da área atual. Enquanto no índice mais pessimista VR-NMM-IVSF esta mesma área está em risco alto de inundação e apenas 2,4 mil m<sup>2</sup> estará sob muito alto risco. No caso dessa projeção se confirmar, além de perda material, cultural e socioeconômica (GERMANI *et al.*, 2015) haverá deslocamento forçado de centenas a milhares de pessoas, que precisarão abandonar casas, comércios, escolas e demais infraestruturas nas áreas inundadas, algo que já vem acontecendo ou é esperado em outras regiões do mundo (NICHOLLS *et al.*, 2011).

Apenas considerando a população e a densidade urbana atual, este número corresponderia a quase 6,6 mil habitantes sob o risco real de se tornarem refugiados ambientais até 2100. Se considerada a taxa de crescimento populacional médio dos três últimos censos, este número pode ser de 64 mil pessoas afetadas, aproximadamente. Levando-se em conta apenas metade desta estimativa, a fim de dirimir prováveis erros de projeção, uma vez que os dados de população são referentes a 30 anos (censos 1991 a 2010) e a projeção de população é referente aos próximos 90 anos, ainda assim poderão ser afetadas mais de 30 mil pessoas em Macau. Em 2004, um desastre natural em virtude de inundação gradual afetou um número quase duas vezes maior que a população total de Macau à época, portanto, esta projeção de pessoas afetadas em 2100 é razoável (UFSC, 2011).

As instalações da Petrobras estarão sujeitas a médio e alto risco. No índice mais otimista, quase 8 mil m<sup>2</sup> estarão sob médio risco, enquanto no índice mais pessimista 9 mil Km<sup>2</sup> estarão em alto risco de inundação. Como estas instalações são de produção ou escoamento, em caso de inundação existe o risco potencial de acidentes, com derrame de óleo ou outros produtos químicos (RODRIGUES; SZLAFSZTEIN, 2013).

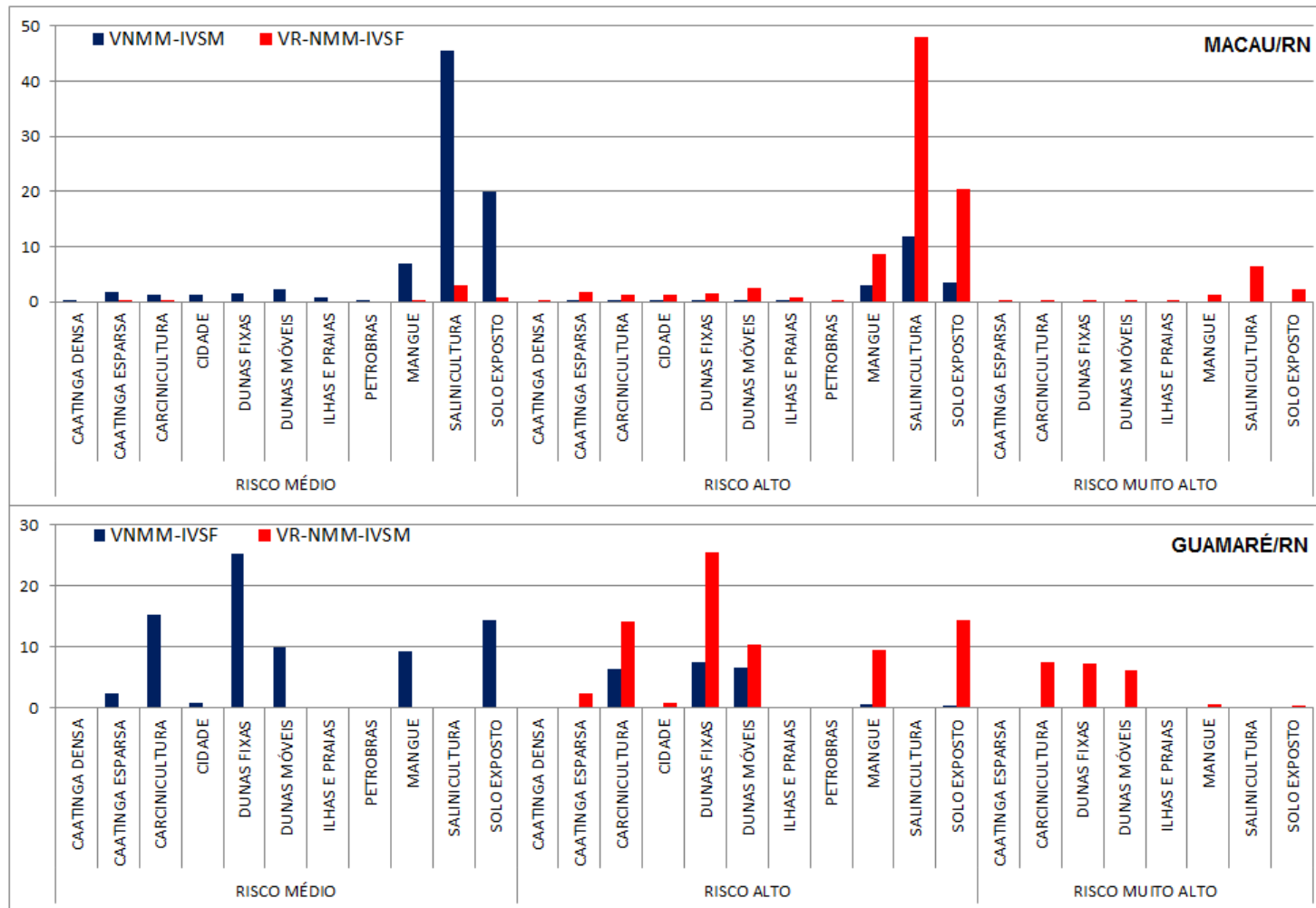


Figura 5.36: Criticidade da Vegetação e Uso do Solo frente ao risco de inundação para os municípios de Macau e Guamaré/RN. Em azul e vermelho estão os índices mais otimista e mais pessimista, respectivamente. Valores das áreas em proporção de cada município.

Estes riscos potenciais a cenários futuros não ocorrerão de modo abrupto, antes amplificarão também os efeitos atuais decorrentes da forte dinâmica sedimentar a que muitas instalações petrolíferas estão submetidas no litoral de Macau, ou ainda aumentarão a ocorrência de eventos extremos na costa. Perdas financeiras em virtude desta dinâmica ocorrem há algum tempo nas instalações de petróleo situadas no litoral de Macau.

Como exemplo, em 2006 a abertura de um canal de maré, que transformou uma barra arenosa em ilha, provocou o abandono urgente do poço avançado 7SER13DRNS da Petrobras, instalado apenas dois anos antes há cerca de 40 m da LC e hoje já completamente destruído pela dinâmica meteo-oceanográfica (NASCIMENTO, 2009; SOUTO, 2009). Tais prejuízos podem ter sido na ordem de milhões ou mesmo bilhões de dólares. Na atualidade ocorrem constantes reparos em enrocamentos ao longo das estradas que levam aos campos petrolíferos litorâneos ou mesmo no entorno de tais instalações, como pode ser visto com maior detalhamento no capítulo 7, sobre Vulnerabilidade Costeira.

Para a vegetação de mangue em Macau (39,7 km<sup>2</sup>), a área inundável de alto e médio risco abrangerá 7% (2,7 Km<sup>2</sup>) e 16% (6,4 Km<sup>2</sup>) de sua área total no cenário mais otimista, não havendo projeção de risco muito alto. O índice mais pessimista VR-NMM-IVSF projetou uma inundação de muito alto risco em 2,7% (1,1 Km<sup>2</sup>) do manguezal, bem como uma projeção de alto risco em 8,7% (~8 Km<sup>2</sup>) e de quase 0,1% de médio Risco socioambiental a cenários de inundação.

Considerando que o ecossistema manguezal apresenta valor de existência e valor de uso direto e indireto em virtude de seus serviços ecossistêmicos (CONSTANZA *et al.*, 1997; CASTRO *et al.*, 2010; PASSARELI 2013; CONSTANZA *et al.*, 2014), a valoração dessa área inundável é importante para melhor compreensão das perdas envolvidas, embora tal valoração não tenha sido o enfoque desta pesquisa.

Castro *et al.* (2010) valoraram o uso direto do manguezal da Foz do rio Jaguaribe/CE por meio da Metodologia de Valoração de Contingente (MVC) em US\$ 5657,7 ha/ano. Passareli (2013) valorou o manguezal do estuário Paraíba do Sul/RJ na ordem de US\$ 7.418/ha/ano pelo método Disposição A Pagar (DAP), adaptado de Constanza *et al.* (1997). Constanza *et al.* (2014) reanalisaram a valoração do manguezal global na ordem de US\$ 193.843/ha/ano. De modo que as perdas mínima e máxima para o ano 2100 de acordo com as projeções de área inundável e das valorações supracitadas foram estimadas em um mínimo de US\$ 1,13 milhão a um máximo de US\$ 174 milhões.

Os dados de valoração apresentados na tabela 5.11 foram calculados a partir dos dados encontrados por estes autores, sobre as áreas de vegetação de mangue obtidas no cálculo de área inundável.

Tabela 5.11: Valoração do ecossistema manguezal em risco de inundação até o ano 2100 para os municípios de Macau e Guamaré/RN e Salinópolis/PA.

PERDA		ÁREA (Km <sup>2</sup> )	CASTRO <i>et al.</i> , 2010	PASSARELI 2013	CONSTANZA <i>et al.</i> , 2014
MACAU	MÍNIMA	2 (200 ha)	US\$ 1.131.540,00	US\$ 1.483.600,00	US\$ 38.768.600,00
	MÁXIMA	9 (900 ha)	US\$ 5.091.930,00	US\$ 6.676.200,00	US\$ 174.458.700,00
GUAMARÉ	MÍNIMA	0,05 (5 ha)	US\$ 28.288,005	US\$ 37.090,00	US\$ 969.215,00
	MÁXIMA	1,64 (164 ha)	US\$ 927.862,80	US\$ 1.216.552,00	US\$ 31.790.252,00
SALINÓPOLIS	MÍNIMA	(0,22 ha)	US\$ 1.244,7	US\$ 1.632,00	US\$ 42.645,5
	MÁXIMA	5,7 (570 ha)	US\$ 3.224.889,00	US\$ 4.228.260,00	US\$ 110.490.510,00

A salinicultura é uma das principais atividades econômicas do município de Macau e abrange uma área de cerca de 100 km<sup>2</sup>. No índice mais otimista (VNMM-IVSM) não foi observada área de salinicultura sujeita à alto risco de inundação, porém 11,8% (10,7 Km<sup>2</sup>) desta atividade estarão sob alto risco e outros 42,6% (41,5 Km<sup>2</sup>) sob médio risco de inundação (Figura 5.36). No índice mais pessimista VR-NMM-IVSF quase 6 % (~6 Km<sup>2</sup>) da área de salinicultura estará sujeita à muito alto risco de inundação, quase 45% (43,6 Km<sup>2</sup>) à alto risco e 3% (2,6 Km<sup>2</sup>) à médio risco, ou seja, aproximadamente 55% desta atividade está em risco para uma inundação de até 2 m do NMM atual.

A Carcinicultura apresentou cerca de 1 Km<sup>2</sup> de perda máxima em área para uma inundação de alto risco no índice VR-NMM-IVSF e para uma inundação de médio risco nos índices VNMM-IVSM e VR-NMM-IVSM, correspondendo a menos de 1,5% da área total do município de Macau. Porém, esta perda é significativa por corresponder à quase metade (46%) da área total de carcinicultura deste município, sendo que esta é uma das atividades econômicas que mais gera dividendos para Macau.

Para a classe solo exposto (~200 Km<sup>2</sup>), a perda de área foi inferior a 25% em todos os índices testados. O índice VNMM-IVSM projetou quase 18 Km<sup>2</sup> em médio risco de inundação, enquanto que no índice VR-NMM-IVSF esta mesma área foi classificada como em alto risco. Embora o solo exposto em si não sofra danos por inundação, este refere-se por vezes a áreas cultiváveis e, portanto, a inundação permanente desta área pode acarretar

em perdas na agricultura, não apenas socioeconômicas, como também de alimento para a população local e para consumidores externos (Figura 5.36).

Ao se analisar a criticidade de Risco socioambiental a cenários de inundação em Guamaré, notou-se que as áreas de zona urbana, indústria de petróleo, carcinicultura e salinicultura estão entre as mais críticas. No índice mais otimista (VNMM-IVSF), projetou-se uma inundação de médio risco na zona urbana de Guamaré que afetará 13% (130 mil m<sup>2</sup>) da área total da sede. No índice mais pessimista (VR-NMM-IVSM), esta mesma área foi projetada como sob alto risco de inundação. Corresponderia a cerca de 550 pessoas afetadas considerando a população local.

Mas, fazendo uma estimativa para a população em 2100, tendo como base a taxa de crescimento populacional médio dos três últimos censos, mais de 11 mil pessoas estarão sob risco de inundação. Para que não haja superestimação nesta projeção, considerando apenas meta deste número, ainda assim seriam mais de 5 mil pessoas em situação de risco. Instalações da Petrobras também estarão sujeitas a médio e alto risco. Segundo o índice mais otimista, 1,2% da área total das instalações em Guamaré (30 mil m<sup>2</sup>) estão sob médio risco. Sendo que esta mesma área foi projetada como sob alto risco no cenário mais pessimista.

A área de mangue sob risco de inundação no índice mais otimista corresponderá a cerca de 20% (1,5 Km<sup>2</sup>) do total atual, apenas em risco médio de inundação. Mais 1% estará sujeito à alto risco. Enquanto que no índice mais pessimista, estas mesmas áreas estarão em alto e muito alto risco de inundação, respectivamente. A valoração da perda dos serviços ecossistêmicos para esta área de mangue corresponderão a US\$ 28,3 mil e US\$ 31,8 milhões, perdas substanciais para o meio ambiente e para a sociedade (Tabela 5.11).

Outros riscos em decorrência da perda de mangue serão maiores variações da dinâmica sedimentar, principalmente nas ilhas barreiras de Macau e Guamaré, bem como nas praias e barras arenosas adjacentes. De modo que aumento de erosão pode ser esperado com a perda de áreas de mangue.

Em Guamaré, a perda de carcinicultura e salinicultura no cenário mais otimista para médio risco corresponderam à 24% (2,5 Km<sup>2</sup>) e cerca de 10% (40 mil m<sup>2</sup>) de área, respectivamente. Para a classe alto risco, foram projetadas 10% da área de carcinicultura (1,04 Km<sup>2</sup>) e 4,3% da salinicultura (20 mil m<sup>2</sup>). No índice mais pessimista estas mesmas áreas foram projetadas como sob alto e muito alto Risco socioambiental a cenários de inundação.

Em Macau e Guamaré, as projeções de Risco socioambiental a cenários de inundação são bastante críticas, uma vez estes municípios baseiam suas atividades socioeconômicas principalmente na indústria do petróleo, carcinicultura e produção de sal marinho. Mesmo sendo estas previsões para o ano 2100, medidas de adaptação e/ou mitigação devem ser pensadas desde então a fim de se manter o meio socioambiental sustentável e resiliente se e quando das inundações previstas.

Os resultados dos mapas de risco entre Macau e Guamaré foram inversos. Os mapas mais otimistas e pessimistas foram, respectivamente, VNMM-IVSM e VR-NMM-IVSM para Macau e VNMM-IVSF e VR-NMM-IVSM para Guamaré. Embora tenham similaridades ambientais muito fortes em virtude da proximidade, Guamaré foi o de maior vulnerabilidade física e em todos os diferentes índices testados. O que provocou esta inversão nos resultados dos índices de risco foram os mapas de vulnerabilidade socioeconômica, já que o mapa a partir do Índice Social baseada no Índice Firjan de Desenvolvimento (IVSF) apontou Guamaré como de menor vulnerabilidade socioeconômica, de modo que todos os mapas resultantes deste apresentam resultados mais otimistas para Guamaré e pessimista para Macau.

Isto indica que é necessário cuidado na escolha dos índices de vulnerabilidade e comparações são desejáveis sempre que possível, testando sempre as variáveis e os índices aplicados.

### **5.7.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA**

A maior parte da área sob Risco socioambiental a cenários de inundação em Salinópolis foi projetada como em alta e média criticidade, aproximadamente 56% e 44% da área inundável no índice mais otimista (VR-IVSM) (Figura 5.37). Dentre os tipos de vegetação e uso do solo com maior criticidade estarão a zona urbana e o mangue. No índice mais otimista, projetou-se que 5,2% da sede municipal estarão sob risco médio à inundação, cerca de 800 mil m<sup>2</sup>. E quase 4% estarão sob alto risco (560 mil m<sup>2</sup>). No índice mais pessimista (VR-IVSF), todas as áreas inundáveis foram projetadas na classe alto risco de inundação, compreendendo 9,2% (1,4 Km<sup>2</sup>) da cidade de Salinópolis e 10,4% (5,7 Km<sup>2</sup>) da área do mangue.

Considerando a população e a densidade urbana atual de Salinópolis, cerca de 3 mil pessoas estarão sob risco médio a alto de inundação. Fazendo uma estimativa da população em 2100 com base na média da taxa de crescimento populacional dos três últimos censos,

o prognóstico seria de mais de 120 mil pessoas em risco potencial à inundação. Ainda que se considerasse apenas metade dessa projeção, em virtude de erros inerentes à estimação com poucos dados, quase 65 mil pessoas estariam sob risco socioambiental a cenários de inundação e a consequências como perda de casas, comércio, alimentação, problemas de saúde, entre outros.

Para analisar a criticidade de gestão ao risco de inundação da área de mangue, fez-se a valoração dos serviços ecossistêmicos e os resultados indicaram prejuízos mínimo e máximo de US\$ 1,2 mil a US\$ 110,5 bilhões (Tabela 5.11). Valorar a perda de um recurso objetiva sensibilizar atores sociais e governamentais para a necessidade de conservação dos recursos naturais (SCHAEFFER-NOVELLI; VARJABEDIAN, 2011). Estes valores indicam a perda ecossistêmica que inundações por mudanças climáticas poderão trazer aos sistemas manguezais em estudo.

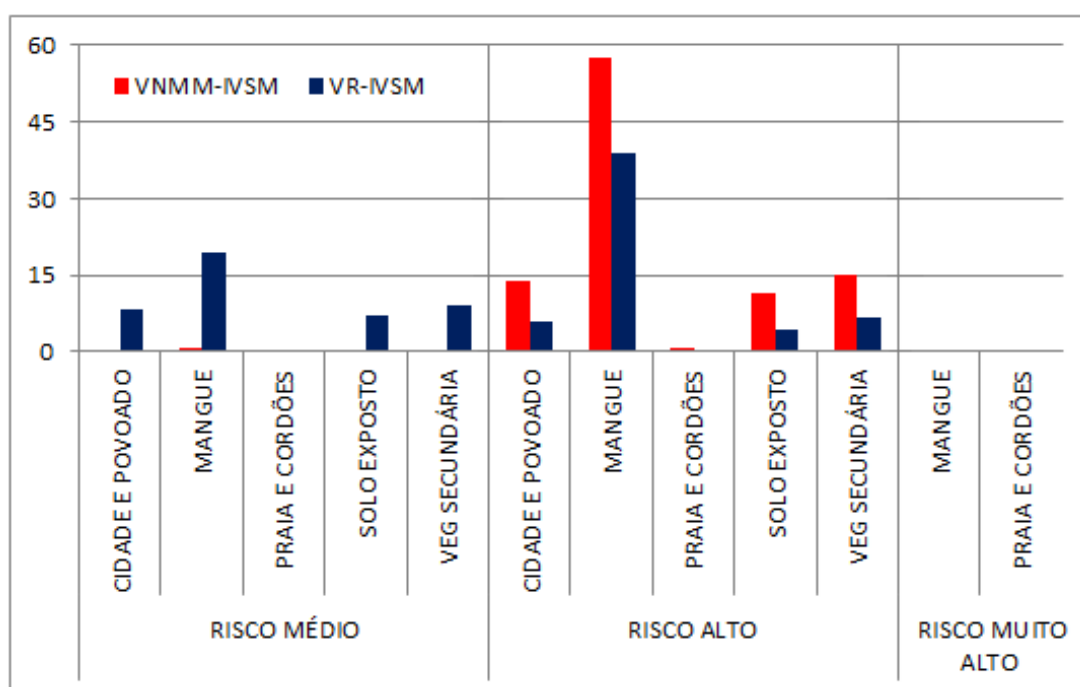


Figura 5.37: Criticidade da Vegetação e Uso do Solo frente ao risco de inundação para o município de Salinópolis/PA. Em azul e vermelho estão os índices mais otimista e mais pessimista, respectivamente. Valores das áreas em proporção da área total do município.

A parte da zona costeira paraense em que está inserido o município de Salinópolis pode ser descrito como um sistema afetado por riscos e impactos naturais, principalmente inundação e erosão, que podem levar a perdas de área, severos danos a propriedades e degradação do ecossistema (SZLAFSZTEIN; STERR, 2007).

Embora não haja indústria petrolífera instalada em Salinópolis, neste município se concentrarão as atividades de exploração e armazenamento de petróleo derivado da Bacia do Pará-Maranhão, bacia de nova fronteira situada na porção central da margem equatorial brasileira, no litoral dos estados do Pará e do Maranhão. A bacia ainda não entrou na etapa de produção, porém em 2013 foram realizadas licitações para outorga de contratos de concessão para exercício das atividades de exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural, em que foram estipulados prazos para o início da exploração (DOU, 2013).

Portanto, este é o melhor momento tanto para os gestores municipais quanto para os tomadores de decisões das indústrias de petróleo e da sociedade em geral realizarem a gestão costeira integrada e compartilhada. Sendo que dentre as medidas devem constar o monitoramento e prognóstico da dinâmica costeira, pensando no zoneamento das atividades em áreas não sujeitas ou em menor risco de estarem sujeitas à inundação e erosão costeira, tanto em face de processos atuais quanto em face de mudanças climáticas.

