



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS



PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO
PROJETO BRA/06/032
ENQUADRAMENTO PNUD: R.1 P1.17
Carta de Acordo nº 25759/2014 (RC) – SAE – FCPC

Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas
Infraestrutura Costeira

Relatório 2/Produto 7 – IC
RESULTADOS DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE À MUDANÇAS CLIMÁTICAS DA ZONA
COSTEIRA BRASILEIRA E ANÁLISE DA INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA

Assinatura manuscrita em azul, provavelmente de Wilson Cabral de Sousa Junior.

Responsável: Wilson Cabral de Sousa Junior

Brasília, 30 de abril de 2015

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DA COSTA BRASILEIRA (IVCB)	4
2.1. Resultados do IVCB para o município do Rio de Janeiro/RJ.....	4
2.1.1. Adaptações metodológicas	4
2.1.2. Resultados por indicador	5
2.1.3. Comentários finais para o IVCB no município do Rio de Janeiro/RJ.....	26
2.2. Resultados do IVCB para o município de Santos/SP	27
2.2.1. Resultados por indicador	28
2.2.2. Comentários finais acerca do IVCB na região insular do município de Santos/SP	49
3. INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA.....	50
3.1. Resultados obtidos do modelo ERA-40	50
3.2. Resultados obtidos do modelo WW3.....	52
3.3. Estimativa dos danos nos maciços de abrigo dos portos.....	55
3.4. Estimativa do acréscimo no transporte litorâneo longitudinal no assoreamento dos canais de acesso externos dos portos	57
3.4.1. Estimativa quanto ao impacto na largura dos canais de acesso externos	58
3.4.2. Estimativa de perdas de bordas livres dos cais.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS.....	61



1. INTRODUÇÃO

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações estão sendo realizadas por meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de importância para o planejamento estratégico brasileiro, tendo por base cenários climáticos de longo prazo. A partir destas informações, vários eixos de atividades humanas são estudados e medidas de adaptação são analisadas. Dentre estes eixos está a infraestrutura urbana, com foco nos sistemas de drenagem pluvial, objeto deste relatório.

Este relatório apresenta os resultados obtidos com a Índice de Vulnerabilidade da Costa Brasileira (IVCB) à mudanças climáticas, além de análise preliminar da infraestrutura portuária em estudo, conforme apontado nos relatórios anteriores (Relatórios 5-IC e 6-IC) e suas extensões.

Conforme Tabela 1 do Relatório 6-IC, o levantamento de dados para o IVCB havia aportado, até o momento da apresentação daquele relatório, informações suficientes para a aplicação do índice para os municípios do Rio de Janeiro/RJ e Santos/SP. Portanto, este relatório contempla os resultados do IVCB para estes dois municípios, os quais conformam o escopo deste relatório e da aplicação do indicador.

A análise da infraestrutura portuária, por contingência no levantamento de dados, se resume, neste relatório, a uma atualização dos dados e informações apresentados no relatório anterior e considerações sobre parte dos portos visitados no período.



2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DA COSTA BRASILEIRA (IVCB)

2.1. Resultados do IVCB para o município do Rio de Janeiro/RJ

2.1.1. Adaptações metodológicas

A fim de adequar a metodologia aos dados reais fornecidos pelos órgãos governamentais locais, algumas simplificações foram necessárias na classificação de alguns indicadores.

Para os dados de geotecnia, foram considerados a profundidade do solo e o tipo de rocha abaixo da superfície. As 98 classes indicadas no mapa geotécnico fornecido pelo Instituto Pereira Passos (IPP) foram enquadradas nos níveis de vulnerabilidade de 2 a 5, conforme apresentado no Anexo 1.

O mapa de geomorfologia foi reclassificado para o indicador de erosão costeira, conforme dados da Tabela 1.

Tabela 1. Reclassificação para os dados de Geomorfologia

Unidades	Vulnerabilidade
Vertentes Côncavas - Convergentes/Topos de elevação	1
Vertentes Côncavas - Divergentes	2
Área Plana/Talwegues	3
Vertentes Convexas - Divergentes	4
Vertentes Convexas - Convergentes/Escarpas artificiais e naturais	5

Para o indicador de Tipos de Uso, o mapa de uso do solo fornecido também foi reclassificado, conforme apresentado mais adiante, quando da apresentação dos resultados.

Por fim, conforme antecipado no relatório anterior, os dados de densidade populacional foram classificados com base nos dados de densidade do IBGE, para refletir melhor a realidade das concentrações populacionais na costa brasileira. A classificação proposta final, é a que consta na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação de Vulnerabilidade por Classe de densidade Populacional

Vulnerabilidade	1	2	3	4	5
Densidade pop. (hab/km ²)	<=5.000	<=10.000	<=50.000	<=100.000	>100.000

Para as outras variáveis os dados recebidos dos órgãos públicos foram classificados conforme proposto no relatório anterior, de forma que os indicadores refletem os dados classificados de acordo com as tabelas apresentadas naquele relatório.

2.1.2. Resultados por indicador

Seguindo o indicado no relatório anterior, a preparação dos dados foi realizada a partir dos dados fornecidos pelos órgãos responsáveis locais de modo a padronizar todos os dados em formato *raster* do ArcGis, com resolução espacial de 5m e projeção geográfica UTM SAD69, zona 23 sul.