Para avaliar perdas por inundações em instalações da Petrobras na Ilha Redonda, baía de Guanabara/RJ, Lacerda (2013) estimou prejuízos de no mínimo US\$ 1,4 a no máximo US\$ 24 bilhões para 3 cenários de aumento relativo do NMM (0,8 m, 2,2 m e 5,2 m), com proporções de perdas físicas das instalações de 3% à 48%. Estes resultados foram utilizados para cotação de seguro das instalações. Portanto, o reconhecimento e monitoramento em maior detalhe de potenciais riscos por inundação costeira são de suma importância não só ambiental, como também financeira e socioeconômica, uma vez que perdas industriais de tamanho porte podem se refletir na geração de empregos e na economia local.

De forma a alinhar eficiência ecológica com a de mercado da indústria do petróleo e gás, bem como a segurança dos processos industriais locais, Lacerda (2013) concluiu que é urgente a adoção de medidas estratégicas adaptativas para as mudanças climáticas, como a avaliação de riscos à inundação e eventos extremos, com o fim de antecipar potenciais danos e, desta forma, subsidiar gestões proativas, tornando as instalações petrolíferas resilientes e produtivas até certo nível de submersão.

Nos três municípios, a criticidade de gestão ao risco de inundação dos sistemas de dunas móveis, ilhas, barras e praias arenosas se refere a que, uma vez afetados, sofrerão rearranjo até retornarem ao equilíbrio morfodinâmico, o que pode significar deslocamento de sedimentos, portanto, perda e ganho de áreas litorâneas. Dunas conferem uma proteção natural à erosão e inundação na região litorânea (MENDES *et al.*, 2001, RANIERI; EL-

ROBRINI, 2015), portanto, se o sistema de dunas está em risco, os demais sistemas dependentes deste estarão também. Os riscos de inundação relacionam-se com os riscos climáticos e, igualmente, com riscos de erosão costeira (REBELO, 2003).

A avaliação de risco é de fundamental importância para o planejamento e desenvolvimento das estratégias de redução de desastres. A maior parte dos desastres decorrentes de fenômenos naturais pode ser reduzida, minimizada ou até mesmo evitada, se forem adotadas medidas de prevenção e de disciplinamento do uso e ocupação do solo, sendo os instrumentos legais para as ações de planejamento são os Planos Diretores Municipais, os Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEEs), as Áreas de Proteção Permanentes (APPs), CONAMA e outros. Os mapas de suscetibilidade, de perigo e de risco são os instrumentos técnicos que fornecem subsídios a estas ações (TOMINAGA *et al.*, 2009).

A análise de criticidade de gestão ao risco de inundação identificou quais os tipos de uso e vegetação são mais críticos a cenários de aumento relativo do NMM, quais sejam a zona urbana, manguezal e áreas de atividades socioeconômicas, tais como o turismo em Salinópolis e a indústria do petróleo, salinicultura e carcinicultura em Macau e Guamaré. Sendo estas as atividades que correspondem à base socioeconômica destes municípios.

A área total inundável para o ano 2100 foi projetada em 100 Km<sup>2</sup> da área atual de Macau, 20 Km<sup>2</sup> do município de Guamaré e de 14 Km<sup>2</sup> do município de Salinópolis, portanto, Macau é o município mais vulnerável à inundação. Os riscos e danos corresponderão não apenas a perdas materiais de áreas habitadas e de atividades econômicas, como também danos ambientais e sociais, com o risco potencial de centenas a milhares de pessoas se tornarem desabrigadas nos três municípios, sendo o número mínimo projetado de pessoas afetadas de cerca de 6 mil em Macau, de mais de 550 pessoas em Guamaré e de cerca de 3 mil em Salinópolis, segundo os números atuais de habitantes. E as perdas financeiras pelo valor dos serviços ecossistêmicos de áreas de manguezal podem ser da ordem de milhares a centenas de milhões de dólares.

Tanto desastres ambientais quanto urbanos já ocorrem mais intensamente em zonas costeiras de baixa altitude, porém, mudanças climáticas irão aumentar o risco em ambos. Como exemplo, Macau já vem há anos sendo afetada por inundações temporárias e por erosão da linha de costa. Salinópolis também sofre com o recuo da linha de costa em áreas turísticas. De modo que a análise de risco e criticidade a cenários de elevação relativa do NMM se mostrou uma excelente ferramenta para subsidiar a gestão e disciplinamento

territorial dos municípios estudados, uma vez que permitiu reconhecer as áreas mais vulneráveis e críticas tanto atualmente como em cenários futuros de inundação.

## **5.8. Variação da Linha de Costa – Diagnóstico e Projeção**

### **5.8.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN**

Fazendo uma análise geral da variação da linha de costa (LC) para os municípios de Macau e Guamaré, verificou-se que em 10 anos a LC sofreu variações positivas e negativas que chegaram a taxas de variação de amplitudes de quase 90 e 60 m/ano, respectivamente (Tabela 5.12 e Figura 5.38). Há trechos da LC correspondentes a praias e a barras arenosas e todos sofreram mudanças no posicionamento da linha de costa. As variações nas barras arenosas significaram migração longitudinal como resposta à dinâmica meteo-oceanográfica a que estão submetidas, enquanto que nos demais trechos as variações corresponderam à construção ou erosão de área.

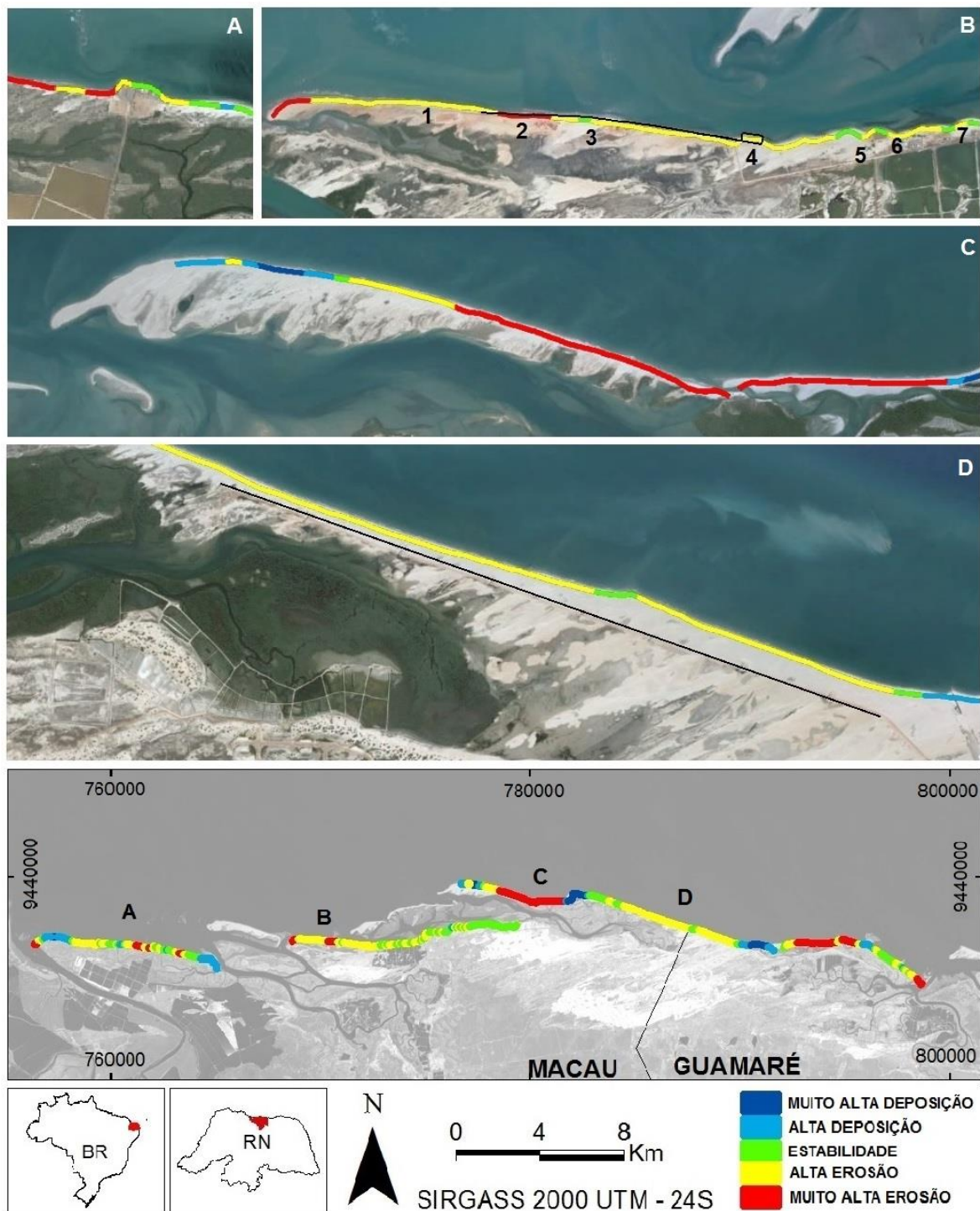


Figura 5.38: Taxas de variação da linha de costa em (m/ano) na (A) Praia de Camapum, (B) Praia de Soledade (em preto estrada e enrocamento e Campos petrolíferos de Macau e Serra (1 a 7) e do parque eólico - Petrobras), (C) Comunidade de Diogo Lopes na região estuarina, (D) Ilha do Fernandez e (E) Praia do Minhoto, trechos de praia entre Macau e Guararé/RN. Imagens A até E: fonte Google Earth.

Tabela 5.12: Estatística descritiva de variação e projeção da linha de costa.

ESTATÍSTICA DESCRITIVA	MACAU			GUAMARÉ			SALINÓPOLIS		
	EPR <sup>1</sup>	NSM <sup>2</sup>	LMS <sup>3</sup>	EPR	NSM	LMS	EPR	NSM	LMS
MÉDIA	-0.8	-7.6	-0.9	-6.4	-64.4	-5.7	-12.3	-122.1	-11.7
MEDIANA	-4.4	-44.3	-4.4	-2.8	-28.5	-2.9	-9.3	-92.3	-9.3
MODO	-3.7	-118.9	-11.2	-2.2	#N/D	-30.3	-7.5	#N/D	-30.3
AMPLITUDE	92.4	931.2	91.5	58.2	586.4	48.7	49.2	488.8	55.6
MÍNIMO	-26.1	-262.7	-27.1	-40.3	-405.8	-30.3	-45.1	-448.6	-51.6
MÁXIMO	66.4	668.6	64.4	17.9	180.6	18.3	4.1	40.3	4.0
SOMA	-220.6	-2222.7	-253.5	-645.1	-6501.1	-572.0	-1350.9	-13435.5	-1291.6

<sup>1</sup>EPR: taxa de variação da LC (m/ano)

<sup>2</sup>NSM: variação da LC (m)

<sup>3</sup>LMS: prognóstico de variação da LC (m/ano)

Em média, a taxa de variação da LC em Macau foi de -0,8 m/ano ( $\pm 2,0$  m/ano, Intervalo de Confiança de 95% - IC 95%), correspondente a uma retração de -7,6 m ( $\pm 19,8$  m). Os valores mediano e modal foram, respectivamente, de -4,4 e +3,7 m/ano. As maiores taxas de variações foram de +66 e -26 m/ano, correspondendo a uma acreção máxima de 670 m e uma erosão máxima de 260 m, aproximadamente, ou cerca de 1 Km de amplitude. Os valores negativos de média, mediana e moda indicam que a LC em Macau está, em maior parte, sofrendo retração referente à erosão costeira. Também evidenciado pelo fato da soma de todos os valores tanto das taxas de variação (EPR e LMS) quanto da variação linear (NMS) serem negativos, confirmando que trechos em retração da linha de costa são superiores aos trechos em acreção (Tabela 5.12).

De fato, 38,5% e 25,8% da costa foi classificada como em alta e muito alta retração, respectivamente (Figura 5.39), significando quase 65% da LC, de 34,2 Km de extensão. Apenas cerca de 20% da LC nesta região está passando por acreção com taxa superior a 2 m/ano. A projeção indica continuação dos processos de retração instaurados na região. Na LC de Macau existem infraestruturas relacionadas a áreas de lazer (calçamentos), indústrias (instalações petrolíferas) e de proteção costeira (enrocamentos). Na praia de Camapum há um enrocamento com cerca de 500 m que está sujeito à variação de alta erosão (Figura 5.38a e 5.40f). Saliniculturas na LC ou há poucos metros da LC e a comunidade litorânea Barreiras também estão sujeitos em parte a altas taxas de retração e parte está em relativa estabilidade (Figura 5.38b).

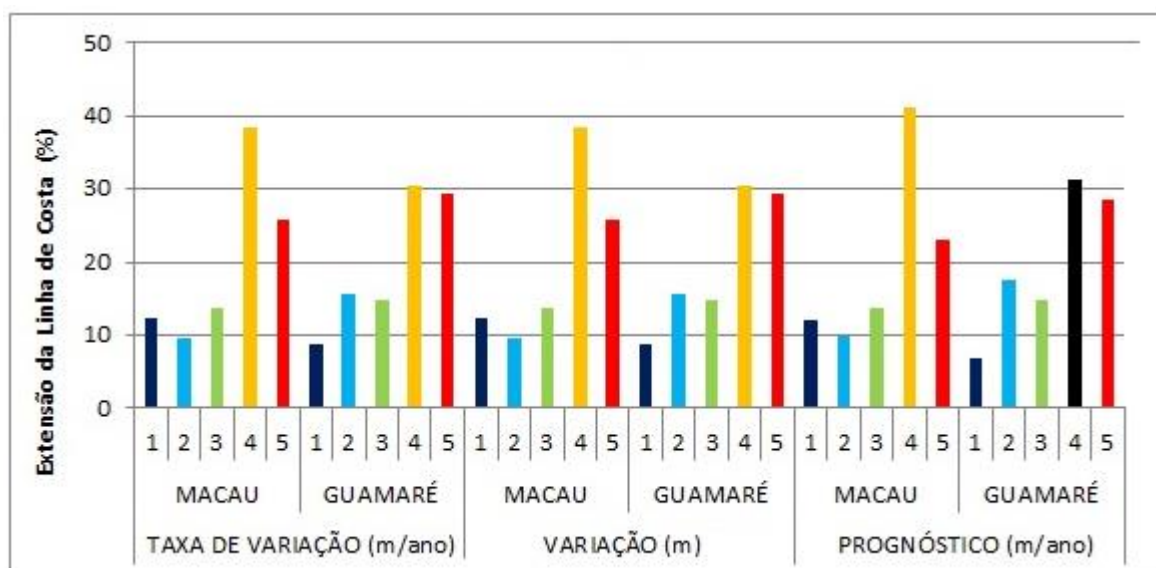


Figura 5.39: Classes de Variação da Linha de Costa para os municípios de Macau e Guararé/RN. (1) muito alta deposição, (2) alta deposição, (3) relativa estabilidade, (4) alta erosão e (5) muito alta erosão.

Enrocamentos foram construídos tanto pela iniciativa privada quanto pelo poder público (Figura 5.38 e 5.40). As instalações da Petrobras foram construídas no ambiente praiar, que é naturalmente muito dinâmico. De modo que há o risco de perdas de área das instalações pela variação multitemporal da LC, tal como já ocorreu no passado (Figura 5.40).

Em 2006, a abertura do canal do arrombado, que separou a barra de Corta Cachorro da praia de Soledade, provocou o abandono urgente do poço avançado (7SER13DRNS) da Petrobras, instalado apenas dois anos antes há cerca de 40 m da LC e hoje já completamente destruído pela dinâmica meteo-oceanográfica (NASCIMENTO, 2009; SOUTO, 2009). Para minimizar estes riscos, a Petrobras construiu enrocamentos ao longo de suas instalações costeiras (Figura 5.38). No entanto, estas mesmas obras já sofreram destruição provocadas pela intensa dinâmica costeira local e ainda são muito vulneráveis a esta (Figura 5.40) (SANTOS, 2011; SANTOS *et al.*, 2015).

Em Guararé, cerca de 60% dos 11,6 Km da costa experimentou retração de alta a muito alta intensidade desde 2005, com valores respectivos de mediana e moda de -2,8 e -2,2 m/ano, sendo a taxa média de -6,4 m/ano ( $\pm 2,8$  m/ano - IC 95%), com amplitude de variação da LC de quase 600 m nos últimos dez anos, correspondendo a retração e acreção máximas de -405 m a +180 m, sendo a média de -64,4 m ( $\pm 28,2$  m). Quase 25% da costa sofreu acreção de pelo menos 2m/ano, correspondendo à acreção mínima de 20 m (Figura 5.38 e 5.40).

O balanço negativo dos valores de EPR, NMS e LMS em Guimarães indicam, assim como em Macau, que a LC está submetida à forte retração na maior parte de sua extensão (Tabela 5.12, Figura 5.38 e 5.40). O prognóstico da LC indica contínua retração da LC nos locais onde tem ocorrido erosão costeira. Porém, na faixa praial de Guimarães, formada por ilhas barreiras e praias, não há atividades antrópicas sob risco direto à retração da LC, à exceção de parte da praia do Minhoto, onde foram instaladas torres eólicas. A zona urbana da cidade e as saliniculturas estão na região estuarina, portanto, mais interior e não sujeita diretamente à variação da LC praial (Figura 5.38).

De modo que estes municípios ainda tem a possibilidade de realizar uma melhor gestão integrada de sua linha de costa. Um modo é por fazer o ordenamento da orla costeira pela delimitação de faixas de não edificação (BRASIL, 2004), indicando em mapas as áreas mais ou menos vulneráveis à erosão e, portanto, de maior ou menor aptidão para diferentes usos. Para tanto, pode dispor de informações como as apresentadas nesta pesquisa.

Na região entre Macau e Guimarães onde está instalado o parque eólico de Miassaba, por outro lado, houve recuos de  $-7\text{m/ano}$ , com deslocamento linear superiores a  $-70\text{ m}$ . Apenas em um transecto foi verificado acreção da LC e de somente  $+0,3\text{ m/ano}$ . Considerando que as torres estão instaladas entre 150 a 250 m da LC atual, aproximadamente, esta taxa implica em sérios riscos para esta atividade para as próximas décadas, o que pode vir a reduzir o tempo de vida útil das torres, de aproximadamente 20 anos, caso nenhuma medida mitigadora seja praticada. As estradas de acesso às eólicas também estão em risco à erosão costeira (Figura 5.38).

As variações da LC em Macau corresponderam à cerca de  $1\text{ Km}^2$  (100 mil  $\text{m}^2/\text{ano}$ ) de deposição e quase  $3,8\text{ Km}^2$  (380 mil  $\text{m}^2/\text{ano}$ ) de erosão durante a última década. As áreas em deposição em Guimarães foram de  $0,22\text{ km}^2$  (22 mil  $\text{m}^2/\text{ano}$ ) e em erosão foram de  $0,88\text{ Km}^2$  (88 mil  $\text{m}^2/\text{ano}$ ) para o período de 2005 a 2015. Portanto, em ambos os municípios o processo erosivo teve intensidade 4 vezes maior que o construtivo na última década.

As maiores diferenças na variação da linha de costa entre 2005 a 2015 em Macau e Guimarães foram (1) a reabertura do canal do arrombado, com 520 m, que transformou a barra de Corta Cachorro em ilha; (2) o deslocamento de cerca de 650 m da ilha do Tubarão na direção S; (3) abertura de um canal com 224 m à oeste da ponta do cabeção, transformando a barra do Fernandez na Ilha do Fernandez e (4) a abertura de mais um

canal de maré de cerca de 190 m de largura na ilha barreira de Guamaré, no canto do Amaro.

Grigio (2003) observou que os processos de erosão e deposição no litoral de Guamaré se tornaram mais intensos desde 1998. Entre 1998 e 2000 houve acreção de quase  $0,75 \text{ Km}^2$  ( $0,38 \text{ Km}^2/\text{ano}$ ) e erosão de mais de  $0,07 \text{ Km}^2$  (70 mil  $\text{m}^2/\text{ano}$ ) e entre 2000 e 2001 a intensidade se inverteu e houve erosão de  $0,87 \text{ Km}^2$  ( $0,44 \text{ Km}^2/\text{ano}$ ) e acreção de  $0,24 \text{ Km}^2$  (120 mil  $\text{m}^2/\text{ano}$ ), aproximadamente. Rosa e Silveira (2013) verificaram aumento de  $1,2 \text{ Km}^2$  entre 2004 e 2005, seguido de um período erosivo que retirou 8,3 mil  $\text{m}^2$  entre 2005 e 2007, intensificado mais de  $1 \text{ Km}^2$  até 2008.

Franco *et al.* (2012) realizaram estudo de prognósticos da LC em ilhas e praias arenosas da região e encontraram variação projetada na praia do Minhoto de até 130 m para o ano 2020. Na presente pesquisa, variações da LC superiores a 70 m na última década foram observadas neste mesmo trecho.

Como resultado do monitoramento de alta resolução da dinâmica da linha de costa nesta mesma região de Macau e Guamaré, Santos e Amaro (2013) encontraram variações anuais na ordem de dezenas de metros, com retração de quase  $-17 \text{ m/ano}$  na praia de Soledade e  $-50 \text{ m/ano}$  na praia do Minhoto (Figura 5.38). Neste estudo, na praia de Soledade apresentou retrações de até  $-23 \text{ m/ano}$  e na praia de Minhoto de até  $-3 \text{ m/ano}$ .

Estes autores encontraram nestas mesmas regiões acreções de cerca de  $+720 \text{ m/ano}$  às proximidades do canal de maré na praia de Soledade e superiores à  $+200 \text{ m/ano}$  na extremidade da barra arenosa na praia do Minhoto. Estas aparentes acreções, no entanto, significam migração longitudinal de sedimentos, enquanto que as retrações indicam erosão (perda de área em praias) (Figura 5.38).

Ao realizar estudos de altíssima resolução e de curto período das variações morfológicas por meio de LiDAR (*Light Detection And Ranging*), Santos *et al.* (2014) verificaram uma erosão na praia de Soledade na ordem de  $-25 \text{ mil m}^3$  em três meses. Santos *et al.* (2015) calcularam uma erosão de mais de  $-16 \text{ mil m}^3$  na praia de Soledade às proximidades das instalações da indústria do petróleo em um período trimestral (agosto a novembro 2012).

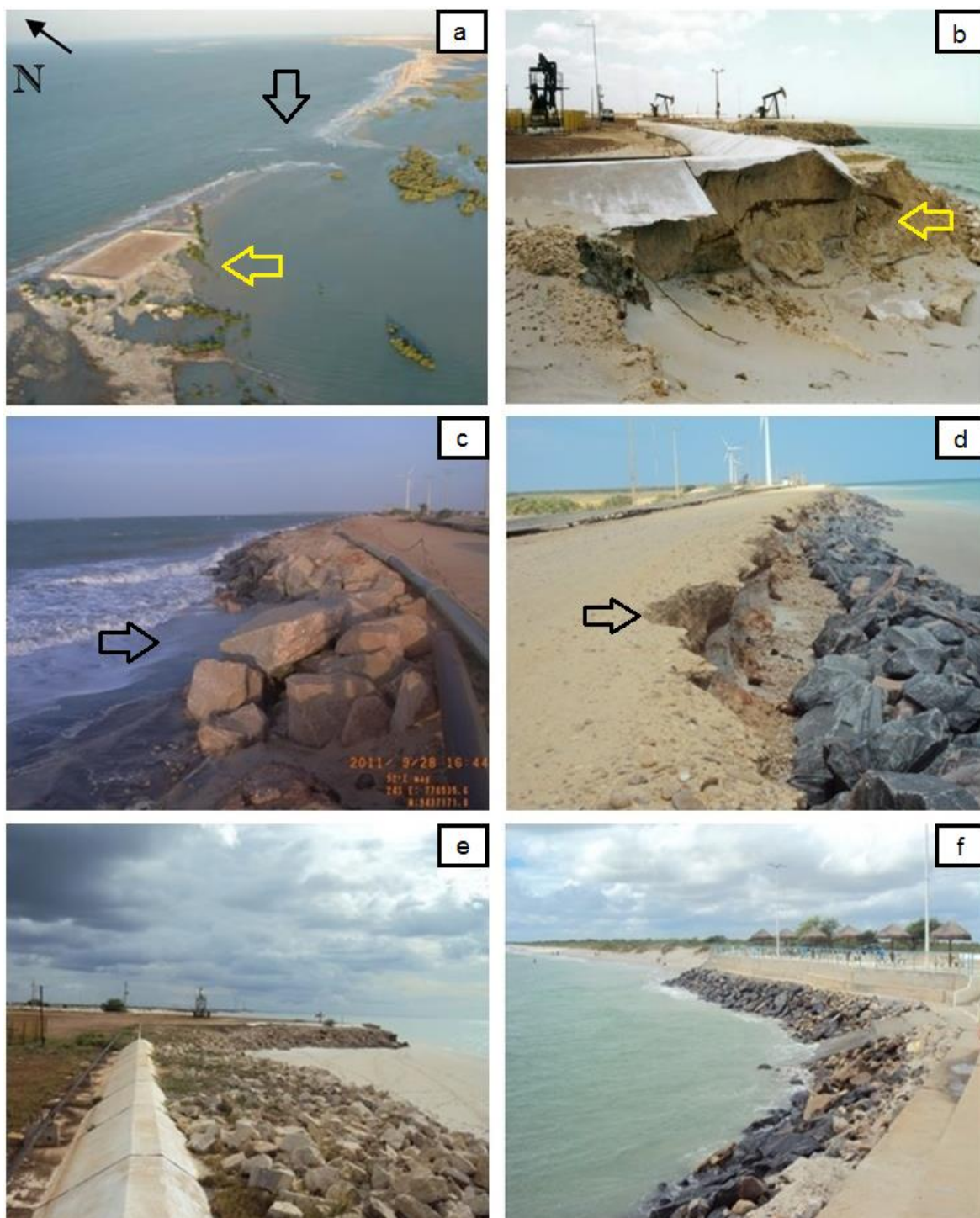


Figura 5.40: (a) Isolamento (seta preta) e destruição (seta amarela) do poço da Petrobras em 2006 (Fonte: Nascimento, 2009), (b) destruição de parte do enrocamento construído em frente a instalações da Petrobras em Macau em 2001 (seta amarela) (Fonte: Chaves, 2005), (c) e (d) enrocamento parcialmente destruído na praia de Soledade em 2011 (seta preta), (e) enrocamento ao longo de Campos Serra em Macau em 2011 e (f) enrocamento ao longo do calçamento na praia de Camapum em Macau em 2011. Fotos de C a F: Fonte: GEOPRO.

Considerando que a erosão volumétrica apresentada por estes autores infere em uma retração linear da LC, os resultados apresentados por Santos e Amaro (2013) e Santos *et al.* (2014 e 2015) corroboram com os encontrados nesta pesquisa, já que mesmo em escala temporal de curta duração foram observadas altas variações da LC na área de estudo.

Esta tendência de erosão ao longo da costa de Macau e Guamaré deve ser ainda maior, uma vez que o NMM entre as imagens L7 e L8 apresentou um desnível de 50 cm, aproximadamente (Tabela 4.17), por causa da amplitude de maré no momento da aquisição das imagens, embora tenha sido esta a melhor aproximação do NMM das imagens pesquisadas para a região na última década.

### **5.8.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA**

Salinópolis, com 11,5 km de LC, foi apresentada maior extensão sob efeito erosivo, mais de 80% na última década. A variação média foi de -12,3 m/ano ( $\pm 2,3$  m/ano - IC 95%), variação mediana e modal de, respectivamente, -9,3 e -7,5 m/ano. A amplitude de variação foi de cerca de 500 m, variando de -450 m a +40 m. A variação média foi negativa -122 m ( $\pm 22,9$  m/ano - IC 95%) (Figura 5.41 e 5.42).

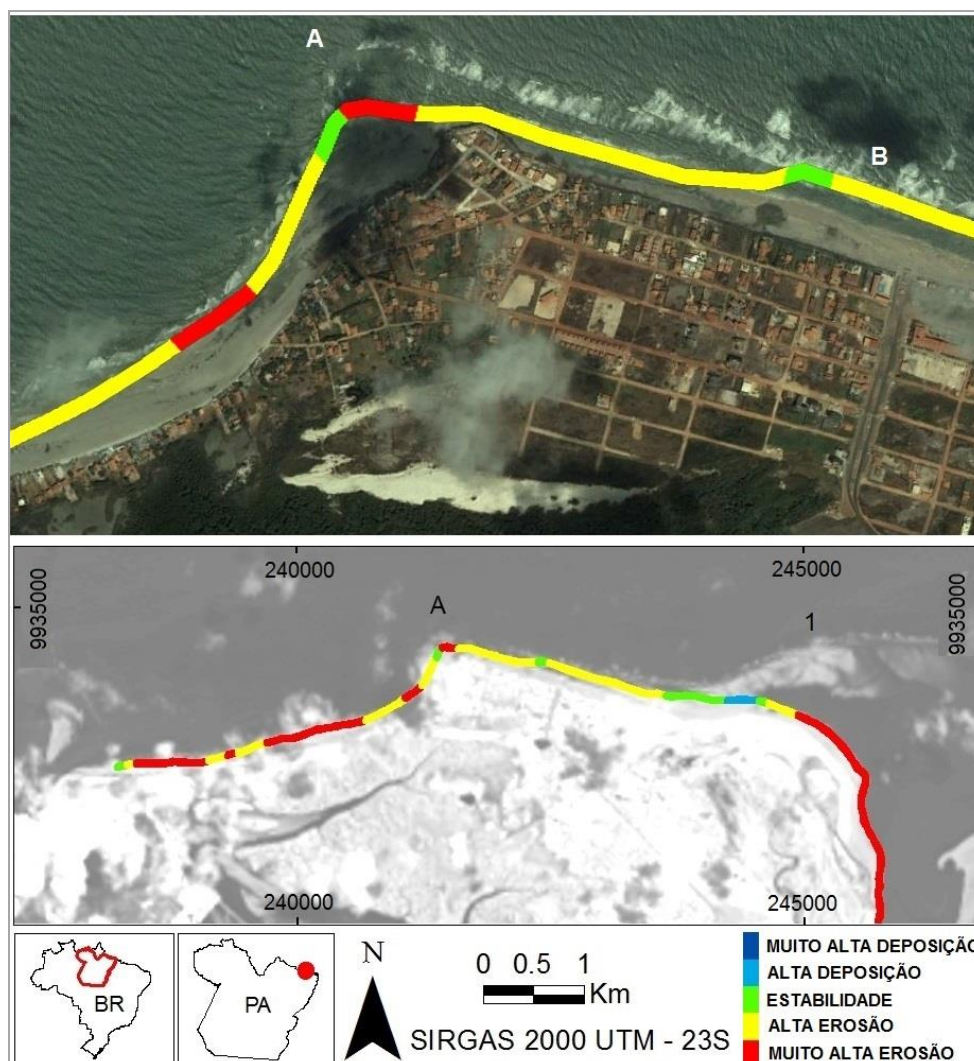


Figura 5.41: Taxas de variação da linha de costa em (m/ano) na (A) Praia de Atalaia, Salinópolis/PA. Fonte Imagem colorida Google Earth.

A soma das taxas de variação e das variações lineares foram negativas. Este balanço negativo indica que o processo erosivo da LC foi mais forte em extensão e em intensidade que o processo construtivo (Tabela 5.12). Também Salinópolis foi o único município que não apresentou nenhuma variação correspondente à muito alta deposição e somente 4,5% da costa sofreu alta deposição (Figura 5.41 e 5.42). De acordo com o prognóstico, o processo erosivo continuará retraindo mais a LC na praia do Atalaia, Salinópolis/PA, nos trechos onde já ocorre erosão.

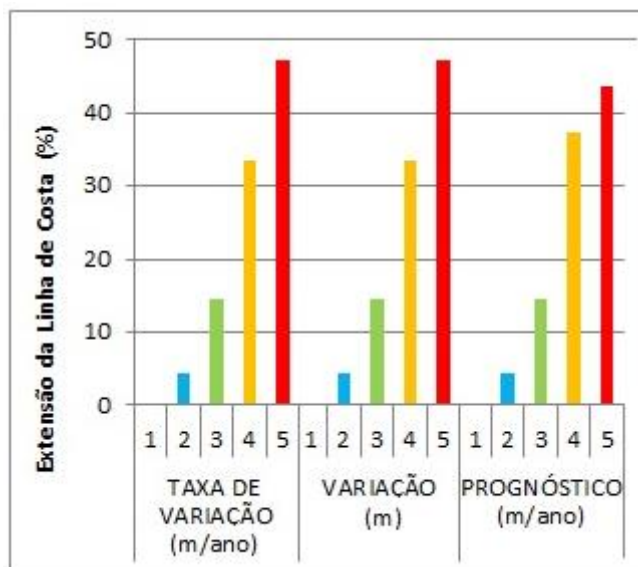


Figura 5.42: Classes de Variação da Linha de Costa para o município de Salinópolis/PA. (1) muito alta deposição, (2) alta deposição, (3) relativa estabilidade, (4) alta erosão e (5) muito alta erosão.

Os pequenos trechos onde houve acreção da LC foram dois. Um localizado onde uma ilha arenosa se aproxima da praia, permitindo, então, a migração sedimentar da ilha para a praia (Figura 5.41, ponto 1). E outro trecho no canal à montante da corrente longitudinal, que recebe sedimentos do canal de maré à leste da área estudada.

A variação da LC significou uma erosão de  $1,3 \text{ Km}^2$  e uma deposição incipiente de  $0,031 \text{ m}^2$  ao longo de  $11,5 \text{ Km}$  de costa. Ou seja, retração de  $0,14 \text{ Km}^2/\text{Km}$  da LC. Na praia do Atalaia a erosão não é apenas de sedimentos quaternários, provocando o afloramento rochas do Terciário de calcáriosossilífero da formação Pirabas (TÁVORA *et al.*, 2010), mas ocorre também nas falésias ativas compostas por rochas terciárias sedimentares do Grupo Barreiras (Figura 5.43), onde estão localizadas as segundas-residências. Gregório *et al.* (2005, 2011) e Ranieri e El-Robrini (2015) também identificaram que este trecho da praia do Atalaia está sob erosão, em maior parte severa.

Por causa do recuo da LC que vem ocorrendo nos últimos anos, os proprietários destas casas de veraneio têm construído obras de contenção à erosão na LC, porém sem sucesso, uma vez que a dinâmica da praia não é analisada quando da construção destas (Figura 5.43 a-d; BUSMAN *et al.*, 2005a, 2005b; GREGÓRIO *et al.*, 2011). Não é raro encontrar na LC do Atalaia gerações de obras de contenção, seguindo-se umas às outras (Figura 5.43), por vezes colapsadas, bem como a substituição de tipos de obras,

acarretando em contínuos e onerosos gastos pelos proprietários, muitas vezes sem o resultado esperado (Figura 5.44 a-d, BUSMAN *et al.*, 2005b).



Figura 5.43: Indicativos de erosão costeira na praia do Atalaia, Salinópolis/PA: (a) Afloramento da formação Pirabas nos canais e na ponta da praia (setas pretas) (b) muro de arrimo (notar várias gerações de muros colapsados, setas pretas), (c) forte retração da falésia do Grupo Barreiras (linha amarela) (notar casas comprometidas, seta preta) e (d) várias medidas mistas de contenção por estaqueamento e pedras no estirâncio (setas amarelas). Fonte: LAIT e GEOPRO.

Muitos proprietários até mesmo se preparam para visitar as segundas-residências após as famosas marés de março (marés equinociais de sizígia, de maiores amplitudes e energia, intensificada pelo período chuvoso) para reconhecimento dos prováveis danos nestas obras (BUSMAN *et al.*, 2005a). Ao longo da praia, já há casas de segundas-residências abandonadas e com a estrutura comprometida, significando maiores perdas para os proprietários (Figura 5.43c e 5.44d).

Por serem construídas, em geral, de modo isolado por cada proprietário e sem considerar a dinâmica natural, as obras de contenção amplificavam a erosão no terreno vizinho. Por este motivo, alguns proprietários ampliaram lateralmente as obras, usando estaqueamento, em geral, como já ocorreu em outras praias (KOERNER *et al.*, 2013,

MARTINS; PEREIRA, 2014). Como ainda assim não têm sido eficazes no controle da erosão, uma máquina de estaquear está permanentemente na praia, refazendo a estrutura após danos (Figura 5.44d e 5.45e). De fato, dos diferentes tipos de obras de contenção à erosão (Figura 5.45), apenas os alocados na porção mais central da praia, menos dinâmica, têm resistido sem muitas modificações (Figura 5.41b, 5.45h e 5.45i).



Figura 5.44: Obras de contenção à erosão na praia do Atalaia/PA em 2004 (a e b) e em 2014 (c e d). Fotos (a) e (c) e (b) e (d) dos mesmos pontos de observação. Fonte: (a) e (b) MPEG e (c) e (d) LAIT e GEOPRO.

Dentre os efeitos das obras de contenção à erosão, há o estreitamento do estirâncio e a ausência de pós-praia, não permitindo a recreação na praia durante marés altas (KOERNER *et al.*, 2013), como pode ser observado durante as preamares no Atalaia. Também por serem verticais, tais estruturas refletem as ondas para a base das obras, o que tende a aumentar a erosão local (Figura 5.45a, 5.45e, 5.45l, AMARO *et al.*, 2012b).

Considerando que a socioeconomia de Salinópolis está baseada principalmente no comércio de turismo e lazer (item 5.1) (ADRIÃO, 2006; SOUZA, 2014a, 2014b), a erosão costeira é um grande problema que há décadas vem acarretando a praia do Atalaia, um dos

principais balneários paraense, ao mesmo tempo em que o uso e ocupação vem aumentando e, em geral, de modo desordenado e sem considerar a dinâmica costeira (MENDES *et al.*, 2001; BUSMAN *et al.*, 2005a, 2005b; GREGÓRIO *et al.*, 2005; ALMEIDA; ALCÂNTARA NETO, 2013).

Como exemplo, dunas foram retiradas para permitir o loteamento, motivado pela especulação imobiliária, e arruamento ao longo da ilha, o que certamente contribuiu para o aumento de processos erosivos, já que as dunas são um estoque sedimentar natural para as praias (MENDES *et al.*, 1997; RANIERE; EL-ROBRINI, 2015). Uma das decorrências da erosão é a perda da paisagem cênica natural, que nesta praia vem sendo substituída por obras de contenção à erosão na sua porção oeste (Figura 5.43).



Figura 5.45: Tipos de obras de contenção na praia do Atalaia, Salinópolis/PA. (a, c) Estaqueamento + restos de muros de contenção, (b) Restos de muros, nenhuma reconstrução atual, (d, e, f, l) Estaqueamento duplo, (g) Muro de arrimo (à esquerda) e terreno sem proteção (à direita) (h) Vegetação natural (à esquerda) e caixa de madeira e pedra + aterro vegetado (à direita), (i) Caixa de madeira e pedra + aterro vegetado, (j) Estaqueamento duplo + rampa e (m) Estaqueamento + muro rampado. Fonte: LAIT e GEOPRO.

## **5.9. Índices de Vulnerabilidade Costeira**

Os resultados dos índices de vulnerabilidade costeira aplicados mostraram as áreas vulneráveis ao aumento relativo do NMM em seis cenários totais, sendo estes a combinação dos dois índices de vulnerabilidade costeira e três cenários de inundação permanente por aumento relativo do NMM.

### **5.9.1. Análises em escala 1:100.000 - Macau e Guamaré/RN**

No município de Macau no índice IVC-USGS o cenário RCP 2,6 apresentou somente as classes baixa e média vulnerabilidade, com 12,6 Km (~40%) e 20 Km da LC (~60%), respectivamente. No cenário RCP 4,5 houve apenas um pequeno aumento da classe média vulnerabilidade em relação ao cenário anterior, de cerca de 5 %, em detrimento da classe baixa vulnerabilidade (Figura 5.47). Por fim, no cenário RCP 8,5 uma pequena extensão de 8% da LC, ou 2,6 Km, foi classificada como em alta vulnerabilidade. Mais de 80% (26,2 Km) da LC foi classificada como em média vulnerabilidade. A área em alta vulnerabilidade neste cenário se concentrou na ilha de Fernandez. Todas as infraestruturas estão localizadas em regiões classificadas como de média vulnerabilidade em todos estes três cenários (Figura 5.46).

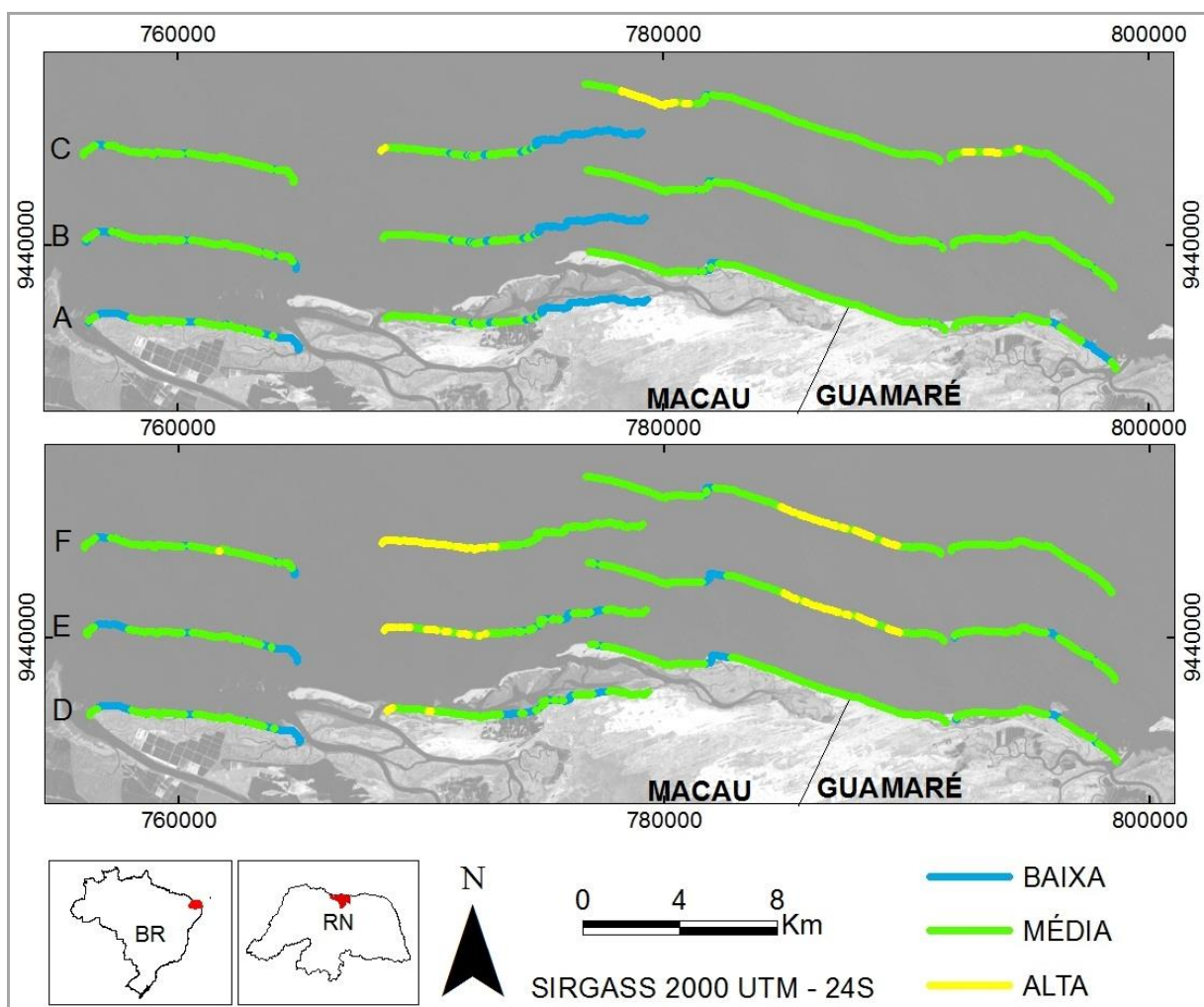


Figura 5.46: Índice de Vulnerabilidade Costeira do tipo IVC-USGS para os cenários do IPCC (A) RCP 2,6, (B) RCP 4,5, (C) RCP 8,5 e do tipo IVC para os cenários (D) RCP 2,6, (E) RCP 4,5 e (F) RCP 8,5 para os municípios de Macau e Guamaré/RN.