Após essa padronização os dados brutos referentes a cada variável foram tratados e classificados nos níveis de vulnerabilidade de 1 a 5, também conforme proposto no relatório anterior.

2.1.2.1. Indicador de Tipos de Uso.

O mapa de usos e cobertura do solo, fornecido pelo Instituto Pereira Passos (IPP), continha 13 classes de uso do solo, distribuídas no município conforme ilustrado na Figura 1.

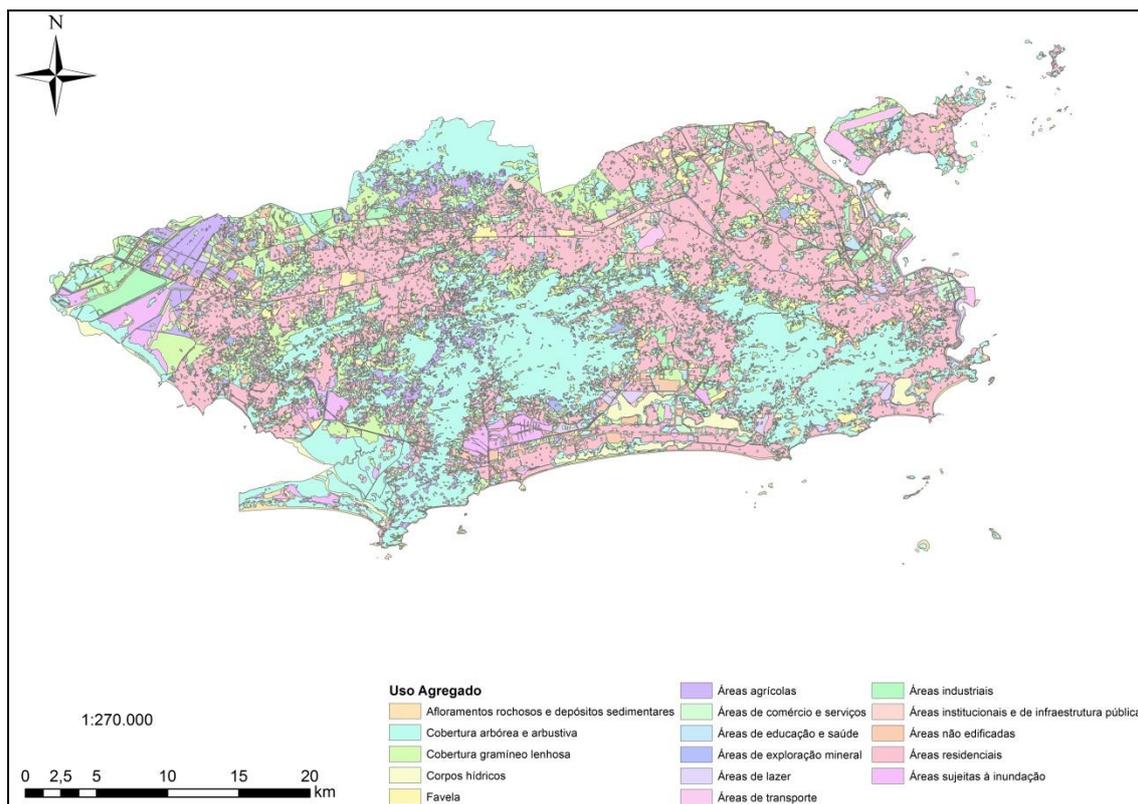


Figura 1. Mapa de usos e ocupação do solo fornecido pelo IPP

Nessa fase de classificação, a proposta inicial para o uso do solo teve que ser adequada, para incluir categorias que estavam contidas no mapa fornecido pelo IPP e que não constavam na tabela de classificação em níveis de vulnerabilidade proposta na metodologia. Na Tabela 3, apresentam-se os níveis de vulnerabilidade atribuídos a cada um dos usos do solo contidos no mapa do IPP.

Tabela 3 - Usos de solo e nível de vulnerabilidade atribuído.

Uso	Tipo	Vulnerabilidade
Afloramentos rochosos e depósitos sedimentares	nu	1
Áreas sujeitas à inundação	nu	1
Cobertura arbórea e arbustiva	nu	1
Cobertura gramíneo lenhosa	nu	1
Corpos hídricos	nu	1
Áreas agrícolas	nu	2
Áreas de lazer	u	3
Áreas não edificadas	u	3
Áreas residenciais	u	3
Favela	u	3
Áreas de comércio e serviços	u	4

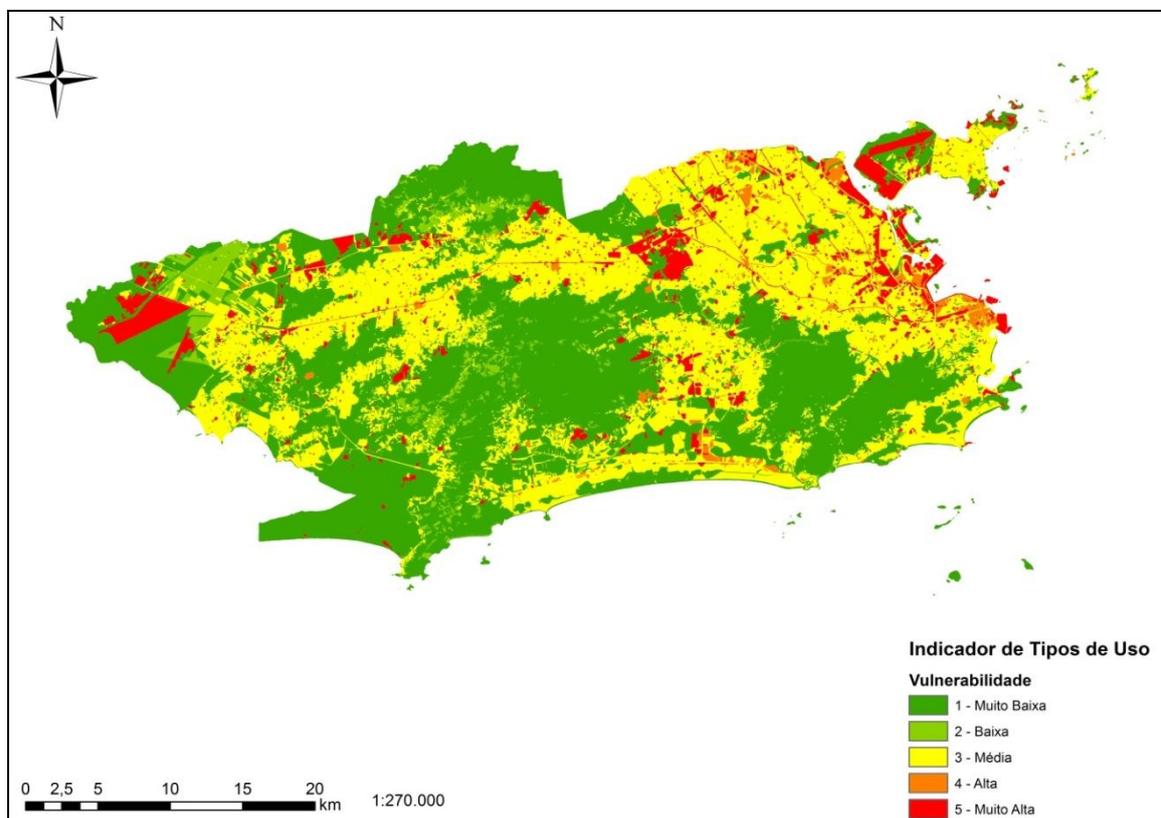
Assinatura

Uso	Tipo	Vulnerabilidade
Áreas de transporte	u	4
Áreas de educação e saúde	u	5
Áreas de exploração mineral	u	5
Áreas industriais	u	5
Áreas institucionais e de infraestrutura pública	u	5

Tipo: nu = não urbano; u = urbano

Dessa forma, os serviços de atendimento primário à população, como os serviços de saúde, foram inseridos na categoria de maior vulnerabilidade, juntamente com as indústrias, seguindo o argumento de que estas áreas, se afetadas por eventos extremos associados à mudanças climáticas, além de representarem novos perigos para a população local, ainda diminuiriam a capacidade de resposta da população, em termos de atendimentos de urgência.

O mapa final do indicador “Tipo de uso” relacionado às categorias de uso e ocupação do solo pode se visualizado na Figura 2. Nesse mapa é possível notar imediatamente a maior concentração de usos considerados de vulnerabilidade níveis 4 e 5, nas regiões próximas ao oceano.



Assinatura

Figura 2. Vulnerabilidade no indicador Tipo de Uso para o Rio de Janeiro.

2.1.2.2. Indicador de exposição à ondas e marés

O indicador de exposição à ondas e marés tem importância especial na análise do modelo, pois a partir dele é que se originaram os dois cenários diferentes para o IVCB.

Esse indicador é originário de 3 outros mapas: elevação de nível do mar; proximidade ao oceano; e altitude em relação ao nível do mar. O mais importante destes é o de altitude, originado do Modelo Digital de Elevação – MDE, fornecido pelo IPP, de modo a destacar as áreas mais baixas e portanto mais suscetíveis aos efeitos de elevação do nível do mar. O mapa, conforme a Figura 3, evidencia que grandes áreas do município do Rio de Janeiro estão em altitudes menores que 10m em relação ao nível do mar, o que as torna imediatamente áreas de atenção em relação a perigos vindos do oceano.