No índice IVC, no cenário mais otimista RCP 2,6 em Macau cerca de 70% da LC foi classificada como em média vulnerabilidade e 1,2% em alta vulnerabilidade. No cenário RCP 4,5 a classe média se manteve em torno de 70%, porém a classe alta vulnerabilidade aumentou para 8,4% da LC. No último cenário, a classe média aumentou cerca de 5%, enquanto que a classe alta dobrou a proporção (16,5%), correspondendo a 5,4 Km da LC. Este cenário foi o mais pessimista para Macau, sendo o mais otimista o cenário RCP 2,6 no índice IVC-USGS (Figura 5.46 e 5.47). As áreas sob alta vulnerabilidade passaram a ser aquelas onde há infraestruturas e atividades antrópicas, a indústria petrolífera na praia de Soledade e a indústria eólica na praia de Minhoto, sendo estas as principais responsáveis pela mudança da classe média para alta entre os métodos, como pode ser evidenciado pela alteração da cor entre as *smartlines* na figura 5.46.

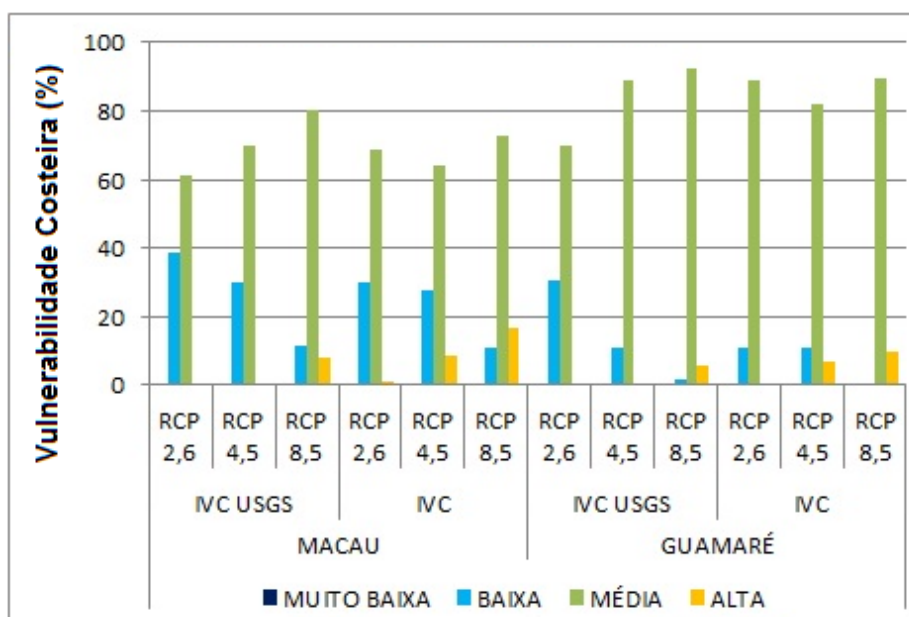


Figura 5.47: Classes dos Índices de Vulnerabilidade Costeira do tipo IVC-USGS e IVC para os municípios de Macau e Guamaré/RN.

Quanto ao índice IVC-USGS em Guamaré, o cenário RCP 2,6 indicou que quase 70% da LC (8,2 Km) foram classificadas como em média vulnerabilidade, enquanto no cenário RCP 4,5 esta classe correspondeu a cerca de 90% da LC (10,5 Km). O cenário RCP 8,5 apresentou quase 6% da LC na classe alta vulnerabilidade (0,7 Km) e a classe média subiu para 92,5% (10,8 Km). As áreas em alta vulnerabilidade foram localizadas nas ilhas barreiras do canto do Amaro (Figura 5.46).

Considerando o índice IVC neste município, no cenário RCP 2,6 cerca de 90% da LC foi classificada como em média vulnerabilidade. No cenário RCP 4,5 a classe média diminuiu a proporção enquanto que quase 7% da LC passou a configurar na classe alta vulnerabilidade. No cenário RCP 8,5, último deste índice, a classe baixa vulnerabilidade diminuiu para menos de 1% da LC, enquanto que as classes média e alta vulnerabilidade apresentaram maior proporção, 89,7% (10,5 Km) e 9,7% (Figura 5.46 e 5.47). Apesar deste índice apresentar as maiores proporções da classe alta vulnerabilidade, estas foram encontradas apenas na praia do Minhoto, onde estão as torres da indústria eólica (Figura 5.46). Assim como em Macau, este foi o cenário mais pessimista e o cenário RCP 2,6 no índice IVC-USGS o mais otimista.

### 5.9.2. Análises em escala 1:250.000 - Salinópolis/PA

Em Salinópolis, os resultados dos índices IVC-USGS e IVC foram bem diferenciados dos demais municípios (Figura 5.47). No primeiro índice, o cenário RCP 2,6 apresentou mais de

88% da LC (9,2 Km) na classe baixa vulnerabilidade e apenas 11,4% de classe média vulnerabilidade. No cenário RCP 4,5, a classe média vulnerabilidade aumentou para quase 36% (3,8 Km), em detrimento da classe baixa vulnerabilidade, com 64% de extensão. No cenário RCP 8,5 houve um acréscimo maior da classe média vulnerabilidade, que passou a apresentar 63% ou 6,5 Km da LC (Figura 5.48). As maiores vulnerabilidades deste índice corresponderam à classe média vulnerabilidade e ocorreram ao longo da LC, porém mais concentradas na região das segundas-residências e nos extremos leste e oeste da ilha (Figura 5.41 e 5.48).

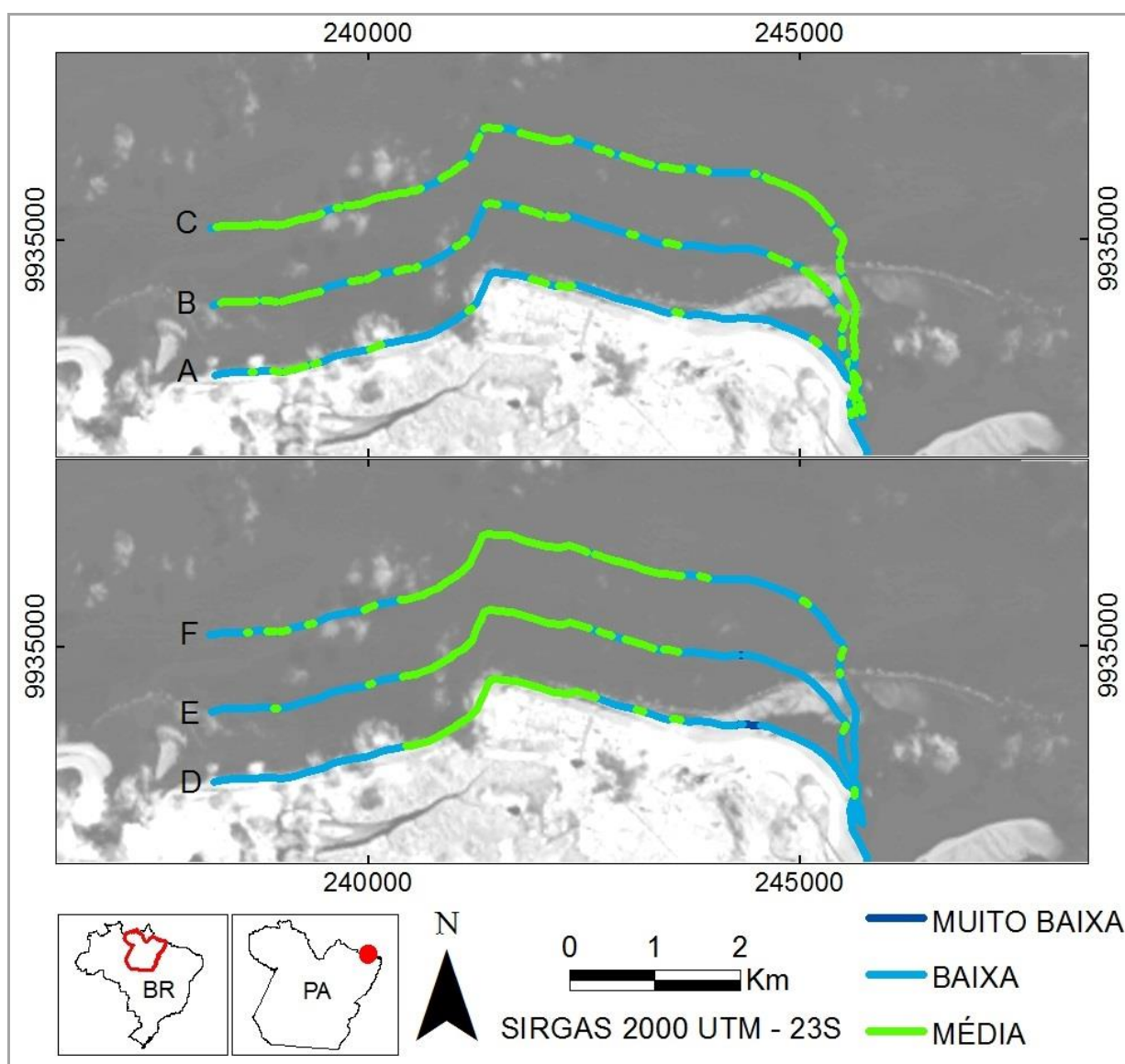


Figura 5.48: Índice de Vulnerabilidade Costeira do tipo IVC-USGS para os cenários (A) RCP 2,6, (B) RCP 4,5, (C) RCP 8,5 e do tipo IVC para os cenários (D) RCP 2,6, (E) RCP 4,5 e (F) RCP 8,5 para o município de Salinópolis/PA.

Enquanto que no índice IVC, o cenário 2,6 apresentou a classe muito baixa vulnerabilidade (2,9%) e mais de 70% da classe baixa vulnerabilidade (7,3 Km). No cenário RCP 4,5 as classes muito baixa e baixa reduziram para 1,5% e 67%, respectivamente, e a classe média aumentou para quase 32%. Finalmente, o cenário RCP 8,5 não apresentou mais a classe muito baixa vulnerabilidade e a classe média correspondeu à maior proporção, de 42% (3,3 Km) aproximadamente. Embora neste índice a classe média vulnerabilidade se apresentou em menor proporção que no índice IVC-USGS em todos os três cenários, a classe média vulnerabilidade ocorreu principalmente ao longo das segundas-residências, motivado pelas variáveis infraestrutura e uso/atividade do solo (Tabela 4.15, Figura 5.48 e 5.49).

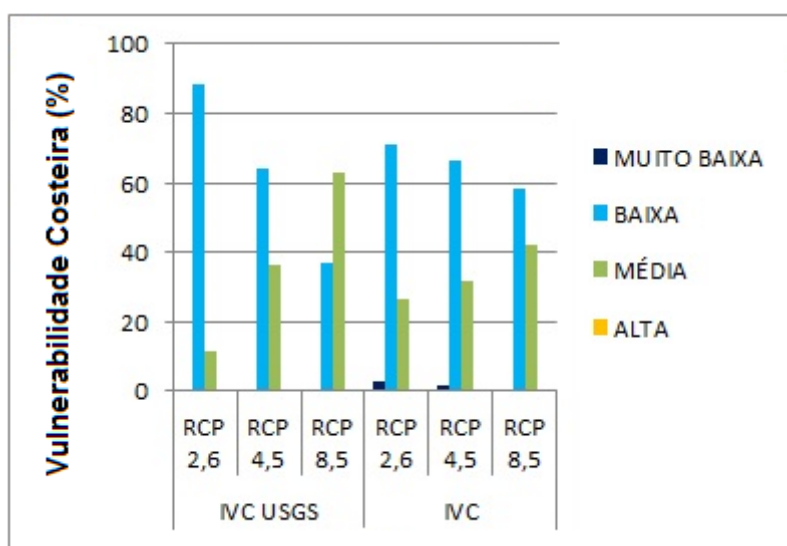


Figura 5.49: Classes dos Índices de Vulnerabilidade Costeira do tipo IVC-USGS e IVC para o município de Salinópolis/PA.

Nenhum cenário em ambos os índices de vulnerabilidade costeira apresentou a classe alta vulnerabilidade. Provavelmente porque parte da LC é formada por falésias ativas, de modo que em cenários de inundação tais regiões apresentam menor vulnerabilidade, embora os agentes hidrodinâmicos ondas e marés promovam a intensificação do solapamento da base das falésias ativas, aumentando a retração da LC. Os cenários mais otimista e pessimista foram os cenários RCP 2,6 e RCP 8,5 do índice IVC-USGS (Figura 5.47).

Mesmo tendo sido realizada na escala 1:250.000, a aplicação de índices de vulnerabilidade costeira em Salinópolis permitiu identificar as regiões mais vulneráveis em diferentes cenários de aumento relativo do NMM e pode subsidiar a gestão costeira integrada do município. Definir zoneamentos, como faixas de não edificação, a partir destas informações é

uma medida simples e não onerosa para o município (BRASIL, 2004) a fim de evitar consequências pela exposição à elevação relativa do NMM.

A criticidade de gestão na LC dos municípios, tanto atual quanto frente a cenários de aumento relativo do NMM, ocorreu nos trechos com maiores taxas de retração da LC em que estão alocadas infraestruturas urbanas ou industrial, contornadas por obras de proteção costeira construídas sem muitos estudos da dinâmica meteo-oceanográfica à que tais trechos estão submetidos, situação recorrente não só no litoral do Rio Grande do Norte e do Pará (AMARO *et al.*, 2012b, 2014), como em praias arenosas no Brasil e no mundo (SOUZA, 1997; ESTEVES *et al.*, 2003; SOUZA, 2009; ANFUSO *et al.*, 2011; GOIS *et al.*, 2013). Martins *et al.* (2012) observaram que o desenvolvimento de infraestrutura como suporte para atividades de turismo contribuíram para o aumento da vulnerabilidade em praias do Algarve, Portugal.

De modo que é gasto para a manutenção dessas infraestruturas uma alta soma em dinheiro, público e/ou privado, em obras de engenharia costeira como enrocamento ou estaqueamento, indo na contramão de muitos países europeus e de condados americanos, em que são aplicados métodos de de-engenharia para realinhamento da LC, sendo um dos métodos a remoção total das obras de engenharia costeira, a fim de que a LC possa variar naturalmente (ESTEVES, 2014), evitando perdas de altas somas em dinheiro em investimentos e reinvestimentos para a manutenção de obras rígidas em pequenos trechos de praia (ESTEVES, 2014; ANFUSO *et al.*, 2011). Citando um exemplo, o enrocamento realizado na praia de Ponta Negra (Natal/RN) custou R\$ 5,8 milhões em gastos públicos para uma extensão linear de cerca de 2 km em que constantemente são necessários reparos (MPRN, 2015), e, portanto, reinvestimentos.

Além disso, com a instalação de obras de engenharia costeira se transfere o problema erosivo para áreas adjacentes (PHILLIPS; JONES, 2006), conhecido como “efeito dominó” (MARTINS; PEREIRA, 2014), provocando a extensão longitudinal de tais obras, isto é, maiores e contínuos investimentos públicos e/ou privados, como ocorreu no litoral pernambucano (MAI, 2007). A linha de costa das praias pernambucanas de Jaboatão dos Guararapes, Recife, Olinda e Paulista têm entre 33% e 65% da extensão com obras de engenharia rígida, tais como enrocamentos, muros e espigões (ITP, 2012; GOIS *et al.*, 2013, MARTINS; PEREIRA, 2014).

O enrocamento é uma obra de engenharia costeira que visa a proteção do patrimônio à sua retaguarda e fixação da linha de costa, não a recomposição do perfil praiial (GOIS *et al.*, 2013). Ainda assim, tais obras desempenham uma proteção parcial da linha de costa, como foi verificado no litoral de Macau.

## Capítulo 6 - Conclusões e Recomendações

Para a realização desta tese, vários índices de vulnerabilidade socioeconômica, física, socioambiental e costeira foram aplicados, além de análise de risco socioambiental a cenários de inundação e de criticidade de gestão ao risco de inundação, juntamente com análises estatísticas. A análise da vulnerabilidade socioeconômica permitiu reconhecer quais municípios são mais ou menos vulneráveis, bem como o porquê dessa posição, segundo as variáveis sociais estudadas. O diagnóstico socioeconômico e os índices de vulnerabilidade socioeconômica indicaram que os municípios estudados tiveram melhorias socioeconômicas nas últimas décadas, mas ainda estão em vulnerabilidade socioeconômica média. Guamaré foi, em geral, o município com maior vulnerabilidade socioeconômica e Macau o menor.

Macau e Salinópolis apresentarem vulnerabilidade socioeconômica muito similar e Guamaré ser o de maior vulnerabilidade socioeconômica indica que aportes econômicos gerados pelas empresas e indústrias de grande porte alocadas nestes municípios potiguares não estão promovendo melhorias sociais correspondentes. Porém, estes municípios estão sujeitos a riscos ambientais maiores que Salinópolis, decorrente das atividades de salinicultura, carcinicultura e de extração e escoamento de petróleo e gás. Em suma, a população mais vulnerável está sujeita a maiores impactos ambientais.

No entanto, Salinópolis, cuja população é a segunda mais vulnerável, em breve estará sujeita a impactos sociais e ambientais decorrentes das atividades de exploração e escoamento de petróleo e gás que já foram licitadas para a região. No entanto, um novo instrumento de gestão está vigente, a lei que delimita a distribuição de *royalties* da indústria petrolífera para a saúde e a educação. De modo que este estudo servirá de base para o acompanhamento da evolução da vulnerabilidade socioambiental destes municípios sob esta nova perspectiva.

O uso de diferentes índices foi importante porque permitiu reconhecer qual o município de maior e o de menor vulnerabilidade socioeconômica, bem como indicou o Índice de Vulnerabilidade baseado no Índice de Desenvolvimento Humano como bem representativo e o de maior simplicidade de replicação. A baixa correlação do Índice de Vulnerabilidade baseado no índice de Desenvolvimento Firjan de Desenvolvimento Municipal sugere que um estudo deve ser realizado em um maior número de municípios para analisar a adequabilidade deste índice em estudos de vulnerabilidade socioeconômica.

Todos os índices são de fácil replicação para os demais municípios brasileiros e apresentam variáveis socioeconômicas representativas. A comparação entre municípios de

diferentes estados mostrou a aplicabilidade dos índices para todo o território nacional, podendo identificar as regiões mais deficitárias dentro do estado e do país. E assim permitirão o melhor uso de recursos públicos nas três esferas governamentais. A replicação destes índices de vulnerabilidade socioeconômica com dados do próximo censo permitirá acompanhar a evolução destes municípios após a lei de participação dos *royalties* do petróleo. A análise de vulnerabilidade socioeconômica a nível municipal permite a gestão de recursos ao nível de estado e da União. Por isso, sugerem-se estudos de vulnerabilidade socioeconômica intramunicipal, a fim de se determinar as áreas de maior vulnerabilidade dentro do município, podendo subsidiar a aplicação de recursos municipais.

Este estudo também permitiu identificar com base estatística e matemática quais variáveis devem constar em análises de vulnerabilidade física do meio ambiente, além de facilitar o processo decisório por diminuir a subjetividade em análises de vulnerabilidade física, tanto na escolha do índice quanto das variáveis físicas envolvidas. A Análise de Componentes Principais (ACP) mostrou que há diferenças entre as variáveis que têm maior contribuição na primeira componente principal de acordo com o índice usado e da área analisada. Por isso, é preciso analisar a vulnerabilidade física ao menor nível possível, de modo que as características de vulnerabilidade intrínsecas a cada área poderão ser conhecidas, destacadas e melhor analisadas por gestores governamentais.

A ACP apresentou resultados satisfatórios quanto à influência das variáveis físicas nas duas escalas estudadas. Como a maioria dos municípios brasileiros dispõem de informações cartográficas em escala inferior que 1:100.000, por vezes na escala de estudo de Salinópolis (1:250.000), é recomendado que gestores públicos e pesquisadores apliquem a ACP nos índices de vulnerabilidade física para um melhor entendimento das variáveis que mais participam nos resultados, independente da escala de análise adotada.

De acordo com a ACP, as variáveis que mais contribuíram nas, de acordo com os índices mais otimistas e pessimistas e por município foram: índice VNMM (Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar): uso do solo, distância da linha de costa, geologia e declividade em Macau; uso do solo, declividade, geologia e solos em Guimarães; vegetação, uso do solo, solos e geologia em Salinópolis.

No índice VR-NMM (Vulnerabilidade Ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar) as variáveis que mais influenciaram foram: uso do solo, geologia, declividade e solos em Macau e uso do solo, vegetação, declividade, solos e geologia em Guimarães. E no índice VR (Vulnerabilidade Ambiental Relativa) foram as variáveis solos, uso do solo, vegetação

e geologia em Salinópolis. A variável uso do solo foi muito influente na vulnerabilidade física em todas as escalas e áreas estudadas.