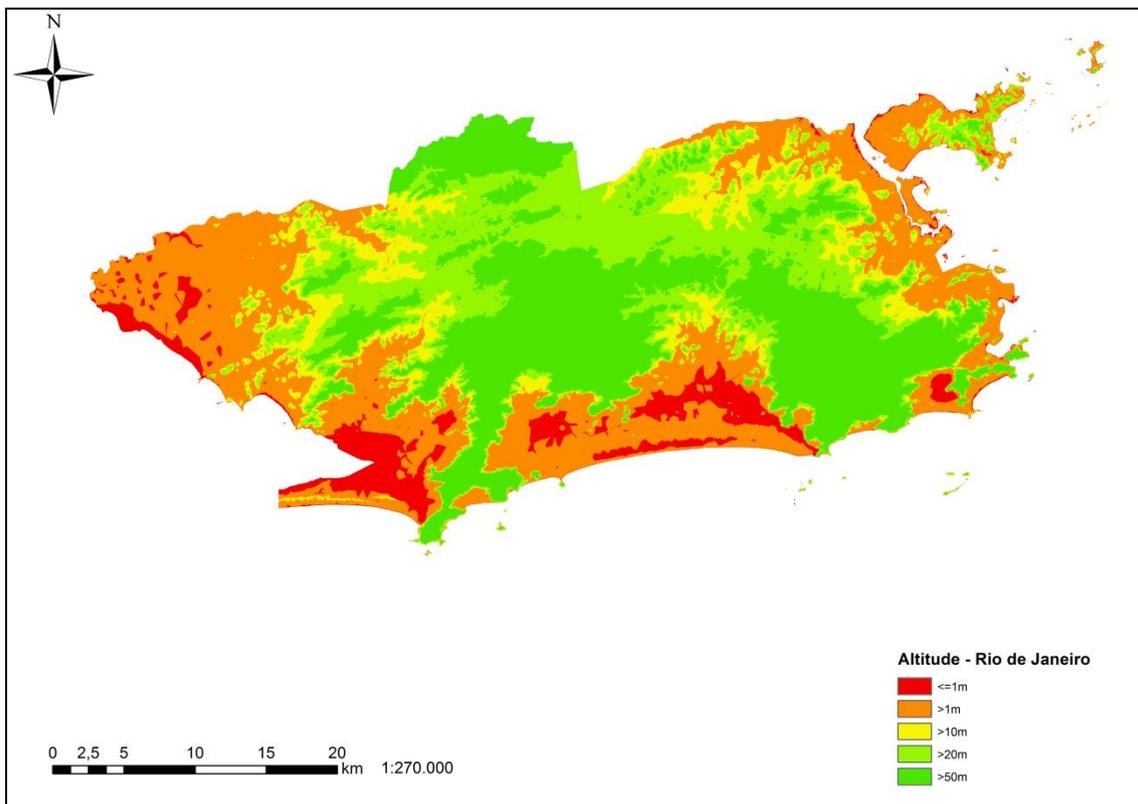


Figura 3 - Relevo do Rio de Janeiro, classificado a partir do MDE.

Esse mapa de relevo foi combinado com um mapa de proximidade em relação à costa, já que os perigos vindos do oceano tem maior impacto nas regiões adjacentes ao mesmo. Os *buffers* de distância em relação à costa podem ser visualizados na Figura 4.

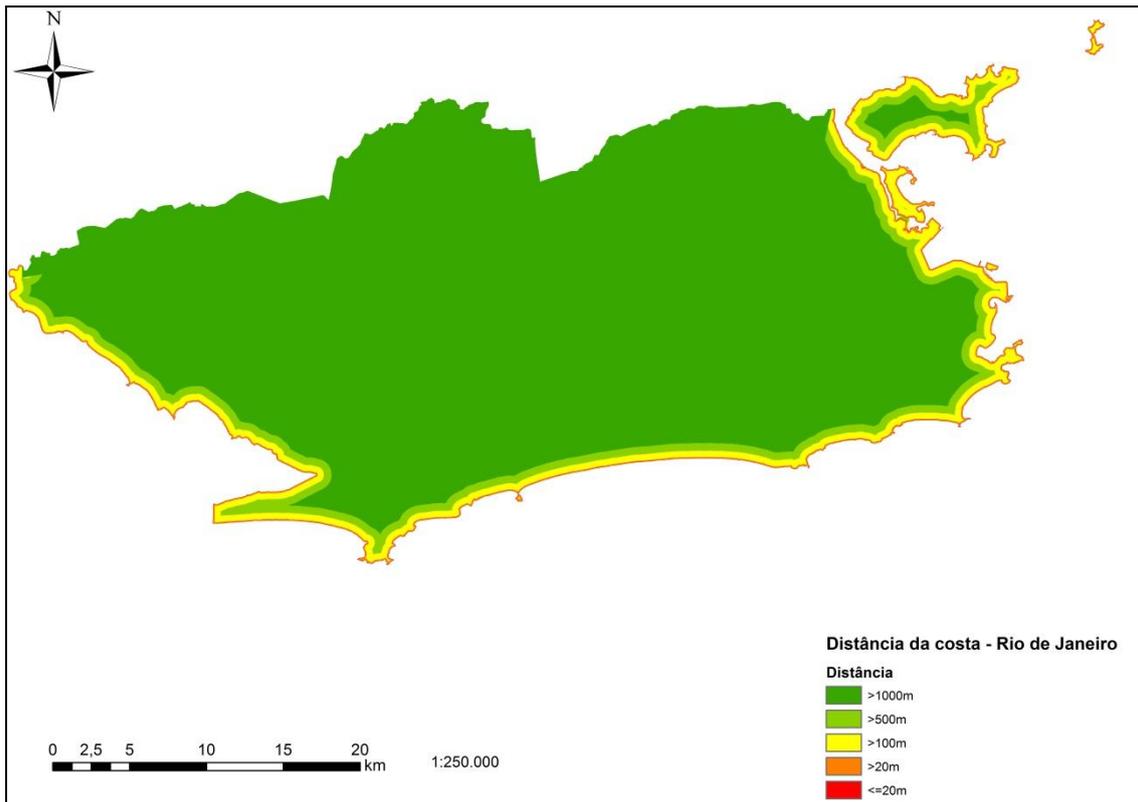


Figura 4. *Buffers* de distância em relação à costa.

Para os dados de elevação de nível do mar atribuiu-se um valor para cada cenário, de forma a indicar qual o aumento esperado para o nível do mar, de acordo com as previsões do IPCC. O primeiro cenário com aumento do nível do mar máximo previsto para o cenário 4.5 do IPCC, com o valor de 0,33m, apresenta uma linha bastante estreita de alta vulnerabilidade (nível 4) na costa e apenas as áreas mais planas próximas a costa aparecem com um nível médio de vulnerabilidade, a maior parte da área continental aparece com vulnerabilidade muito baixa (nível 1). A distribuição desses valores pode ser observada na Figura 5.

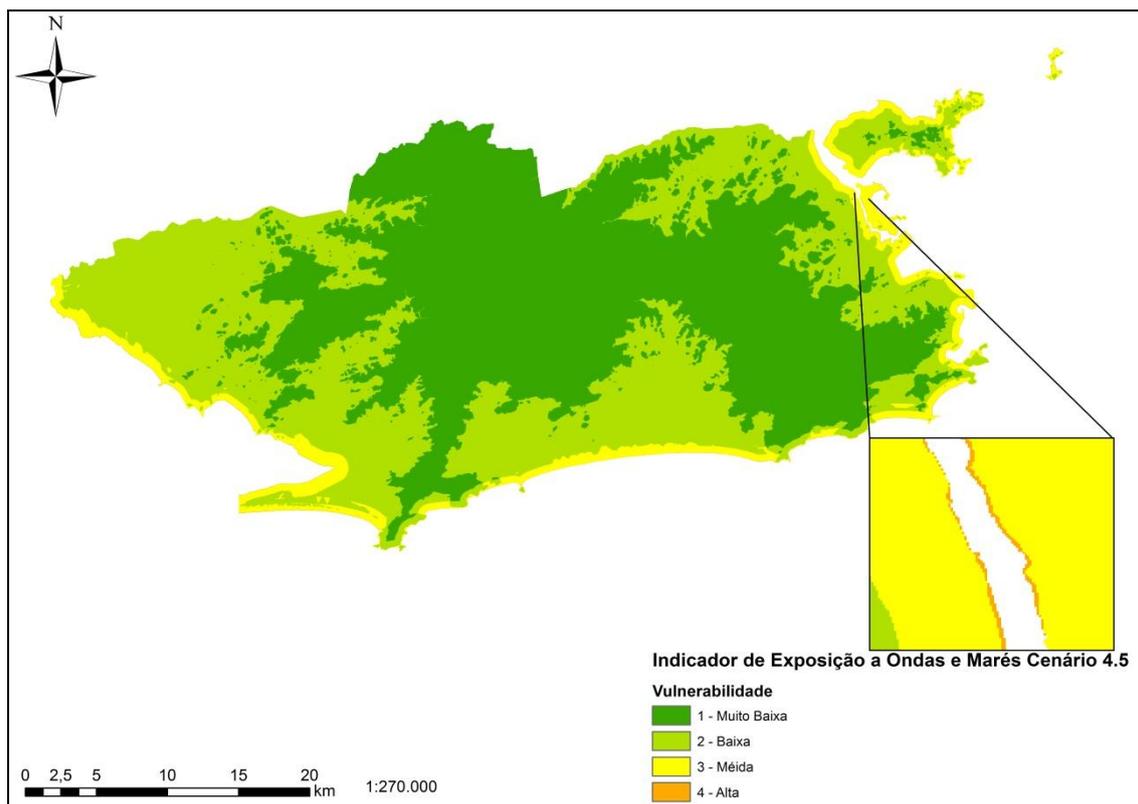


Figura 5. Indicador de Exposição a Ondas e Marés no cenário IPCC 4.5 para o Rio de Janeiro (Detalhe na área da Ilha do Fundão e linha de vulnerabilidade alta na costa).

No cenário mais crítico, o aumento máximo do nível do mar previsto para o cenário IPCC 8.5, de 0,38m, apresenta um aumento das áreas com vulnerabilidade média e alta (níveis 3 e 4), e também algumas áreas planas continentais sobem uma categoria de vulnerabilidade, passando de nível 1 para 2, restando apenas as áreas com maior altitude na categoria de vulnerabilidade muito baixa (nível 1).

Isso acontece, porque o aumento de 0,05m no nível máximo de maré é suficiente para elevar sua categoria de vulnerabilidade do nível 2 para o nível 3, o que na ponderação desse indicador causa um aumento nas áreas vulneráveis.