O índice proposto Vulnerabilidade Ambiental ao aumento relativo do teve como diferencial apresentar áreas vulneráveis à elevação do nível médio do mar, enquanto o índice Vulnerabilidade Ambiental relaciona a vulnerabilidade física com mudanças antrópicas na paisagem. São análises complementares que podem ou não ser concomitantes. Em caso de falta de recursos para realizar confirmações de campo, o índice Vulnerabilidade Natural é uma alternativa plausível, uma vez que as variáveis que o compõem estão facilmente disponíveis em sites de instituições de pesquisa ou ambientais brasileiros em escala de semidetalhe (1:100.000 a 1:250.000).

Segundo todos os índices aplicados, Guamaré apresentou maior vulnerabilidade física que o município de Macau. Os índices mais otimistas e pessimistas foram, respectivamente, VNMM e VR-NMM para Macau e Guamaré e VNMM e VR para Salinópolis. Mesmo nos índices mais otimistas, grande parte dos municípios de Macau e Guamaré foram classificados pelo menos em média vulnerabilidade física. Isto indica que estes municípios estão vulneráveis em face de impactos e ameaças naturais, como inundação por eventos extremos.

A análise de vulnerabilidade física na escala 1:250.000 em Salinópolis parece ter mascarado a vulnerabilidade esperada para regiões costeiras. Apesar disso, pelo princípio da precaução, análises de vulnerabilidade física devem ser aplicadas em municípios costeiros segundo a escala dos planos de informação (PI) disponíveis e devem ser replicadas assim que PI com melhor detalhamento forem disponibilizados. Mesmo tendo sido realizada na escala 1:250.000, a aplicação de índices de vulnerabilidade costeira em Salinópolis permitiu identificar as regiões mais vulneráveis tanto na atualidade quanto em diferentes cenários de aumento relativo do NMM e pode subsidiar a gestão costeira integrada do município. Como exemplo, a definição de faixas de não edificação é uma medida simples e não onerosa para gestores públicos evitarem a exposição a processos costeiros de inundação e erosão atuais e quanto a cenários de aumento do NMM. Porém, estudos em escala de maior detalhe são sugeridos.

Os três municípios estudados já estão sob efeito de processos costeiros, bem como de fenômenos de inundação e erosão costeira, sejam em decorrência de mudanças climáticas ou não. Porém, as mudanças climáticas irão amplificar os riscos destes municípios. De modo que a análise de risco socioambiental e criticidade a cenários de aumento relativo do NMM se mostrou uma excelente ferramenta para subsidiar a gestão e disciplinamento territorial dos municípios

estudados, uma vez que permitiu reconhecer as áreas mais vulneráveis e críticas tanto atualmente como em cenários futuros de inundação.

Deve-se considerar que o aumento relativo do NMM não ocorrerá de modo abrupto, e sim paulatino, mesmo que com taxas rápidas de aceleração. Isto quer dizer que a cada década cada vez mais pessoas serão atingidas por inundações, tanto temporárias quanto permanentes. Conjugando com o fato de que as mudanças climáticas têm implicado no aumento da frequência e na intensidade de eventos extremos, talvez os danos e o número de pessoas atingidas sejam ainda maiores do que os apresentados neste estudo. Somente em Macau, este estudo apontou no mínimo quase 7 mil (dados atuais) e no máximo quase 65 mil (projeções) de pessoas em risco de se tornarem refugiados ambientais até 2100 por inundações, sendo que a população macaense já vem sentindo efeitos de mudanças climáticas por eventos extremos de inundação, como afetou milhares de pessoas no ano de 2004.

Outro fato importante é que os cenários de inundação do IPCC tomam como base um aumento relativo referente ao NMM atual, portanto, sem considerar flutuações por marés, que também tendem a aumentar de amplitude e energia com os eventos extremos. De modo que municípios costeiros precisam de forma urgente adotar medidas de mitigação, dentre estas o reconhecimento contínuo dos fenômenos naturais atuais e prognósticos de cenários futuros. A valoração dos serviços ambientais nos municípios estudados é sugerida como complementação aos mapas de risco e criticidade, podendo subsidiar decisões e ações de adaptação, mitigação e zoneamento territorial. Além disso, medidas adaptativas devem ser estudadas prementemente.

Esta pesquisa corroborou com um maior conhecimento dos riscos socioambientais associados à inundação por mudanças climáticas nos três municípios estudados. A escolha de locais na região norte e nordeste e em escalas diferentes permitiu demonstrar a aplicabilidade do índice, não importando a escala e localização espacial. Replicações, portanto, podem ser testados nos mais diferentes municípios brasileiros, muitos deles já afetados por inundação e erosão fluvial e costeira em decorrência de mudanças climáticas ou eventos extremos.

Nos três municípios a erosão costeira está mais acentuada justamente em trechos com ocupação urbana ou industrial e estas também serão as regiões mais vulneráveis a cenários de aumento relativo do NMM. O fato de que a dinâmica costeira só passar a ser um problema quando em frente a zonas de ocupação antrópica foi evidenciado na aplicação do índice de vulnerabilidade costeira proposto neste estudo, com a adição de variáveis antrópicas. Extensões da linha de costa com grande mobilidade sedimentar, porém sem construções litorâneas, não foram consideradas as mais vulneráveis. Portanto, é necessário adicionar neste tipo de estudo as

variáveis uso atual da LC e existência ou ausência de infraestrutura de modo a identificar áreas em criticidades de gestão.

A importância de se aplicar índices de vulnerabilidade costeira está no fato de que municípios litorâneos estarão sempre sujeitos à dinâmica natural por processos costeiros e o reconhecimento dessa dinâmica pode auxiliar gestores públicos a melhor gerir os espaços costeiros de seus municípios. Portanto, os índices de vulnerabilidade costeira podem subsidiar o ordenamento de zonas de expansão e de não expansão do uso e ocupação, ações que podem reduzir gastos públicos e/ou privados em decorrência de danos por erosão ou inundação costeira e que podem ser aplicados para demais melhorias urbanas.

O uso do município como célula de análise de vulnerabilidade foi pelo fato de permitir a responsabilização do poder público e a adoção de medidas de ordenamento, mitigação e adaptação do território. Em muitos casos, municípios costeiros não possuem em sua equipe multidisciplinar profissionais responsáveis pelo monitoramento costeiro e, portanto, não conseguem cumprir com suas responsabilidades legais de ordenamento e gestão do uso do solo. Porém, como não é possível fazer gestão costeira integrada sem monitoramento contínuo, os gestores públicos podem e devem fazer parcerias com as universidades e institutos de pesquisa, a fim de cumprir com a obrigação de executar o gerenciamento costeiro municipal e, em consequência, o zoneamento territorial.

A aplicação dos índices em municípios costeiros com diferentes contextos ambientais e socioeconômicos permitiu validar as metodologias deste estudo. Com isso, sugere-se a ampliação no número de municípios estudados, o que deve aumentar a compreensão de quais os índices de vulnerabilidade socioeconômica, física, socioambiental, costeira e de risco socioambiental são mais adequados e quais variáveis socioeconômicas e ambientais apresentam melhores respostas às análises. Como os dados apresentados neste estudo estão inseridos em sistema de informação georreferenciada e podem ser realimentados e reanalisados periodicamente, a replicação destas mesmas metodologias são sugeridas assim que planos de informação gerados em escala de maior detalhe sejam disponibilizados para estes municípios.

Considerando a aplicabilidade dos resultados de vulnerabilidade e risco socioambiental para gestão territorial em zonas costeiras de baixa altitude, principalmente quanto à adaptação a mudanças climáticas, e considerando que muito planos de informações estão disponíveis em sites institucionais governamentais (MMA, IBGE, CPRM, entre outros), é sugerida a replicação destes índices na escala exequível para os demais municípios costeiros do Brasil, seja por gestores públicos seja pela comunidade científica. Uma vez que a falta de planejamento

acarretará em prejuízos não só ambientais, como também financeiros e sociais para o poder público, para a sociedade em geral e para as indústrias alocadas nestes municípios, tanto na zona costeira quanto na zona interior.

## REFERÊNCIAS

- Abuodha, P. e Woodroffe, C.D. Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast. **In:** Woodroffe C.D., Bruce, E., Puotinen, M. e Furness R.A. (Eds), GIS for the Coastal Zone: A selection of Papers from CoastGIS 2006, Australian National Centre for Ocean Resources and Security University of Wollongong, Wollongong, Australia, 458 p., 2007.
- Adrião, D.G.S. Pescadores de Sonhos: um olhar acerca da mudança nas relações de trabalho e na organização social entre as famílias dos pescadores diante do turismo balnear em Salinópolis-Pa. **Ciências Humanas**, v. 1, p.11-21, 2006.
- Albuquerque, M., Espinoza, J., Teixeira, P., Oliveira, A., Corrêa, I. e Calliari, L. Erosion or Coastal Variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 65, p. 1710-1714, 2013.
- Almeida, L.Q. **Vulnerabilidades socioambientais de Rios Urbanos**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. 311 p, 2010.
- Almeida, J. de F. A. e Alcântara Neto, C. P. de. Ocupação e uso das praias do Maçarico e das Corvinas (Salinópolis/PA): Subsídios à Gestão Ambiental. **Amazônia em Foco**. Edição Especial: Empreendedorismo e Sustentabilidade. n. 1, p. 160-178, 2013.
- Amaro, V.E., Santos, M.S.T. e Souto, M.V.S. **Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão**. 1. Ed. Natal, 118 p., 2012a.
- Amaro, V.E., Scudelari, A.C., Neves, C.F., Tabosa, W.F., Lima, Z.M., Santos Jr, O.F., Ferreira, A.T.S., Santos, A.L.S. e Busman, D.V. Indicação das obras emergenciais de contenção e reparação dos equipamentos públicos e de segurança dos frequentadores da Praia de Ponta Negra, Natal, RN. **Relatório Técnico**, Natal/RN, 254 p., 2012b.
- Amaro, V.E., Gomes, L.R.S., Lima, F.G.F., Scudelari, A.C., Neves, C.F., Busman, D.V. e Santos, A.L.S. Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. **Marine Geodesy**, 2014.
- Anazawa, T.M., Feitosa, F.F. e Monteiro, A.M.V. Vulnerabilidade Socioecológica no litoral norte de São Paulo: medidas, superfícies e perfis de ativos. **Geografia**, v. 38, n. 1, p. 189-208, 2013.
- Anfuso, G., Pranzini, E. e Vitale, G. An integrated approach to coastal erosion problems in northern Tuscany (Italy): Littoral morphological evolution and cell distribution. **Geomorphology**, v. 129, p. 204 - 214, 2011.
- Austrália. **Coastal Protection Act**. New South Wales. 16 p., 1979. Disponível em: <<http://www.legislation.nsw.gov.au>>. Acesso em: 22/05/2012.
- Austrália. Climate Change Risk and Vulnerability Promoting an efficient adaptation response in Australia. **Final Report**. Report to the Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Heritage. March, 2005.
- Barata, M.M.L.E. e Confalonieri, U.E.C. Mapa de vulnerabilidade do RJ aos impactos das mudanças climáticas nas áreas social, saúde e ambiente. **Relatório 4 - Versão final**. Secretaria de Meio Ambiente, FIOCRUZ, 166 p., 2011.

- Bastos, A.S.5., Maniesi, V. e Gomes, F.B. Vulnerabilidade natural à erosão no sudoeste da Amazônia associada aos seus modos de ocupação – o caso do entorno da terra indígena Uru Eu Wau Wau. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 2, p. 271-282, 2015.
- Batista, C.T. e Veríssimo, C.U.V. Vulnerabilidade geoambiental da região metropolitana de Fortaleza: análise comparativa de dois métodos com enfoque a processos erosivos. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 31, n. 1, p. 47-56, 2012.
- Boggione G.A., Silva, M.V.A., Carvalho Junior, N.R., Teles, T.L. e Nazareno, N.R.X. Definição da escala em imagens de sensoriamento remoto: uma abordagem alternativa. **In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 1739-1746, 2009.
- Boori, M.S. e Amaro, V.E. Land use change detection for environmental management: using multi-temporal, satellite data in Apodi Valley of Northeastern Brazil. **Applied GIS**, v. 6, p. 1-15, 2010.
- Boori, M.S. e Amaro, V.E. A Remote Sensing Approach for Vulnerability and Environmental Change in Apodi Valley Region, Northeast Brazil. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 74, 2011.
- Boori, M. S., Amaro, V. E. e Vital, H. Coastal ecological sensitivity and risk assessment: A case study of sea level change in Apodi River (Atlantic Ocean), Northeast Brazil. **Internatioanl Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 1, p. 127-136, 2010.
- Boori, M.S., Amaro V.E. e Ferreira A.T. da S. Coastal risk assessment and adaptation of the impact of sea-level rise, climate change and hazards: A RS and GIS based approach in Apodi-Mossoró estuary, Northeast Brazil. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 2, n. 3, 2012.
- Boruff, B.J., Emrich C. e Cutter S.L. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 5, p. 932-942, 2005.
- BND0 - BANCO NACIONAL DE DADOS OCEANOGRÁFICOS. **Tábua das marés (2005 - 2014)**. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Marinha do Brasil. Disponível em <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>>. Acesso em: 06/06/2015.
- Brasil. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II**. Resolução N° 05 - Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. Brasília, DF: CIRM, 1997.
- Brasil. **Projeto Orla: Fundamentos para gestão integrada**. Brasília: MMA/SQA, Brasília: MP/SPU. 78p., 2002.
- Brasil. **Decreto N° 5.300. Regulamenta a Lei no 7.661. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC e dá outras providências**. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm)>. Acessado em: 05 de abril de 2014.
- Brasil. **Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão**. Brasília: MMA/MPO. 104 p, 2004.
- Brasil. **Plano de Ação Federal da Zona Costeira do Brasil**. Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro - GI - A GERCO. Brasília. 23 p., 2005.
- Brasil. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. Ministério do Meio Ambiente. 242 p., 2008.

- Brasil. **Lei Nº 12.255**. Dispõe sobre o salário mínimo a partir de 1º de janeiro de 2010. Disponível em: <[http://www.portalbrasil.net/salariominimo\\_2010.htm](http://www.portalbrasil.net/salariominimo_2010.htm)>. Acesso em: 03/04/2013.
- Brasil. **Lei Nº 12.651. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**. 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acessado em: 12/09/2013.
- Brasil. **Relatório de Gestão Gerência Costeira 2010 - 2012**. Gerência Costeira - MMA. 35 p, 2013.
- Brasil. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187). Acesso em: 22/03/2014.
- Brasil. **Malha geométrica dos municípios brasileiros**. 2014. Disponível em: <<http://dados.gov.br/dataset/malha-geometrica-dos-municipios-brasileiros>>. Acesso em: 08/02/2014.
- Brasil. **Os 25 anos do Gerenciamento Costeiro no Brasil: Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC)**. Ministério do Meio Ambiente. 181 p., 2014.
- Brasil. **Plano nacional de adaptação à mudança do clima. Volume II: Estratégias Setoriais e Temáticas**. Versão Consulta Pública. 329 p., 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 12/11/2015.
- Boruff, B.J., Emrich, C. e Cutter, S.L. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 5, p. 932-942, 2005.
- Busman, D.V., Mendes, A.C. e Gregório e A.M.S. Percepção e reação dos proprietários à erosão na praia do Farol Velho - Salinópolis/PA. **In: X Congresso Brasileiro de Oceanografia**, 2005, Vitória. Anais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Oceanografia, 2005a.
- Busman, D.V., Mendes, A.C. e Gregório, A.M. da S. Caracterização e avaliação das obras de contenção á erosão na praia do Farol Velho (Salinópolis/PA). **In: II Congresso Brasileiro de Oceanografia**, 2005, Vitória. Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2005b.
- Busman, D.V. **Subsídios Técnicos para o Planejamento Territorial dos municípios de Arroio Grande, Capão do Leão, Jaguarão e Pedro Osório/RS/Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Fundação Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 113 p., 2006.
- Castro, F.T.C, Araujo, R.C.P. e Sousa, H. C. Valoração Econômica dos Usos Diretos do Ecossistema Manguezal: O caso da foz do rio Jaguaribe. **In: Anais do 48º Congresso SOBER (Sociedade Brasileira de economia, Administração e Sociologia Rural)**. Campo Grande – MS, 2010.
- CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe. **Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe - RIESGOS**. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL. Santiago do Chile. 44p., 2015.
- Colton, T. **Statistics in Medicine**. Little Brown and Company, New York, NY, 1974.
- Confalonieri, U.E.C. Variabilidade climática, vulnerabilidade Social e saúde no Brasil. **Terra Livre**, v. 19, p. 193-204. 2003.

- Confalonieri, U.E.C. Mudança climática global e saúde humana no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 27, p. 323-349, 2008.
- Costanza, R., d'Arge, R., Groot, R. de, Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. e Belt, M. v. d. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p.253-260, 1997.
- Costanza, R., Groot, R. de, Sutton, P., Ploeg, S.v.d., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S. e Turner, R.K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 152-158, 2014.
- Costa, C.A.G., Teixeira, A.S., Andrade, E.M., Lucena, A.M.P. e Castro, M.A.H. Análise da influência vegetacional na altimetria dos dados SRTM em bacias hidrográficas no semiárido **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 222-230, abr-jun, 2010a.
- Costa, M.B.S.F., Mallmann, D.L.B., Pontes, P.M. e Araujo, M. Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 341-349. 2010b.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000**. Organizador: Luiz Alberto de Aquino Angelim – Recife/PE. Serviço Geológico do Brasil. 2007.
- Craveiro, J.L., Pires, I.M. e Almeida, I.D. **Vulnerabilidades e percepção do risco de erosão costeira na costa da Caparica – a divisão social e territorial de uma comunidade urbana**. 2012. Disponível em: <[www.infohabitar.blogspot.com.br/2012/01/vulnerabilidades-e-percepcao-do-risco.html](http://www.infohabitar.blogspot.com.br/2012/01/vulnerabilidades-e-percepcao-do-risco.html)>. Acesso em: 25/03/2013.
- Crepani, E., Medeiros J.S., Hernandez, P., Florenzano, T.G., Duarte, V. e Barbosa, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. SAE/INPE, São José dos Campos. 2001.
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. e Shirley, W.L. Socioeconomic vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, 2003.
- Cutter, S.L.E. e Finch, C. 2007. Temporal and spatial changes in socioeconomic vulnerability to natural hazards. PNAS. Disponível em: <<http://www.pnas.org>>. Acesso em: 05/02/2014.
- Cutter, S.L., Emrich, C.T., Webb, J.J. e Morath, D. Socioeconomic vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature. **Final Report**. Hazards and Vulnerability Research Institute Department of Geography. University of South Carolina/Columbia, SC. 44 p., 2009..
- Dias, F. de M., Miceli, B.S., Seabra, F.M, Santos, P.R.A. e Fernandes, M. do C. Avaliação Vertical de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em Diferentes Configurações Topográficas para Médias e Pequenas Escalas. **In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio, p.4110, 2011.
- DOU - Diário Oficial da União. Décima Primeira Rodada de Licitações de Blocos Para Outorga de Contratos de Concessão Para Exercício das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural Em Blocos Com Risco Exploratório. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Aviso de Consulta Pública No - 16/2013**. Nº 103, 2013.
- Dwarakish, G.S., Vinay, S.A., Natesan, U., Asano, T., Kakinuma, T., Venkataramana, K., Pai, B.J. e Babita, M.K. Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udipi

- coastal zone of Karnataka state, west coast of India. **Ocean e Coastal. Management.** v. 52, n. 9, p. 467 - 478, 2009.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. EMBRAPA: Rio de Janeiro, 2006.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed. EMBRAPA: Rio de Janeiro/SPI, 286 p., 2013.
- Eastman, J.R. **IDRISI Selva. Guia para SIG y Procesamiento de imágenes.** Manual, version, 17 p., 2012.
- Esteves, L. S., Silva, A. R. P., Arejano, T. B., Pivel, M. A. G., Vranjac, M. P. e Barletta, R. C. **Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil.** Journal of Coastal Research, Itajaí, SC, v. 35 (SI), p. 548-556, 2003.
- Esteves, L. S. **Managed Realignment: A Viable Long-Term Coastal Management Strategy?** 1 ed. New York: Springer. 139 p., 2014.
- Fernández, V., Gómez, M. e Guigou, B. Coastal vulnerability index to global change in Uruguay. **In:** 11th International Symposium for GIS and Computer Cartography for Coastal Zones Management, 2013.
- FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz. **Análise da Vulnerabilidade da População Brasileira aos Impactos Sanitários das Mudanças Climáticas.** Plano Plurianual de Governo – PPA. Programa mudanças climáticas - Resultados obtidos, 201 p., 2007.
- Fortunato I. e Fortunato Neto J. Risco ambiental à luz dos princípios da precaução e da prevenção. **In:** Guimarães S.T. de L., Carpi Jr S., Godoy M.B.R.B., Tavares A.C. (Org.) *Gestão de Áreas de Riscos e Desastres Ambientais*, p. 404, 2012.
- Franco C.G.M., Amaro, V.E., Souto M.V.S. Prognóstico da erosão costeira no litoral sententrional no Rio Grande do Norte para os anos de 2020, 2030 e 2040. **Revista de Geologia**, v. 25, p. 37-37, 2012.
- Freitas, M.I.C. e Cunha, L. Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana** (Brazilian Journal of Urban Management), v. 5, n. 1, p. 15-31, 2013.
- Germani, Y.F.; Figueiredo, S.A. de; Calliari, L.J.; Tagliani, C.R.A. Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação. do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. **Revista de Gestão Costeira Integrada** (Journal of Integrated Coastal Zone Management), v. 5, n. 1, p. 121-131, 2015.
- Góes, A.M., Rossetti, D.F., Nogueira, A.C.R., Toledo, P. M. de. Modelo deposicional preliminar da formação pirabas no nordeste do estado do Pará. **Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi. sér. Ciências do Terra**, v. 2., 1990.
- Gois, L.A., Oliveira, N.M.G.A., Manso, V.A.V. Processos erosivos costeiros da praia de Boa Viagem. **Mercator**, v. 12, n. 27, p. 111-133, 2013.
- Gornitz, V. Global coastal hazards from future sea level rise. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)**, v. 89, p. 379-398, 1991.
- Gornitz, V., White, T. W. e Cushman, R. M. Vulnerability of the U.S. to future sea-level rise. Coastal Zone '91. pp. 2354-68. **In:** Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management. ASCE. 1991.