Handwritten signature

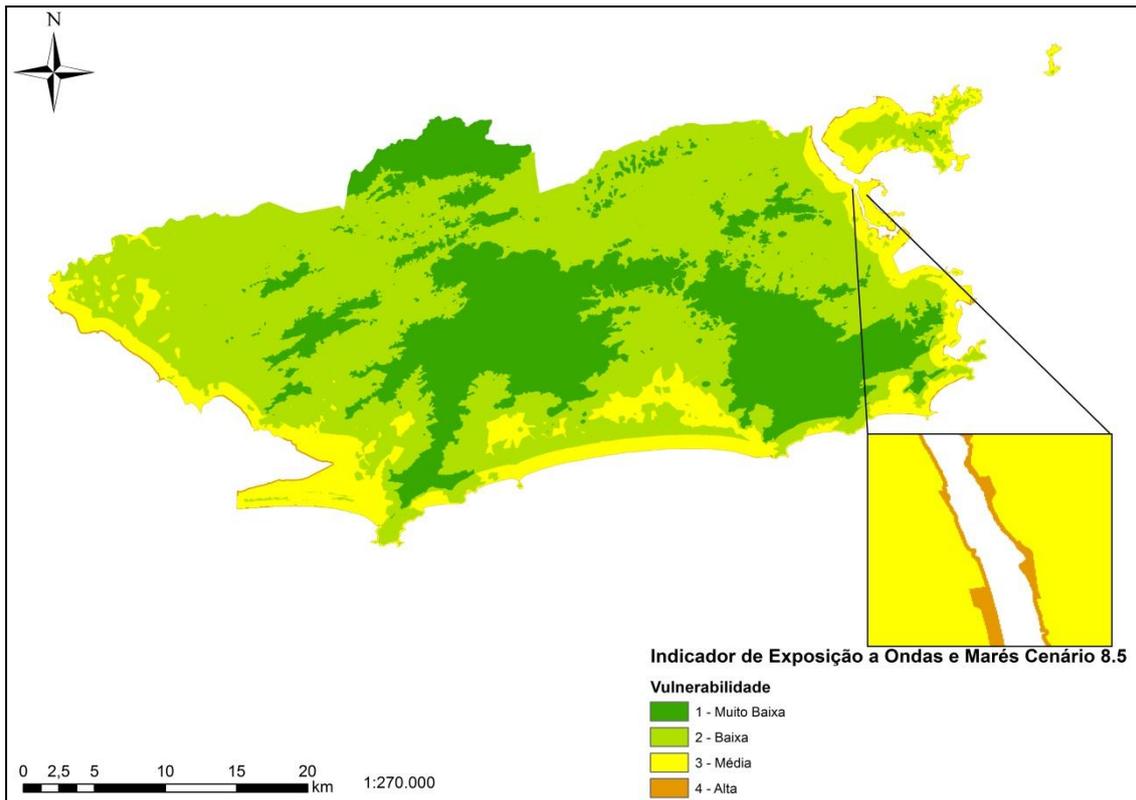


Figura 6 - Indicador de Exposição a Ondas e Marés no cenário IPCC 8.5 para o Rio de Janeiro. (Detalhe na área da Ilha do Fundão e linha de vulnerabilidade alta na costa).

2.1.2.3. Indicador de Movimentos de Massa

Para esse indicador foram combinados os mapas de Geotecnia da região, com o mapa de declividade e um valor de vulnerabilidade atribuído de acordo com a quantidade de eventos extremos de chuvas, para produzir um mapa de vulnerabilidade a movimentos de massa.

Para gerar o valor de vulnerabilidade a chuvas extremas, utilizou-se o valor de 40mm/24h, como sendo uma chuva suficiente para gerar um alerta de atenção, conforme Relatório Chuvas x Escorregamentos da DRM-RJ (DRM-RJ, 2014). Os dados gerados pelos modelos HadGen e Miroc5 (INPE, 2014), para os cenários 4.5 e 8.5 do IPCC, apresentaram número de chuvas consideradas extremas de ordem superior a 50 eventos, na década de 2030-2040. Assim, foi atribuído o valor de vulnerabilidade 5, para a quantidade de eventos extremos naquela década.

[Assinatura]

O mapa de declividade foi elaborado para atribuir aos valores de declividade acima de 30° os maiores valores de vulnerabilidade para esse indicador, assim sendo, essas declividades ocupariam as classes 3, 4 e 5 de vulnerabilidade, sendo que a classe 5 contém todos os valores de declividade acima de 40°. A Figura 7 apresenta a distribuição dessas declividades e os valores por classe, para o município do Rio de Janeiro.

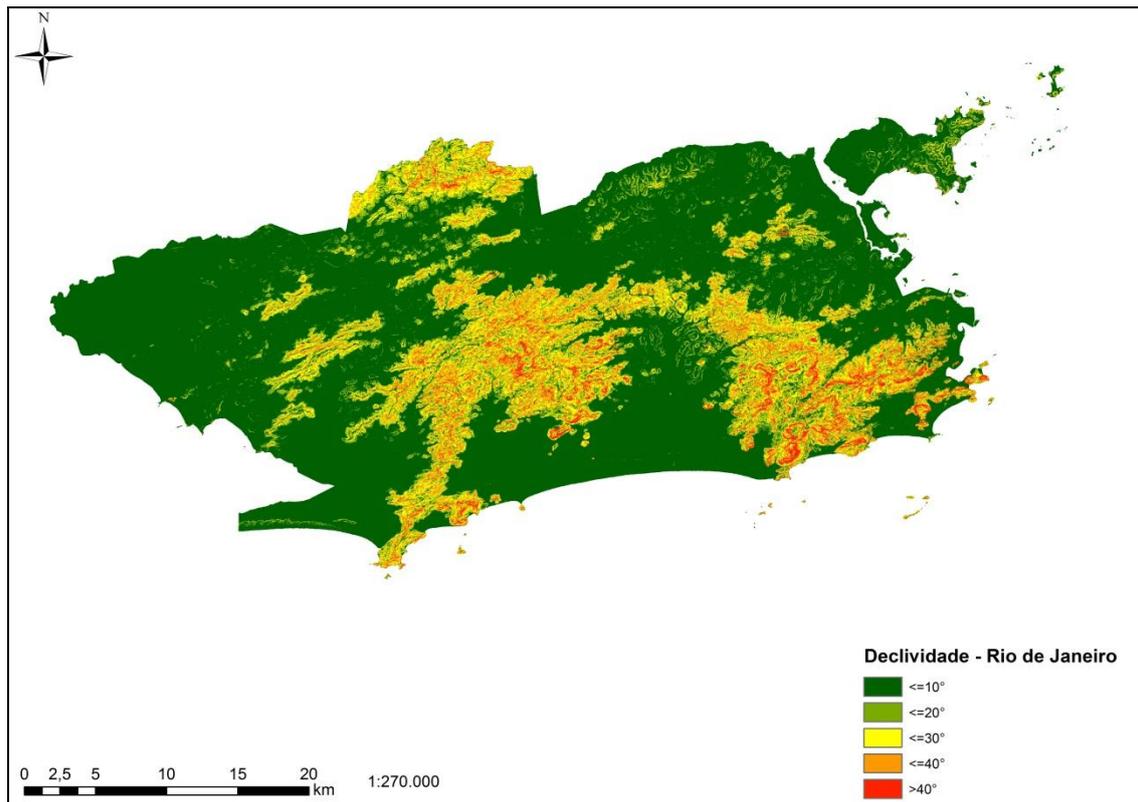


Figura 7. Distribuição da declividade no município do Rio de Janeiro.

O mapa utilizado para a ponderação desse indicador foi um mapa de classificação Geológico-Geotécnica do solo, fornecido pelo IPP, que apresentava 98 classes distintas. Estas foram reclassificadas na composição do indicador, conforme descrito na tabela presente no Anexo 1, deste relatório. O mapa de classificações, fornecido pelo IPP, pode ser observado na Figura 8.

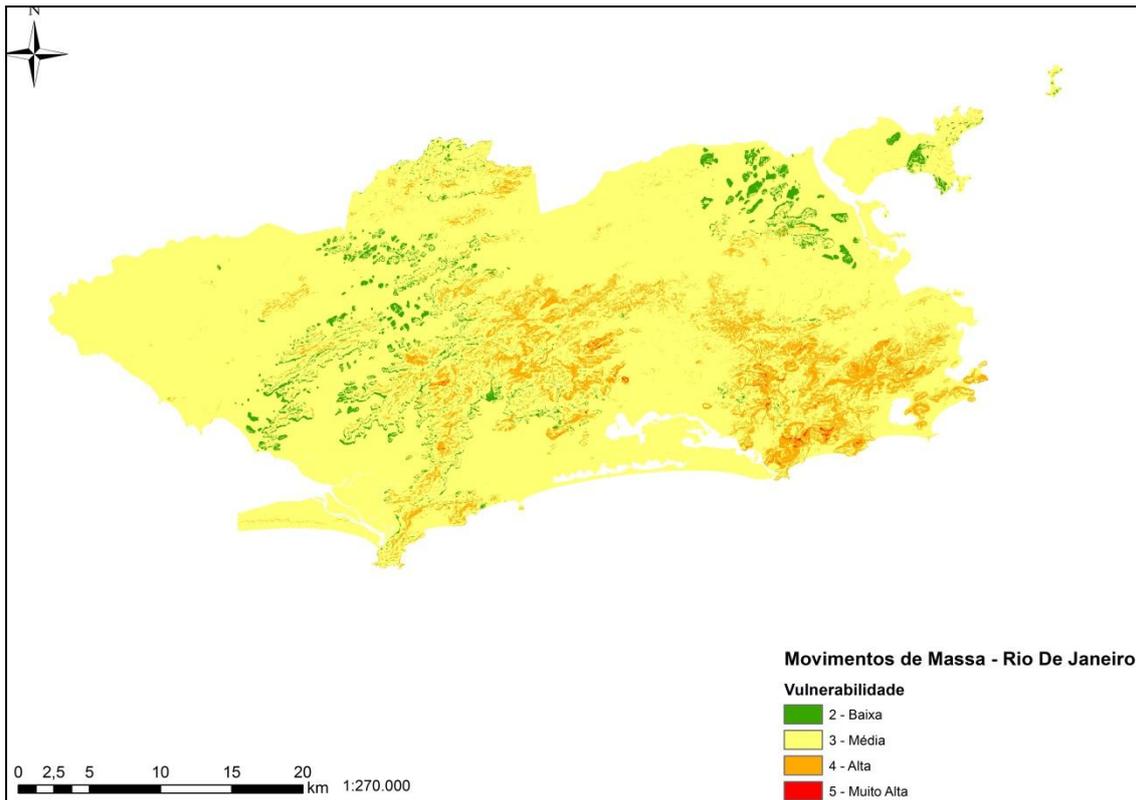


Figura 9. Indicador de movimentos de massa para o Rio de Janeiro.