- Gornitz V. e White, T.W. 1992. **A coastal hazards database for the U.S. East Coast.** ORNL/CDIAC-45, NDP-043A. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Gornitz, V.M., Daniels, R.C., White, T.W., Birdwell, K.R. The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. **Journal of Coastal Research**, v. 12 (SI), p. 327-338, 1994.
- Gratiot, N., Anthony E.J., Gardel A., Gaucherel C., Proisy, C. e Wells, J.T. Significant contribution of the 18.6 year tidal cycle to regional coastal changes. **Nature Geoscience**, v. 1, p. 169-172, 2008.
- Gregório, A.M.S., Mendes, A.C. e Busman, D.V. Morfodinâmica da praia do Atalaia Salinópolis/PA. **In: Anais do X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, Guarapari. 2005.
- Gregório, A.M. da S., Mendes, A.C. e Busman, D.V. Erosão na Praia do Atalaia - Salinópolis/PA.. **In: Mendes, A.C., Prost, M.T., Castro, E. (eds). Ecosistemas amazônicos: dinâmicas, impactos e valorização dos recursos naturais.** 1 ed. Belém / PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, p. 157-186, 2011.
- Grigio, A.M. **Aplicação do sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de guararé (RN): Simulação de risco às atividades da indústria petrolífera.** Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Agencia Nacional do Petróleo. Orientador: Venerando Eustáquio Amaro. 2003.
- Grigio, A.M. **Evolução da paisagem do baixo curso do Rio Piranhas - ASSU (1988-2024): uso de autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulações de cenários futuros.** Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, . Orientador: Venerando Eustáquio Amaro. 2008.
- Grigio, A.M., Castro, A.F., Souto, M.V.S., Amaro, V.E. e Vital, H. Use of remoting sensing and geographical information system in the determination of the natural and environmental vulnerability of the Municipal District of Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 293-298, 2004.
- Guimarães, D.P., Landau, E.C. e Costa, T.C.C. Relevo digital dos municípios brasileiros. **In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 7283-7290, 2009.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro.** Resolução do Presidente, 8 p., 2005.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas.** 177 p., 2011.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados Censitários 2010.** 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23/07/2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos municípios - 2012.** 2014. Disponível em: <<http://.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 14/04/2015.
- IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu município – Guamaré.** v.10, p.1-23, 2008a.
- IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu município – Macau.** v.10, p.1-23, 2008b.

- IFDM - Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal. **Nota metodológica - Versão Completa**. Edição 2014. Ano Base 2011. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/ifdm/downloads/>>. Acesso em: 22/09/2015.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Dados históricos**. 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>> Acesso em: 08/10/2014.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2014. Disponível em:< <http://www.dsr.inpe.br/topodata>>. Acesso em: 08/02/2014.
- IOCM - Intergovernmental Oceanographic Commission. **A Handbook for Measuring the Progress and Outcomes of Integrated Coastal and Ocean Management**. IOC Manuals and Guides, 46, ICAM Dossier, 2. Paris, UNESCO (English), 2006.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the IPCC Third Assessment Report. 2001.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. **In: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p., 2012.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Working Group II Fifth Assessment Report (AR5). 2013.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Chapter 19 - Final Draft. IPCC Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report, 107 p., 2014a.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation, and Vulnerability - Summary for Policymakers**. Phase I Report Launch. IPCC Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report, 44 p., 2014b.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Working Group II Fifth Assessment Report (AR5). 2014.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2014. **Índice de Gini**. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 02/06/2014.
- ITP - Instituto de Tecnologia de Pernambuco. **Relatório de impacto ambiental-RIMA: Recuperação da Orla Marítima** – Municípios de Jaboatão dos Guararapes, Recife, Olinda e Paulista (Pernambuco)/ Instituto de Tecnologia de Pernambuco. Recife, 98 p., 2012.
- IV - Iniciativa Verde. **Relatório do IPCC para os tomadores de decisão – WGII AR 5. Versão em português traduzida pela Iniciativa Verde**. 47 p., 2015. Disponível em: <[www.iniciativaverde.org.br](http://www.iniciativaverde.org.br)>. Acesso em: 10/10/2015.
- Klein, R.J.T. e R.J. Nicholls. Assessment of coastal vulnerability to climate change. **Ambio**, v. 28, n. 2, p. 182-187, 1999.
- Koerner, K. F., Oliveira, U. R. e Gonçalves, G. Efeito de estruturas de contenção à erosão costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n. 4, p. 457-471, 2013.

- Koks, E.E., Jongman, B., Husby, T.G. e Botzen, W.J.W. Combining hazard, exposure and socioeconomic vulnerability to provide lessons for flood risk management. **Environmental Science e Policy**, v. 47, p. 42- 52, 2015.
- Komar, P.D. **Beaches processes and sedimentation**. Englewood Gliffs, New Jersey: Praticce Hall, 429 p., 1976.
- Lacerda, G.B.M. **Diretrizes para a Gestão Estratégica de Risco à Inundação Costeira em uma Planta Industrial de Petróleo na Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013. XVII, 167 p. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2013.
- Lattin, J. M.; Carrol, J. D.; Green, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 475 p, 2011.
- Lins-de-Barros, F.M. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 2., 2005.
- Macau. **Prefeitura de Macau - Conheça Macau: Histórico**. 2016. Disponível em: <<http://macau.rn.gov.br/conheca-macau/>>. Acesso em: 05/02/2016.
- Macedo, Y. M, Almeida, L. Q, Maciel, A. B. C e Troleis, A. L. Vulnerabilidade Socioambiental em escala de detalhe: o caso de Mãe Luiza, Natal, RN, Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 2, p. 145-157, 2015.
- Mahapatra, M., Ratheesh, R. e Rajawat, A.S. Sea Level Rise and Coastal Vulnerability Assessment: a review. International Journal of Geology, **Earth Environmental Sciences**, v. 3, p. 67-80, 2013.
- MAI - Monitoramento Ambiental Integrado. **Erosão costeira erosão costeira. Comitê Interinstitucional - Projeto de Monitoramento Ambiental Integrado**. Jaboatão dos Guararapes, Recife, Olinda, Paulista, 2007. Disponível em: <[http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/apresentacao\\_mai.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/apresentacao_mai.pdf) >. Acesso em: 10/03/2015.
- Martins. K. A. **Vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas através de indicadores em Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Oceanografia - Universidade Federal de Pernambuco. 107 p., 2015.
- Martins, V.N., Pires, R. e Cabral, P. Modelling of coastal vulnerability in the stretch between the beaches of Porto de Mós and Falésia, Algarve (Portugal). **J. Coast. Conserv.**, v. 16, p. 503-510, 2012. DOI 10.1007/s11852-012-0191-6.
- Martins, K. A. e Pereira, P.S. 2014. Coastal Erosion at Pau Amarelo Beach, Northeast of Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 71, p. 17-23, 2014.
- Matos M.F.A., Fortes C.J.E.M., Amaro V.E. e Scudelari A.C. Análise Comparativa da Agitação Obtida com o Modelo Numérico (SWAN) na Modelagem de Ondas do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e Dados de Campo. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, p. 1-17, 2013.
- 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**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 170 p. 2007.

- Mazzer A.M., Dillenburg S.R. e Souza C.R. de. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, p. 278-294, junho, 2008.
- Mcgranahan, G., Balk, D. e Anderson, B. 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. **Environment e Urbanization Copyright © International Institute for Environment and Development**, v. 19, n. 1, p. 17-37.
- Meira, C.T., Pereira, I.G., Farah, M.M., Pires, A.V., Garcia, D.A. e Cruz, V.A.R. Seleção de características morfofuncionais de cavalos da raça Mangalarga Marchador por meio da análise de componentes principais. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.6, p.1843-1848, 2013.
- Melgaço, L. M., Souza Filho, C. R. e Steinmayer, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. **In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21, abril 2005, INPE, p. 1215-1220, 2005.
- Mendes, A.C., Silva, M.S. e Faria Jr., L.E.C. Expansão urbana e seus efeitos danosos ao meio ambiente da ilha do Atalaia - Salinópolis/PA. **In: Costa, M. L. e Angélica, R. S. (coord.) Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém, FINEP – SBG/NO. p. 359-396, 1997.
- Mendes, A.C., Santos, V.F. e Silva, M.S. Análise do meio físico para a gestão ambiental: das ilhas de Algodoal e Atalaia (NE do Pará). **In: Maria Thereza Ribeiro da Costa Prost, Amilcar Carvalho Mendes. (Org.). Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental**. 1ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi - Comissão de Editoração Científica, v. 1, p. 103-112, 2001.
- Metzger, M.J., Leemans, R., Schröter, D.; Cramer, W. e the ATEAM consortium. The ATEAM vulnerability mapping tool Quantitative Approaches in Systems Analysis. no. 27. 2004. Disponível em: < [https://www.pik-potsdam.de/ateam/QASA27\\_manual.pdf](https://www.pik-potsdam.de/ateam/QASA27_manual.pdf)>. Acesso em: 15/04/2014.
- Mingoti, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte. Editora UFMG, Minas Gerais, 297 p., 2005.
- Mingoti, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte. Ed. UFMG. 2º Reimpressão, 297 p., 2013.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2016. **País avalia vulnerabilidade ao clima**. Disponível em: < [www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=1449](http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=1449) >. Acesso em: 28/02/2016.
- MPRN - Ministério Público Estadual do Rio Grande do Norte. **Justiça obriga empresa fazer manutenção do enrocamento**. Categoria Meio Ambiente Notícias. 2015. Disponível em: <<http://www.mprn.mp.br/portal/inicio/meio-ambiente/meio-ambiente-noticias/6630-justica-obriga-empresa-a-fazer-manutencao-do-enrocamento>>. Acesso em 15/04/2015.
- Muehe, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator**, v. 4, n. 7, 2005.
- Muler, M. **Avaliação da vulnerabilidade de praias da ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um índice multicritério**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 189 p., 2012.
- Mussi, C.S. **Avaliação da Sensibilidade Ambiental costeira e de risco à elevação média do nível dos oceanos e incidencia de ondas de tempestade: um estudo de caso para a ilha de**

- Santa Catarina, S.C.** Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Vale do Itajaí, 75 p., 2011.
- Nascimento, M.C. do. **A Erosão Costeira e sua Influência sobre a Atividade Petrolífera: Alternativas Sustentáveis na Mitigação de Impactos Ambientais.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 229 p., 2009.
- Neves, C.F. e Muehe, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a Zona Costeira. **Parcerias Estratégicas**, v. 27, p. 217-295, 2008.
- Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J. e Nicholls, R.J. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, 2015. doi:10.1371/journal.pone.0118571.
- Nicholls R.J., Mimura N., Topping, J. Climate change in South and Southeast Asia: some implications for coastal areas. **J Global Environ Eng**, v. 1, p.137-154, 1995.
- Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden e C.D. Woodroffe. Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 315-356. 2007.
- Nicholls, R.J. e Cazenave, A. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. **Science**, v. 328, 2010.
- Nicholls, R.J., Marinova, N., Lowe, J.A., Brown, S., Vellinga, P., Gusmão, D., Hinkel, J., Tol, R.S.J. Sea-level rise and its possible impacts given a 'beyond 4°C world' in the twenty-first century. **Phil. Trans. R. Soc. A**. v. 369, p. 161-181, 2011.
- Nicolodi, J.L. e Petermann, R.M. Potential vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental, social, and technological aspects. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 184-204, 2010.
- Nobre, C.A. Mudanças climáticas e o Brasil – Contextualização. **Parcerias Estratégicas**, v. 27, p. 8 - 18, 2008.
- Oliveira, C. G. **Avaliação de modelos digitais de elevação gerados a partir de sensores remotos orbitais óptico (ASTER) e radar (RADARSAT-1, SRTM): um estudo para a região da Serra dos Carajás (PA).** Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 184p., 2005.
- Oliveira, C.G. e Paradella, W.R. An Assessment of the Altimetric Information Derived from Spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and Optical (ASTER) Data for Cartographic Application in the Amazon Region. **Sensors**, v. 8, p. 3819-3829, 2008. DOI: 10.3390/s8063819.
- Oliveira, P.T.S., Rodrigues, D.B.B., Alves Sobrinho, T. e Panachuki E. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 28, n. 4, p. 417-424, 2009.
- Özyurt, G. **Vulnerability of Coastal Areas to Sea Level Rise: A case study on Göksu Delta.** Master of Science in Civil Engineering of Middle East Technical University. 113 p., 2007.

- Özyurt, G. e Ergin, A. Application of Sea Level Rise Vulnerability Assessment Model to select coastal areas of Turkey. **Journal of Coastal Research**. Proceedings of 10<sup>th</sup> International Coastal Symposium, Lisbon, Portugal , 248-251, 2009.
- Özyurt, G. e Ergin, A. Improving coastal vulnerability assessments to sea-level rise: a new indicator-based methodology for decision makers. **Journal of Coastal Research**, v. 26, n. 2, p. 265-73, 2010.
- Parris, A., P. Bromirski, V. Burkett, D. Cayan, M. Culver, J. Hall, R. Horton, K. Knuuti, R. Moss, J. Obeysekera, A. Sallenger e J. Weiss. **Global Sea Level Rise Scenarios for the US National climate assessment**. NOAA tech memo oar cpo-1. 37 p., 2012.
- Passareli, L. da S. **Manguezais sob uma perspectiva social e econômica: Percepção ambiental e valoração do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF - Campos dos Goytacazes - RJ. Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense. 107 p., 2013.
- Pendleton, E.A., Thieler, E.R. e Williams, S.J. Importance of Coastal Change Variables in Determining Vulnerability to Sea- and Lake-Level Change. **Journal of Coastal Research**, v. 26, 2010.
- Pereira, L.C.C., Pinto, K.S.T. e Vila-Concejo, A. Morphodynamic variations of a macrotidal beach (Atalaia) on the Brazilian Amazon Coast. **Journal of Coastal Research**, v. 70 (SI), p. 681-686, 2014.
- Pfeffer, W., Harper, J., O'Neel, S. Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea-level rise. **Science**, v. 321, p. 1340-1343, 2008.
- Phillips, M.E. e Jones, A. Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: Problems, consequences and management. **Tourism Management**, v. 27, p. 517-524, 2006.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil 2013**. 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br>>. Acesso em: 22/07/2014.
- Prost, M.T.R.C. e Mendes, A.C. **Ecosistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, 215 p. 2001.
- Quintão, A.F.E. e Confalonieri, U.E.C. Vulnerabilidade socioambiental e de saúde da população dos municípios mineiros aos impactos das mudanças climáticas. **In: II Simpósio Brasileiro de Saúde e Ambiente Desenvolvimento, Conflitos Territoriais e Saúde: Ciência e Movimentos Sociais para a Justiça Ambiental nas Políticas Públicas**. 19 a 22 de outubro, Belo Horizonte/MG. 2014.
- Rangel-Buitrago, N.E. e Anfuso, G. Assessment of Coastal Vulnerability in La Guajira Peninsula, Colombian Caribbean Sea. *Journal of Coastal Research*, v. 56 (SI), p. 792-796, 2009.
- Ranieri, L.A.E. e El-Robrini, M. Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina - Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 1, 2015.
- Rebello, F. **Os Riscos Naturais em Portugal**. Adaptado, revisto e actualizado a partir de: REBELO, Fernando (1991) - Riscos Naturais. Portugal Moderno. Geografia, Lisboa, POMO, p. 85-93, 2003.

- Rodríguez, E., Morris, C.S. e Belz, J.E. A Global Assessment of the SRTM Performance. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, n. 3, March, p. 249-260. 2006.
- Rodrigues, J.E.C. e Szlafstein, C.F. Análise do porto de vila do conde como uma área de ameaça potencial ao derramamento de óleo. **Revista GeoAmazônia**, v. 1, n. 1, p. 93 – 106, 2013. DOI: 10.17551/2358-1778/geoamazonia.n1v1p106-121.
- Rosa, E.M. e Silveira, I.M. da. Identificação na formação de ilhas barreiras através do sensoriamento remoto no município de Guamaré/RN. **In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril, 2013.
- Rousseeuw, P.J. Least Median of Squares Regression. **Journal of the American Statistical Association**, December. p. 871-880, 1984. Disponível em: <[http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro\\_refs/LeastMedianOfSquares.pdf](http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/LeastMedianOfSquares.pdf)>. Acesso em: 17/06/2014.
- Rudorff, F.M.I e Bonetti, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da ilha de Santa Catarina. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v. 14, n. 1, p. 9-20., 2010.
- Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**, v. 1, p. 83 – 98, 2008.
- Santos, P.R.A., Gaboardi, C., Oliveira, L.C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4473-4480, 2005.
- Santos, M.S.T. **Contribuição da Geodésia ao Monitoramento Costeiro do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Área de Influência da Indústria Petrolífera**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 151 p, 2011.
- Santos, M.S.T. e Amaro, V.E. Rede geodésica para o monitoramento costeiro do Litoral Setentrional do estado do Rio Grande do Norte. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, n. 4, p. 571-585, 2011.
- Santos, M.S.T. e Amaro, V.E. Dinâmica sazonal de processos costeiros e estuarinos em sistema de praias arenosas e ilhas barreira no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 151-162, 2013.
- Santos, A.L.S., Amaro, V.E. e Santos, M.S.T. Terrestrial Laser Scanner Applied to Monitoring Beach Morphological Changes in a High Energy Coastal Zone in Northeast Brazil. **In: 7th International Terrestrial Laser Scanning User Meeting**, 2014, Rome. 2014.
- Santos, A.L.S., Amaro, V.E. e Santos, M.S.T. Avaliação de metodologia de aquisição de dados para representação de feições morfológicas de praias arenosas através de modelo digital de elevação. **Mercator** (Fortaleza. Online), v. 14, p. 137, 2015.
- Schaeffer-Novelli, Y. e Varjabedian, R. Valoração monetária de danos ambientais: experiências na zona costeira, ferramentas e comentários. **MPMG jurídico**, esp., p. 50-55, 2011.
- Schumann, L.R.M.A. e Moura, L.B.A. Índices sintéticos de vulnerabilidade: uma revisão integrativa de literatura. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 20, n. 7, p. 2105-2120, 2015.
- Scolero, T.L. **Avaliação da Sensibilidade ambiental costeira e análise de risco socioambiental do litoral centro-norte catarinense, com base na vulnerabilidade do ambiente às mudanças climáticas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 129 p., 2013.

- Sharples, C., Mount, R.E. e Pedersen, T. **The Australian coastal smartline Geomorphic and stability map version 1: Manual and data dictionary**. School of Geography e Environmental Studies, University of Tasmania. 8th October 2009. Manual version 1.1. 183 p., 2009.
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.H. e Solomon, S. Sensitivity of the Canadian Coast to Sea-Level Rise. **Geological Survey of Canada Bulletin**, v. 505, 114 p., 1998.
- Short, A.D.E. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Wiley, New York. 392 p., 1999.
- Silva, P.E. **Índices epidemiológicos de vulnerabilidade à seca das microrregiões do Rio Grande do Norte, 2000 e 2010**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Demografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 95 p., 2014.
- Silva, P.E., Tinoco, I.C.M., Nascimento, T.A.R., Spyrides, M.H.C. e Lucio, P.S. Índices de vulnerabilidade socioambiental para os municípios do rio grande do norte. Dados censitários de 2000. **In: XIX Encontro nacional de Estudos Populacionais**, realizado em São Pedro, SP, 24 a 28 de novembro, 2014.
- Smit, B. e Wandel, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 282-292, 2006.
- Souto, M.V.S. **Análise da evolução costeira do litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera**. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 177 p., 2009.
- Souza, C.R.G. **As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Volume I – Texto (184 p.) e Volume II – Anexos (174 p.), 1997.
- Souza, C.R.G. A erosão costeira e os desafios da erosão costeira no Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009.
- Souza, J.O.P. Análise da precisão altimétrica dos Modelos Digitais de Elevação para área semiárida do Nordeste Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 30, p. 56-64, 2015.
- Souza, D.L. de. Urbanização Turística, Políticas Públicas e Desenvolvimento: O Caso de Salinópolis/PA. **Geografia em Questão**, v.7, n. 1, p. 65-86, 2014a.
- Souza, G.B.N de. Ocupação e Uso do solo na Ilha do Atalaia, Salinópolis (PA): Análise Socioambiental do Litoral Amazônico Brasileiro. **In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Geógrafos**. 10 a 16 de Agosto, 2014b.
- Souza Filho, P.W.M. **Avaliação e Aplicação de dados de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, Norte do Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, 210 p., 2000.
- Strand, L.B., Tong, S., Aird, R. e McRae, D. Climate change: the views of government stakeholders and other specialists in Queensland, Australia. **BMC Public Health**, v. 10, p. 441, 2010.
- SURVAS - Synthesis and Upscaling of Sea-level Rise Vulnerability Assessment Studies. **SURVAS Project**. 2004. Disponível em: <

- [www4.unfccc.int/sites/NWP/pages/item.aspx?ListItemId=22969&ListUrl=/sites/nwp/Lists/MainDB](http://www4.unfccc.int/sites/NWP/pages/item.aspx?ListItemId=22969&ListUrl=/sites/nwp/Lists/MainDB)>. Acesso em: 09/03/2014.
- Szlafsztein, C.F. Climate change, Sea-level rise and Coastal Natural Hazards: A GIS-Based Vulnerability Assessment, State of Pará, Brazil. **In:** Human Security and Climate Change An International Workshop Holmen Fjord Hotel, Asker, near Oslo, 21-23 p., 2005.
- Szlafsztein, C. e Sterr, H. A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil. **Journal of Coastal Conservation**, v. 11, p. 53-66., 2007.
- Tagliani, C.R.A. **A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 252p, 2002.
- Tagliani, C.R.A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. **In:** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril, INPE, p. 1657-1664, 2003.
- Tagliani, C.R.A., Calliari, L.J., Tagliani, P.R. e Antikeira, J.L.F. Vulnerability to sea level change of an estuarine island in southern Brazil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 2, p. 18-24, 2010.
- Távora, V. de A, Santos, A.A.R. dos e Araújo, R. N. Localidades fossilíferas da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.**, Belém, v. 5, n. 2, p. 207-224, maio-ago, 2010.
- Thieler, E.R. e Hammar-Klose, E.S. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast. **U.S. Geological Survey Open-File Report**, p. 99-593, 1999.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. e Ergul, A. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: **U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278**. 2009. Disponível em: <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/version4/>. Acessado em: 11/ 12/2012.
- Tominaga, L.K., Santoro, J. e Amaral, R. (Orgs). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, v. , p. 71-84. 196 p., 2009.
- Torresan, S., Critto, A., Rizzi, J. e Marcomini, A. Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: the case study of the North Adriatic Sea. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, v. 12, p. 2347-2368, 2012.
- Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE/SUPREN, 91 p., 1977.
- Tunísia. **Etude sur la delimitation du domaine public maritime en prevision d'une elevation acceleree du niveau de la mer en Tunisie**. Ministère de l'Industrie, de l'Energie. 2011. Disponível em: <http://www.changementsclimatiques.tn/>. Acessado em: 14/10/2011.
- UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Rio Grande do Norte**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC. 57 p., 2011.
- UK-EA - United Kingdom Environment Agency. **Flood Risk Management Plan 2015 to 2021 PART B – Sub Areas in the North West river basin district**. 139 p., 2016.

- UNB - Universidade de Brasília. **Análise do Sistema de Cotas Para Negros da Universidade de Brasília. Período. 2º semestre de 2004 ao 1º semestre de 2013.** Universidade de Brasília. 52 p., 2013.
- UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Terminology: Basic terms of disaster risk reduction.** 2009a. Disponível em: <[www.unisdr.org](http://www.unisdr.org)>. Acesso em: 21/07/2015.
- UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres.** 2009 b. Disponível em: <[www.unisdr.org](http://www.unisdr.org)>. Acesso em: 21/07/2015.
- UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995-2015.** Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), 30 p., 2015. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/46796>>. Acesso em: 10/12/2015.
- USGS - United States Geological Survey. **Digital shoreline analysis system (DSAS) - Computer Software for Calculating Shoreline Change.** 2014a. Disponível em: <<http://woodshole.er.usgs.gov>>. Acesso em: 11/03/2014.
- USGS - United States Geological Survey. **Shuttle Radar Topography Mission – Mapping the world in 3 dimensions.** 2014b. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov>>. Acesso em: 11/03/2014.
- USGS - United States Geological Survey. **Coastal Change Hazards Portal.** 2016. Disponível em: <[marine.usgs.gov/coastalchangehazardsportal](http://marine.usgs.gov/coastalchangehazardsportal)>. Acesso em: 22/02/2016.
- Varnes, D.J. **Landsline hazard zonation: Review of principles and practice.** Paris: UNESCO Press. 56 p., 1984.
- Vellinga, P., Marinova, N., Hazeleger, W., Katsman, C., Sterl, A. e Beersma, J. Exploring high-end climate change scenarios for flood protection of The Netherlands. Chapter I - High-end projection for local sea level rise along the Dutch coast in 2100 and 2200. International Scientific Assessment carried out at request of the Delta Committee. **Scientific report WR-2009-05.** KNMI, Alterra, The Netherlands. 2008.
- WAG - Welsh Assembly Government. **Flood and Coastal Erosion Risk Management: Development of a National Strategy for Wales.** Consultation Document. 106 p., 2010.
- WEF - World Economic Forum. **The Global Risks Report 2016.** 11th Edition is published by the World Economic Forum. 103 p., 2016. Disponível em <[http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF\\_GRR16.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF_GRR16.pdf)>. Acesso em: 11/01/2016.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. e Davis, I. **At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters.** Routledge, Abingdon, UK and New York, NY, USA, 471 p., 2003.
- Yoo, J. e Rohli, R.V. Global distribution of Köppen–Geiger climate types during the Last Glacial Maximum, Mid-Holocene, and present. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 446, p. 326-337, 2016.
- Zanella, M.E., Olimpio, J.L.S., Costa, M.C.L. e Dantas, E.W. Vulnerabilidade Socioambiental do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. **Sociedade e Natureza**, v. 25, p. 317-332, 2013.
- Zou, L. e Thomalla, F. The Causes of Socioeconomic vulnerability to Coastal Hazards in Southeast Asia. An SEI (Stockholm Environment Institute) **Working Paper**. 100 p., 2008.

# ANEXOS

Tabela 1: Cargas da análise de componentes principais das variáveis socioeconômicas de todos os municípios do Pará e do Rio Grande do Norte.

Nº	CARGAS PA RN	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11
1	<b>POPULAÇÃO TOTAL</b>	0,30	0,26	0,14	-0,03	0,02	-0,04	0,02	-0,11	0,23	-0,06	0,03
2	<b>RAZÃO URBANA/RURAL</b>	0,20	0,14	0,24	0,13	-0,03	0,10	-0,12	0,43	-0,58	0,27	0,01
3	<b>RAZÃO GÊNERO</b>	-0,01	-0,01	0,07	-0,24	-0,80	0,03	-0,49	-0,15	-0,01	-0,04	0,11
4	<b>DENSIDADE DEMOGRÁFICA</b>	0,29	0,17	0,24	0,08	-0,03	0,03	-0,06	0,26	-0,15	0,13	0,04
5	<b>RAZÃO DE DEPENDÊNCIA</b>	-0,20	0,28	-0,04	0,04	-0,11	-0,02	0,08	0,03	0,01	0,20	0,26
6	<b>ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO</b>	0,07	-0,34	0,35	0,13	0,08	0,03	0,04	-0,15	-0,12	-0,20	-0,02
7	<b>TAXA DE ANALFABETISMO</b>	-0,16	-0,16	0,48	-0,07	0,02	0,07	0,12	-0,17	-0,24	-0,27	0,04
8	<b>MAIORES 18</b>	-0,31	0,10	0,29	0,08	0,05	0,04	-0,03	-0,12	-0,08	-0,21	-0,05
9	<b>IDHM EDUCAÇÃO 2010</b>	0,28	-0,26	-0,08	0,03	-0,02	-0,04	0,00	0,00	0,02	0,13	-0,05
10	<b>RENDA PER CAPITA</b>	0,07	0,04	-0,10	0,04	0,05	0,96	-0,01	-0,21	0,03	0,06	-0,02
11	<b>VALOR PIB AGROPECUÁRIA</b>	0,00	0,02	-0,04	-0,51	0,55	-0,04	-0,61	-0,11	-0,14	0,02	0,12
12	<b>VALOR PIB INDÚSTRIA</b>	0,14	0,08	-0,20	-0,24	-0,07	-0,13	0,39	-0,55	-0,52	0,17	0,11
13	<b>VALOR PIB SERVIÇOS</b>	0,31	0,24	0,18	-0,04	0,02	-0,04	0,05	-0,14	0,10	-0,06	0,03
14	<b>ÍNDICE DE GINI</b>	-0,04	0,32	-0,20	-0,04	-0,04	-0,03	-0,01	-0,05	-0,22	-0,10	-0,68
15	<b>TAXA DE DESEMPREGO</b>	0,06	-0,07	0,05	-0,71	-0,10	0,14	0,36	0,43	0,07	-0,19	-0,19
16	<b>Nº DOMICÍLIOS PERMANENTE</b>	0,31	0,25	0,15	-0,03	0,03	-0,04	0,01	-0,11	0,19	-0,08	0,00
17	<b>LONGEVIDADE</b>	0,17	0,07	-0,35	0,23	-0,04	0,00	-0,16	0,10	-0,21	-0,69	-0,01
18	<b>MORTALIDADE INFANTIL</b>	-0,13	0,27	-0,14	-0,08	0,03	0,07	0,18	0,19	-0,09	-0,29	0,60
19	<b>INDICADOR DE SAÚDE</b>	0,30	0,24	0,21	-0,01	0,03	-0,03	0,02	-0,14	0,19	-0,11	0,01
20	<b>CONDIÇÕES DE MORADIA</b>	0,21	-0,34	0,08	-0,05	-0,05	-0,01	0,03	0,01	-0,09	-0,12	0,04
21	<b>VULNERÁVEIS À POBREZA</b>	-0,29	0,18	0,22	-0,07	-0,03	0,02	0,03	0,01	0,11	0,08	-0,09
22	<b>EXTREMAMENTE POBRES</b>	-0,26	0,26	0,18	0,02	0,01	0,00	-0,03	-0,06	-0,09	-0,08	-0,15
	<b>VARIÂNCIA (%)</b>	31,18	19,18	8,90	5,20	4,69	4,36	4,20	3,97	3,36	2,98	2,92
	<b>VARIÂNCIA ACUMULADA (%)</b>	31,18	50,36	59,27	64,47	69,17	73,53	77,73	81,69	85,05	88,03	90,95

Tabela 2: Cargas da análise de componentes principais das variáveis socioeconômicas de todos os municípios do Pará.

Nº	CARGAS PA	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10
1	<b>POPULAÇÃO TOTAL</b>	-0,26	-0,35	0,01	-0,07	0,01	-0,04	0,09	-0,04	0,05	-0,10
2	<b>RAZÃO URBANA/RURAL</b>	-0,19	-0,18	0,09	0,23	0,37	0,23	-0,35	0,08	0,01	0,46
3	<b>RAZÃO GÊNERO</b>	0,21	-0,02	-0,32	-0,31	0,11	0,12	-0,19	0,09	0,08	0,02
4	<b>DENSIDADE DEMOGRÁFICA</b>	-0,25	-0,27	0,13	0,09	0,26	0,14	-0,20	0,06	0,04	0,18
5	<b>RAZÃO DE DEPENDÊNCIA</b>	0,21	-0,21	0,08	0,35	-0,11	0,06	0,00	-0,23	0,08	-0,30
6	<b>ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO</b>	-0,12	0,10	0,48	-0,32	-0,22	-0,03	-0,08	0,28	-0,07	-0,03
7	<b>TAXA DE ANALFABETISMO</b>	0,25	-0,19	-0,06	-0,03	0,06	-0,03	0,02	0,16	0,56	-0,01
8	<b>MAIORES 18</b>	0,31	-0,17	0,03	-0,17	0,07	-0,05	0,03	0,07	0,14	0,05
9	<b>IDHM EDUCAÇÃO 2010</b>	-0,29	0,21	0,10	0,00	-0,15	0,03	-0,04	-0,03	-0,29	0,05
10	<b>RENDA PER CAPITA</b>	-0,04	-0,02	-0,04	0,10	-0,03	-0,89	-0,43	0,02	0,05	0,07
11	<b>VALOR PIB AGROPECUÁRIA</b>	-0,05	0,09	-0,43	-0,37	0,31	-0,17	0,32	-0,14	-0,19	0,27
12	<b>VALOR PIB INDÚSTRIA</b>	-0,13	-0,03	-0,25	0,26	-0,51	0,02	0,12	-0,36	0,13	0,46
13	<b>VALOR PIB SERVIÇOS</b>	-0,25	-0,34	-0,03	-0,13	-0,11	-0,06	0,15	-0,05	0,02	-0,11
14	<b>ÍNDICE DE GINI</b>	0,05	-0,15	-0,27	-0,15	-0,54	0,16	-0,22	0,48	-0,01	0,20
15	<b>TAXA DE DESEMPREGO</b>	-0,10	0,06	-0,10	0,43	0,12	-0,16	0,50	0,64	0,00	0,06
16	<b>Nº DOMICÍLIOS PERMANENTE</b>	-0,26	-0,34	-0,02	-0,13	0,00	-0,06	0,12	-0,02	-0,02	-0,05
17	<b>LONGEVIDADE</b>	-0,17	0,04	-0,38	0,00	0,10	0,10	-0,32	0,06	-0,15	-0,32
18	<b>MORTALIDADE INFANTIL</b>	0,15	-0,22	-0,26	0,30	-0,02	0,03	-0,11	0,09	-0,45	-0,28
19	<b>INDICADOR DE SAÚDE</b>	-0,25	-0,35	0,00	-0,17	-0,07	-0,07	0,13	-0,01	0,03	-0,19
20	<b>CONDIÇÕES DE MORADIA</b>	-0,27	0,25	-0,06	-0,04	-0,03	0,08	-0,04	0,12	0,10	-0,14
21	<b>VULNERÁVEIS À POBREZA</b>	0,27	-0,17	0,25	-0,03	0,01	-0,09	0,15	0,02	-0,33	0,17
22	<b>EXTREMAMENTE POBRES</b>	0,26	-0,26	0,07	-0,08	-0,04	-0,01	-0,01	0,02	-0,40	0,20
	<b>VARIÂNCIA (%)</b>	37,29	14,87	8,99	5,81	5,21	4,59	4,18	3,72	3,09	2,74
	<b>VARIÂNCIA ACUMULADA (%)</b>	37,29	52,16	61,15	66,96	72,17	76,76	80,95	84,66	87,75	90,49

Tabela 3: Cargas da análise de componentes principais das variáveis socioeconômicas de todos os municípios do Rio Grande do Norte.

Nº	CARGAS RN	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
1	<b>POPULAÇÃO TOTAL</b>	0,29	-0,22	0,05	-0,02	0,02	-0,04	0,03	-0,02	0,03
2	<b>RAZÃO URBANA/RURAL</b>	0,27	-0,25	0,14	-0,06	0,08	-0,08	-0,02	-0,05	-0,04
3	<b>RAZÃO GÊNERO</b>	-0,02	-0,07	-0,31	0,34	0,25	-0,54	-0,60	0,01	0,08
4	<b>DENSIDADE DEMOGRÁFICA</b>	0,27	-0,24	0,09	-0,04	0,07	-0,07	0,01	-0,05	-0,06
5	<b>RAZÃO DE DEPENDÊNCIA</b>	-0,18	-0,29	-0,22	0,19	0,09	-0,15	0,25	0,12	-0,07
6	<b>ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO</b>	0,01	0,20	0,61	-0,08	-0,09	-0,02	-0,41	-0,26	0,08
7	<b>TAXA DE ANALFABETISMO</b>	-0,23	-0,23	0,21	-0,01	-0,04	-0,09	0,07	-0,15	0,04
8	<b>MAIORES 18</b>	-0,26	-0,19	0,30	0,03	0,04	-0,06	-0,07	-0,13	0,05
9	<b>IDHM EDUCAÇÃO 2010</b>	0,23	0,27	-0,02	0,01	-0,04	0,05	-0,12	0,09	-0,02
10	<b>RENDA PER CAPITA</b>	0,29	0,08	-0,08	0,14	-0,13	0,14	-0,03	0,02	-0,15
11	<b>VALOR PIB AGROPECUÁRIA</b>	-0,01	-0,04	-0,04	-0,37	-0,70	-0,44	-0,11	0,39	-0,04
12	<b>VALOR PIB INDÚSTRIA</b>	0,27	-0,13	-0,08	-0,05	-0,03	0,01	0,07	0,04	0,15
13	<b>VALOR PIB SERVIÇOS</b>	0,29	-0,24	0,08	-0,04	0,05	-0,06	0,02	-0,01	0,02
14	<b>ÍNDICE DE GINI</b>	0,03	-0,25	-0,12	0,38	-0,40	0,48	-0,30	-0,02	-0,33
15	<b>TAXA DE DESEMPREGO</b>	0,00	-0,10	-0,48	-0,39	-0,17	0,17	-0,19	-0,58	0,37
16	<b>Nº DOMICÍLIOS PERMANENTE</b>	0,29	-0,22	0,06	-0,02	0,02	-0,04	0,03	-0,02	0,03
17	<b>LONGEVIDADE</b>	0,17	0,15	0,04	0,26	0,01	0,16	-0,18	0,27	0,50
18	<b>MORTALIDADE INFANTIL</b>	-0,06	-0,08	-0,07	-0,54	0,43	0,31	-0,36	0,42	-0,19
19	<b>INDICADOR DE SAÚDE</b>	0,28	-0,24	0,12	-0,05	0,05	-0,07	0,00	-0,05	0,01
20	<b>CONDIÇÕES DE MORADIA</b>	0,14	0,24	-0,09	-0,07	0,08	-0,20	-0,08	-0,34	-0,62
21	<b>VULNERÁVEIS À POBREZA</b>	-0,25	-0,29	-0,01	-0,06	0,04	0,01	-0,06	-0,06	0,00
22	<b>EXTREMAMENTE POBRES</b>	-0,19	-0,33	0,13	0,08	-0,10	0,14	-0,24	0,08	-0,09
	<b>VARIÂNCIA (%)</b>	42,01	17,03	6,69	5,52	4,70	4,47	3,90	3,54	2,84
	<b>VARIÂNCIA ACUMULADA (%)</b>	42,01	59,04	65,73	71,25	75,95	80,42	84,31	87,85	90,69

Tabela 4: Cargas da análise de componentes principais das variáveis socioeconômicas de todos os municípios da zona costeira do Pará e do Rio Grande do Norte.

Nº	CARGAS ZONA COSTEIRA	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
1	<b>POPULAÇÃO TOTAL</b>	0,26	0,27	-0,09	0,04	-0,02	0,07	-0,17	0,11	-0,10
2	<b>RAZÃO URBANA/RURAL</b>	0,18	0,15	-0,13	-0,02	0,06	-0,23	0,61	-0,44	-0,17
3	<b>RAZÃO GÊNERO</b>	0,00	-0,07	-0,19	-0,42	0,20	0,79	0,25	-0,01	-0,05
4	<b>DENSIDADE DEMOGRÁFICA</b>	0,27	0,19	-0,04	-0,08	0,03	-0,12	0,22	-0,23	-0,22
5	<b>RAZÃO DE DEPENDÊNCIA</b>	-0,23	0,25	0,02	-0,10	0,07	0,08	0,00	-0,02	0,04
6	<b>ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO</b>	0,16	-0,23	-0,33	0,31	0,02	-0,13	0,23	0,31	0,15
7	<b>TAXA DE ANALFABETISMO</b>	-0,17	-0,07	-0,53	0,13	-0,10	-0,07	-0,02	-0,21	0,15
8	<b>MAIORES 18</b>	-0,30	0,14	-0,20	0,08	0,01	0,01	0,09	0,12	0,04
9	<b>IDHM EDUCAÇÃO 2010</b>	0,29	-0,19	0,17	0,03	0,01	0,03	0,03	-0,03	0,00
10	<b>RENDA PER CAPITA</b>	0,03	0,06	0,05	-0,09	-0,91	0,12	0,30	0,18	0,06
11	<b>VALOR PIB AGROPECUÁRIA</b>	0,00	0,18	0,23	0,56	-0,12	0,41	-0,09	-0,51	0,27
12	<b>VALOR PIB INDÚSTRIA</b>	0,27	0,20	-0,08	-0,04	-0,02	0,03	-0,23	0,06	0,10
13	<b>VALOR PIB SERVIÇOS</b>	0,26	0,26	-0,16	0,04	0,00	0,05	-0,10	0,10	-0,09
14	<b>ÍNDICE DE GINI</b>	-0,07	0,35	-0,15	0,06	0,20	-0,03	0,22	0,14	0,55
15	<b>TAXA DE DESEMPREGO</b>	0,08	-0,22	-0,42	-0,29	-0,16	-0,02	-0,30	-0,27	0,31
16	<b>Nº DOMICÍLIOS PERMANENTE</b>	0,26	0,27	-0,11	0,04	-0,01	0,07	-0,14	0,09	-0,07
17	<b>LONGEVIDADE</b>	0,18	0,12	0,33	-0,39	0,08	-0,16	0,11	0,07	0,52
18	<b>MORTALIDADE INFANTIL</b>	-0,17	0,24	-0,06	-0,32	-0,15	-0,23	-0,25	-0,33	-0,09
19	<b>INDICADOR DE SAÚDE</b>	0,25	0,27	-0,17	0,07	-0,01	0,07	-0,13	0,15	-0,11
20	<b>CONDIÇÕES DE MORADIA</b>	0,22	-0,28	-0,12	0,07	0,06	0,06	0,05	-0,06	0,04
21	<b>VULNERÁVEIS À POBREZA</b>	-0,29	0,13	-0,09	0,03	-0,01	0,05	0,01	0,14	-0,26
22	<b>EXTREMAMENTE POBRES</b>	-0,26	0,26	-0,04	0,03	0,05	-0,02	0,11	0,10	0,01
	<b>VARIÂNCIA (%)</b>	41,02	19,44	7,13	5,07	4,62	4,49	4,07	3,19	2,53
	<b>VARIÂNCIA ACUMULADA (%)</b>	41,02	60,46	67,59	72,65	77,27	81,76	85,83	89,03	91,56

Tabela 5: Cargas da análise de componentes principais das variáveis socioeconômicas de todos os municípios da zona costeira do Pará.

Nº	CARGAS PA ZONA COSTEIRA	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
1	<b>POPULAÇÃO TOTAL</b>	-0,23	0,31	-0,10	0,00	0,01	-0,06	0,01
2	<b>RAZÃO URBANA/RURAL</b>	-0,19	0,09	0,32	0,08	-0,15	-0,38	0,49
3	<b>RAZÃO GÊNERO</b>	0,27	0,03	-0,10	0,17	0,01	-0,03	-0,16
4	<b>DENSIDADE DEMOGRÁFICA</b>	-0,25	0,16	0,16	0,07	-0,06	-0,28	0,31
5	<b>RAZÃO DE DEPENDÊNCIA</b>	0,22	0,20	0,07	0,06	-0,09	-0,05	-0,30
6	<b>ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO</b>	-0,13	-0,14	-0,58	0,14	0,28	-0,09	0,21
7	<b>TAXA DE ANALFABETISMO</b>	0,23	0,23	0,10	-0,01	0,07	0,01	0,19
8	<b>MAIORES 18</b>	0,28	0,14	-0,10	0,03	0,07	-0,04	0,06
9	<b>IDHM EDUCAÇÃO 2010</b>	-0,27	-0,20	-0,05	-0,04	-0,08	0,01	-0,07
10	<b>RENDA PER CAPITA</b>	-0,01	0,04	0,06	-0,73	0,56	-0,27	-0,07
11	<b>VALOR PIB AGROPECUÁRIA</b>	0,01	0,16	-0,20	-0,55	-0,55	0,39	0,22
12	<b>VALOR PIB INDÚSTRIA</b>	-0,22	0,27	-0,02	0,03	0,06	0,18	-0,27
13	<b>VALOR PIB SERVIÇOS</b>	-0,22	0,32	-0,16	0,02	0,06	0,01	-0,12
14	<b>ÍNDICE DE GINI</b>	0,13	0,36	-0,15	0,22	0,13	0,18	0,27
15	<b>TAXA DE DESEMPREGO</b>	-0,10	-0,03	0,36	0,07	0,45	0,66	0,27
16	<b>Nº DOMICÍLIOS PERMANENTE</b>	-0,23	0,32	-0,11	0,00	0,02	-0,03	-0,04
17	<b>LONGEVIDADE</b>	-0,19	0,11	0,32	0,15	0,00	-0,05	-0,36
18	<b>MORTALIDADE INFANTIL</b>	0,18	0,25	0,30	-0,07	-0,06	0,01	-0,08
19	<b>INDICADOR DE SAÚDE</b>	-0,21	0,33	-0,18	0,00	0,05	0,01	-0,11
20	<b>CONDIÇÕES DE MORADIA</b>	-0,26	-0,21	-0,09	0,08	0,00	0,10	-0,05
21	<b>VULNERÁVEIS À POBREZA</b>	0,28	0,05	-0,13	0,01	0,11	-0,07	0,03
22	<b>EXTREMAMENTE POBRES</b>	0,26	0,19	-0,08	0,08	0,08	-0,10	0,11
	<b>VARIÂNCIA (%)</b>	50,00	17,06	7,41	5,09	4,40	3,97	3,14
	<b>VARIÂNCIA ACUMULADA (%)</b>	50,00	67,06	74,47	79,56	83,95	87,93	91,07

Tabela 6: Cargas da análise de componentes principais das variáveis socioeconômicas de todos os municípios da zona costeira do Rio Grande do Norte.

Nº	CARGAS RN ZONA COSTEIRA	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
1	POPULAÇÃO TOTAL	0,27	0,25	0,01	0,03	0,06	-0,05	-0,04
2	RAZÃO URBANA/RURAL	0,26	0,27	0,03	0,04	0,03	-0,01	0,03
3	RAZÃO GÊNERO	-0,02	-0,01	0,00	0,77	-0,23	-0,06	-0,36
4	DENSIDADE DEMOGRÁFICA	0,27	0,24	0,01	0,06	0,07	-0,01	0,04
5	RAZÃO DE DEPENDÊNCIA	-0,22	0,22	-0,18	0,28	0,13	-0,01	0,02
6	ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO	0,11	-0,05	0,34	-0,36	-0,48	-0,30	-0,15
7	TAXA DE ANALFABETISMO	-0,25	0,21	0,06	-0,12	-0,12	-0,06	0,08
8	MAIORES 18	-0,26	0,25	0,01	-0,06	-0,19	0,03	-0,04
9	IDHM EDUCAÇÃO 2010	0,25	-0,25	-0,03	0,00	0,03	-0,10	0,00
10	RENDA PER CAPITA	0,28	-0,04	-0,05	0,01	-0,06	0,12	0,07
11	VALOR PIB AGROPECUÁRIA	0,04	0,03	-0,49	-0,16	0,18	-0,61	-0,12
12	VALOR PIB INDÚSTRIA	0,27	0,10	0,07	-0,02	0,06	-0,10	-0,06
13	VALOR PIB SERVIÇOS	0,26	0,27	0,03	0,03	0,06	0,00	-0,03
14	ÍNDICE DE GINI	0,11	0,22	-0,14	-0,05	-0,60	0,30	0,14
15	TAXA DE DESEMPREGO	-0,04	-0,04	0,58	0,19	-0,06	-0,37	-0,11
16	Nº DOMICÍLIOS PERMANENTE	0,27	0,25	0,01	0,03	0,06	-0,05	-0,03
17	LONGEVIDADE	0,20	-0,23	0,01	0,01	0,08	0,41	-0,17
18	MORTALIDADE INFANTIL	-0,08	0,16	0,47	-0,03	0,43	0,13	0,27
19	INDICADOR DE SAÚDE	0,25	0,29	0,05	0,03	0,01	-0,03	-0,01
20	CONDIÇÕES DE MORADIA	0,12	-0,19	-0,04	0,30	-0,18	-0,25	0,82
21	VULNERÁVEIS À POBREZA	-0,25	0,28	0,05	0,06	0,04	-0,05	0,03
22	EXTREMAMENTE POBRES	-0,19	0,34	-0,12	-0,06	-0,09	-0,01	0,08
	VARIÂNCIA (%)	52,14	12,62	8,52	5,87	5,19	3,87	3,39
	VARIÂNCIA ACUMULADA (%)	52,14	64,76	73,28	79,15	84,33	88,20	91,59

Tabela 7: Resultados das variáveis socioeconômicas dos censos 1991, 2000 e 2010.

VARIÁVEL	MACAU			GUAMARÉ			SALINÓPOLIS			RN	PA	
	1991	2000	2010	1991	2000	2010	1991	2000	2010	2010	2010	
QUANTO MAIOR MAIS VULNERÁVEL	POPULAÇÃO TOTAL	25985	25700	28954	6082	8149	12404	22670	33449	37421	18970	53014,34
	DENSIDADE DEMOGRÁFICA	32,86	32,5	36,64	23,4	31,35	47,82	117,63	173,55	194,16	87,68	74,64
	ÍNDICE DE ENVELHECIMENTO	17,97	26,02	32,78	13,68	15,29	18,58	7,99	10	16,75	34,28	14,43
	RAZÃO DE DEPENDÊNCIA	65,46	55,69	63,96	75,98	68,4	76,57	98,42	77,64	82,59	74,98	95,79
	TAXA DE ANALFABETISMO	32,55	25,45	18,90	49,18	32,8	22,80	21,08	14,47	11,10	26,63	16,86
	ÍNDICE DE GINI	0,57	0,48	0,50	0,54	0,49	0,51	0,47	0,62	0,53	0,5	0,57
	TAXA DE DESEMPREGO	11,11	16,12	12,17	18,36	8,98	11,41	6,13	10,74	5,98	9,27	7,79
	MORTALIDADE INFANTIL	64,34	40,24	1,67	64,34	40,24	6,98	43,83	26,37	7,69	6,79	12,29
	MAIORES DE 18	58,61	58,61	46,17	70,2	70,2	49,05	63,97	63,97	50,27	58,69	59,75
	VULNERÁVEIS À POBREZA	81,27	66,3	42,91	88,62	81,42	51,64	84,41	72,37	53,20	61,94	67
EXTREMAMENTE POBRES	28,41	11,39	7,58	33,71	21,62	8,72	28,00	19,09	9,80	17,4	22,89	
QUANTO MENOR MAIS VULNERÁVEL	RAZÃO URBANA/RURAL	3,13	2,63	3,14	0,63	0,79	0,55	5,76	10,03	8,29	6028,55	6,03
	RAZÃO GÊNERO	0,95	0,96	0,96	1,05	1,02	1,24	1,06	1,05	1,04	2,45	1,08
	IDHM EDUCAÇÃO	0,21	0,43	0,57	0,14	0,25	0,51	0,19	0,31	0,54	0,52	0,45
	RENDA PER CAPITA	209,69	270,15	516,65	157,72	181,41	475,08	165,12	312,12	472,40	359,66	425,08
	LONGEVIDADE	60,78	67,65	72,50	60,78	67,65	71,10	65,36	70,5	72,87	70,76	71,47
	CONDIÇÕES DE MORADIA	38,44	31,24	9,32	97,18	83,32	53,7	42,87	57,55	34,85	26,46	55,2

<sup>1</sup>Maiores de 18: Percentual de pessoas de 18 anos ou mais sem fundamental completo e em ocupação informal.

Tabela 8: Variáveis socioeconômicas complementares - Censo 2010.

VARIÁVEL	UNIDADE	MACAU	GUAMARÉ	SALINÓPOLIS	RN	PA
VALOR AGROPECUÁRIA	R\$	13.040,00	2.657,00	9.520,00	27.615,94	41.720,31
VALOR INDÚSTRIA	R\$	496.726,00	137.253,00	21.238,00	48.919,41	215.042,36
VALOR SERVIÇOS	R\$	184.669,00	1.006.036,00	164.171,00	152.656,71	318.242,47
OCUPADOS AGROPECUÁRIA	%	10,55	9,3	9,1	-	-
OCUPADOS INDÚSTRIA	%	21,9	13,4	12,65	-	-
OCUPADOS SERVIÇOS	%	67,55	77,30	78,25	-	-
Nº DOMICÍLIOS PERMANENTES	-	8502	3332	9102	5386,54	12998,13
INDICADOR DE SAÚDE	-	142	53	209	89,44	206,87

Tabela 9: Proporção da área das variáveis físicas por classes de vulnerabilidade.

		MUITO BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
MACAU e GUAMARÉ	DECLIVIDADE	14,0	23,0	30,0	23,0	10,0
	GEOMORFOLOGIA	69,1	0,4	7,0	14,4	9,1
	SOLOS	19,6	8,5	7,0	53,5	11,4
	GEOLOGIA	7,6	9,9	11,7	60,0	10,8
	VEGETAÇÃO	41,6	13,0	31,4	9,9	4,1
	USO DO SOLO	60,9	10,7	19,6	4,3	4,6
	DISTÂNCIA DA LC	95,5	2,3	1,4	0,7	0,1
	DISTÂNCIA DOS RIOS	28,1	24,5	25,7	15,4	6,3
MACAU	DECLIVIDADE	15,7	24,2	29,7	21,6	8,8
	GEOMORFOLOGIA	64,1	0,0	4,6	22,4	8,9
	SOLOS	29,2	17,1	14,0	31,2	8,5
	GEOLOGIA	10,0	18,0	17,5	44,2	10,3
	VEGETAÇÃO	48,6	7,4	30,0	9,1	5,0
	USO DO SOLO	65,0	5,6	20,5	3,4	5,5
	DISTÂNCIA DA LC	94,7	2,6	1,6	0,9	0,2
	DISTÂNCIA DOS RIOS	30,2	26,7	23,4	14,1	5,5
GUAMARÉ	DECLIVIDADE	12,3	22,1	30,8	24,6	10,3
	GEOMORFOLOGIA	74,1	0,9	9,4	6,5	9,3
	SOLOS	10,0	0,0	0,0	75,7	14,3
	GEOLOGIA	5,2	1,7	5,9	75,8	11,3
	VEGETAÇÃO	34,6	18,7	32,8	10,8	3,2
	USO DO SOLO	56,7	15,8	18,8	5,1	3,6
	DISTÂNCIA DA LC	96,2	2,1	1,1	0,6	0,1
	DISTÂNCIA DOS RIOS	26,1	22,3	28,1	16,6	7,0
SALINÓPOLIS	DECLIVIDADE	7,6	18,0	27,0	25,5	22,0
	GEOMORFOLOGIA	65,0	0,0	35,0	0,0	0,0
	SOLOS	63,8	36,2	0,0	0,0	0,0
	GEOLOGIA	28,4	37,1	34,5	0,0	0,0
	VEGETAÇÃO	24,1	-	49,1	-	27,0
	USO DO SOLO	81,1	-	11,5	-	7,7
	DISTÂNCIA DA LC	66,7	14,7	10,6	6,0	2,0
	DISTÂNCIA DOS RIOS	67,6	14,9	10,1	5,5	1,8

Tabela 10: Cargas das variáveis físicas segundo análise de componentes principais dos índices de vulnerabilidade física com lógica booleana Vulnerabilidade Natural - VN, Vulnerabilidade Ambiental - VA, Vulnerabilidade ambiental ao aumento relativo do Nível Médio do Mar - VNMM. Em cinza cargas  $\geq|0,5|$  e em negrito cargas  $\geq|0,45|$  e  $<|0,5|$ .

N°	VN	MACAU e GUAMARÉ			MACAU			GUAMARÉ			SALINÓPOLIS		
		CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
1	DECLIVIDADE	0,48	-0,26	0,6	0,1	-0,46	0,78	0,17	-0,8	-0,23	0,53	-0,13	0,5
2	GEOMORFOLOGIA	-0,53	-0,48	-0,09	-0,65	0,1	-0,17	-0,38	0,45	-0,57	-0,44	0,48	0,39
3	SOLOS	-0,4	0,01	0,79	-0,5	-0,47	-0,19	0,55	0,21	-0,38	-0,57	-0,02	-0,31
4	GEOLOGIA	0,57	-0,38	-0,06	0,04	-0,73	-0,29	0,57	0,1	-0,38	-0,42	-0,34	0,69
5	VEGETAÇÃO	-0,12	-0,75	-0,11	-0,56	0,17	0,49	-0,44	-0,32	-0,58	-0,16	-0,8	-0,14
	DESVIO PADRÃO	1,47	1,3	1,01	1,5	1,3	1	1,59	1,16	1,06	1,69	1,2	0,84
	VARIÂNCIA	0,43	0,34	0,2	0,45	0,34	0,2	0,51	0,27	0,22	0,57	0,29	0,14
	VARIÂNCIA ACUMULADA	0,43	0,77	0,98	0,45	0,79	0,99	0,51	0,78	1	0,57	0,86	1
N°	VA	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
1	DECLIVIDADE	-0,19	0,5	-0,59	-0,11	-0,39	0,82	-0,17	0,4	-0,73	-0,45	-0,29	0,5
2	GEOMORFOLOGIA	0,59	-0,09	-0,03	0,54	-0,09	-0,27	0,44	-0,5	-0,03	0,28	0,55	0,35
3	SOLOS	0,17	-0,35	-0,8	0,32	-0,59	-0,22	-0,4	-0,54	-0,22	0,52	0,21	-0,3
4	GEOLOGIA	-0,14	0,67	0,02	-0,18	-0,69	-0,2	-0,42	-0,46	-0,3	0,45	-0,06	0,73
5	VEGETAÇÃO	0,5	0,39	-0,04	0,51	0,03	0,37	0,43	0,07	-0,55	0,34	-0,53	-0,06
6	USO DO SOLO	0,57	0,18	0,11	0,55	0,1	0,14	0,5	-0,3	-0,18	0,35	-0,53	-0,06
	DESVIO PADRÃO	1,68	1,41	1,02	1,78	1,32	1,01	1,8	1,21	1,13	1,74	1,5	0,84
	VARIÂNCIA	0,47	0,33	0,17	0,53	0,29	0,17	0,54	0,24	0,21	0,51	0,37	0,12
	VARIÂNCIA ACUMULADA	0,47	0,8	0,98	0,53	0,82	0,99	0,54	0,79	1	0,51	0,88	1
N°	VNMM	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
1	DECLIVIDADE	-0,07	-0,55	-0,5	-0,04	-0,56	0,54	-0,1	0,65	-0,26	-0,43	0,03	0,42
2	GEOMORFOLOGIA	0,46	0,22	-0,04	0,43	0,02	-0,34	0,41	-0,32	-0,2	0,38	0,26	0,43
3	SOLOS	0,09	0,29	-0,81	0,26	-0,49	-0,41	-0,27	-0,2	-0,61	0,44	-0,14	0,75
4	GEOLOGIA	-0,04	-0,6	0,17	-0,16	-0,6	-0,4	-0,29	-0,11	-0,62	0,26	-0,33	0,75
5	VEGETAÇÃO	0,45	-0,24	0,04	0,44	-0,01	0,19	0,41	0,32	-0,16	0,03	-0,62	-0,08
6	USO DO SOLO	<b>0,48</b>	-0,03	0,13	<b>0,46</b>	0,1	0,06	<b>0,46</b>	-0,11	-0,14	0,04	-0,62	-0,09
7	DISTÂNCIA DA LC	<b>0,48</b>	0,13	0,09	<b>0,46</b>	0,11	-0,1	0,42	-0,3	-0,19	<b>0,45</b>	0,12	-0,08
8	DISTÂNCIA DE RIOS	0,34	-0,38	-0,2	0,32	-0,27	0,46	0,33	0,46	-0,23	<b>0,45</b>	0,12	-0,09
	DESVIO PADRÃO	2,04	1,54	1,05	2,13	1,35	1,19	2,1	1,4	1,26	2,17	1,6	0,74
	VARIÂNCIA	0,52	0,3	0,14	0,57	0,23	0,18	0,55	0,25	0,2	0,59	0,32	0,08
	VARIÂNCIA ACUMULADA	0,52	0,82	0,95	0,57	0,8	0,97	0,55	0,8	1	0,59	0,91	1

Tabela 11: Cargas das variáveis físicas segundo análise de componentes principais dos índices de vulnerabilidade física com lógica *fuzzy* Vulnerabilidade Ambiental Relativa - VR, Vulnerabilidade ambiental relativa ao Uso do solo - VU e Vulnerabilidade ambiental Relativa ao aumento relativo do Nível Médio do Mar - VR-NMM. Em cinza cargas  $\geq|0,5|$  e em negrito cargas  $\geq|0,45|$  e  $<|0,5|$ .

N°	VR	MACAU e GUAMARÉ			MACAU			GUAMARÉ			SALINÓPOLIS		
		CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
1	DECLIVIDADE	0,14	0,59	-0,71	0,38	0,28	-0,75	0,15	-0,63	-0,73	0,52	-0,22	-0,33
2	SOLOS	-0,47	0,43	0,42	0,43	0,4	0,57	-0,48	-0,41	0,35	-0,56	0,04	0,17
3	GEOLOGIA	-0,51	0,46	0,07	0,03	0,78	0,06	-0,46	-0,47	0,22	-0,35	-0,5	-0,75
4	VEGETAÇÃO	0,5	0,28	0,54	0,53	-0,36	0,27	0,53	-0,24	0,48	-0,17	-0,76	0,52
5	DISTÂNCIA DE RIOS	0,5	0,43	0,12	0,62	-0,18	-0,18	0,5	-0,39	0,25	-0,51	0,34	-0,18
	DESVIO PADRÃO	1,58	1,3	0,85	1,48	1,28	0,99	1,67	1,31	0,7	1,78	1,15	0,69
	VARIÂNCIA	0,5	0,34	0,14	0,44	0,33	0,19	0,56	0,34	0,1	0,63	0,27	0,1
	VARIÂNCIA ACUMULADA	0,5	0,84	0,98	0,44	0,76	0,96	0,56	0,9	1	0,63	0,9	1
N°	VU	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
1	DECLIVIDADE	0,06	-0,52	-0,68	0,11	0,5	0,68	0,06	-0,65	0,52	-0,47	-0,3	-0,34
2	SOLOS	-0,33	-0,5	0,45	0,29	0,49	-0,54	-0,41	-0,37	-0,45	0,52	0,18	0,14
3	GEOLOGIA	-0,41	-0,51	0,18	-0,2	0,67	-0,26	-0,41	-0,44	-0,35	0,39	-0,21	-0,86
4	VEGETAÇÃO	0,51	-0,25	0,19	0,56	-0,08	-0,05	0,51	-0,26	-0,16	0,29	-0,58	0,23
5	DISTÂNCIA DE RIOS	0,47	-0,37	-0,15	0,5	0,17	0,35	0,46	-0,41	-0,02	0,43	0,42	-0,09
6	USO DO SOLO	0,48	-0,09	0,5	0,55	-0,18	-0,22	0,44	0,05	-0,62	0,29	-0,57	0,24
	DESVIO PADRÃO	1,75	1,3	1,06	1,71	1,34	1,04	1,82	1,31	0,98	1,83	1,44	0,74
	VARIÂNCIA	0,51	0,28	0,19	0,49	0,3	0,18	0,55	0,29	0,16	0,56	0,35	0,09
	VARIÂNCIA ACUMULADA	0,51	0,79	0,98	0,49	0,78	0,96	0,55	0,84	1	0,56	0,91	1
N°	VR-NMM	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
1	DECLIVIDADE	-0,02	-0,4	-0,69	0	-0,55	0,61	-0,03	0,73	0,15	-0,46	-0,1	-0,37
2	SOLOS	-0,23	-0,59	0,37	0,25	-0,49	-0,51	-0,35	0,15	-0,59	<b>0,49</b>	-0,02	0,16
3	GEOLOGIA	-0,33	-0,57	0,18	-0,2	-0,61	-0,37	-0,35	0,24	-0,54	0,3	-0,32	-0,85
4	VEGETAÇÃO	0,48	-0,22	-0,07	0,49	0	0,09	<b>0,47</b>	0,29	-0,09	0,13	-0,62	0,22
5	DISTÂNCIA DE RIOS	0,41	-0,29	-0,35	0,4	-0,26	0,41	0,4	0,46	-0,05	0,46	0,24	-0,06
6	USO DO SOLO	<b>0,49</b>	-0,11	0,24	0,51	0,11	-0,07	<b>0,47</b>	-0,12	-0,32	0,14	-0,62	0,22
7	DISTÂNCIA DA LC	0,44	-0,11	0,42	0,49	0,11	-0,24	0,39	-0,26	-0,46	0,46	0,24	-0,07
	DESVIO PADRÃO	1,92	1,31	1,23	1,94	1,35	1,09	1,94	1,34	1,2	2,02	1,53	0,74
	VARIÂNCIA	0,53	0,24	0,22	0,54	0,26	0,17	0,54	0,25	0,21	0,59	0,33	0,08
	VARIÂNCIA ACUMULADA	0,53	0,77	0,98	0,54	0,8	0,97	0,54	0,79	1	0,59	0,92	1