2.1.2.4. Indicador de Inundação

O indicador de inundação apresentou as áreas de maior vulnerabilidade nas regiões mais próximas aos talvegues dos principais rios da região, segundo o mapa de curso desses principais rios fornecidos pela Agência Nacional de Águas – ANA.

Para este indicador foi utilizada a classificação de elevação apresentada na Figura 3, somada aos valores de vulnerabilidade atribuídos à quantidade de eventos extremos projetada para o período 2030-2040, conforme calculado para o indicador de movimentos de massa. Para esse indicador utilizou-se também um mapa de proximidade ao curso d'água, elaborado a partir de um mapa contendo os principais rios da região, obtido junto à ANA.

Nesse mapa estão destacadas como de maior vulnerabilidade (nível 5) as áreas até 20 metros em relação ao curso do rio, seguido por uma vulnerabilidade de nível 4 nas áreas entre 50m e 20m em relação ao curso do rio, vulnerabilidade nível 3 para áreas

[Assinatura]

entre 50 e 100 metros em relação ao curso do rio, vulnerabilidade nível 2 para áreas entre 100 e 150 metros em relação ao curso do rio e, por fim, vulnerabilidade nível 1 para áreas distantes mais de 150 metros do curso do rio. Esses *buffers* estão apresentados na Figura 10.

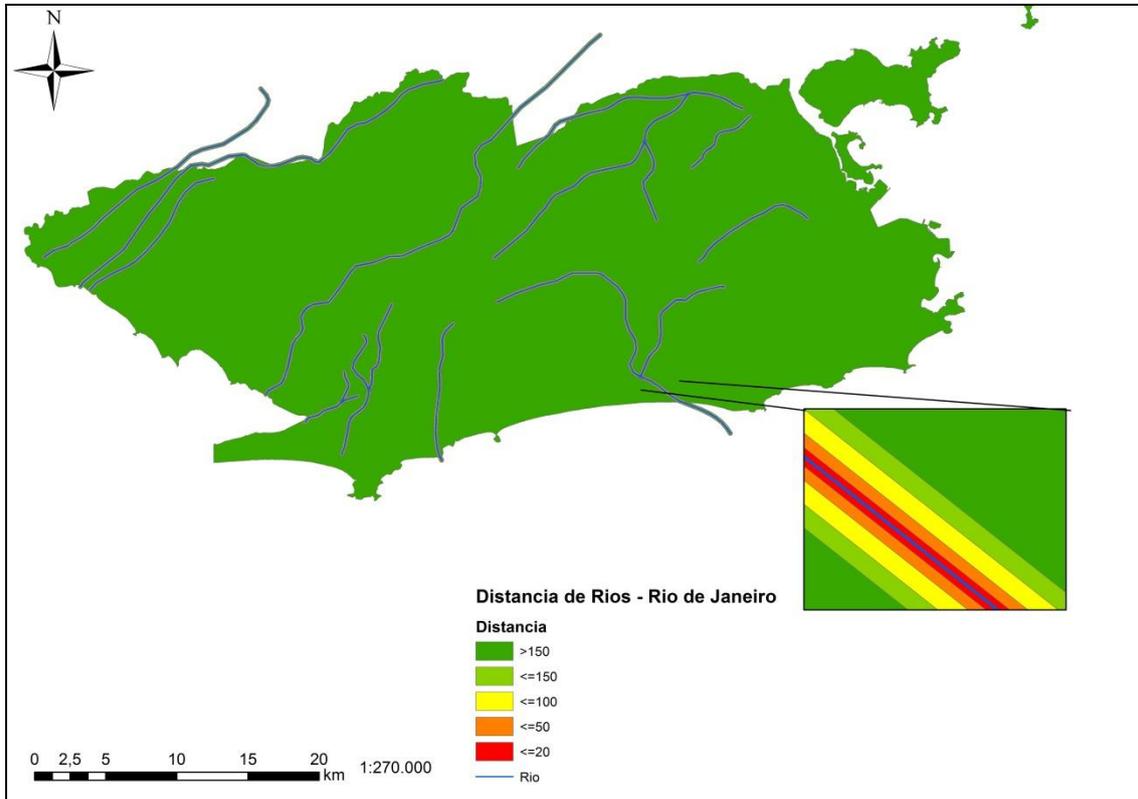


Figura 10 - Buffers de distâncias em relação ao curso dos rios.

As áreas de menor elevação em relação ao nível do mar são as áreas mais vulneráveis a eventos de inundação de acordo com os critérios utilizados nesse indicador. De modo geral essas áreas aparecem com vulnerabilidade média (nível 3), e o nível de vulnerabilidade passa a 4 ou 5 conforme se aproxima do curso dos rios. A proximidade dos rios ao mar aumenta a vulnerabilidade no entorno destes, dada a conjunção de eventos: inundação e elevação do nível do mar, conforme ilustrado na Figura 11.

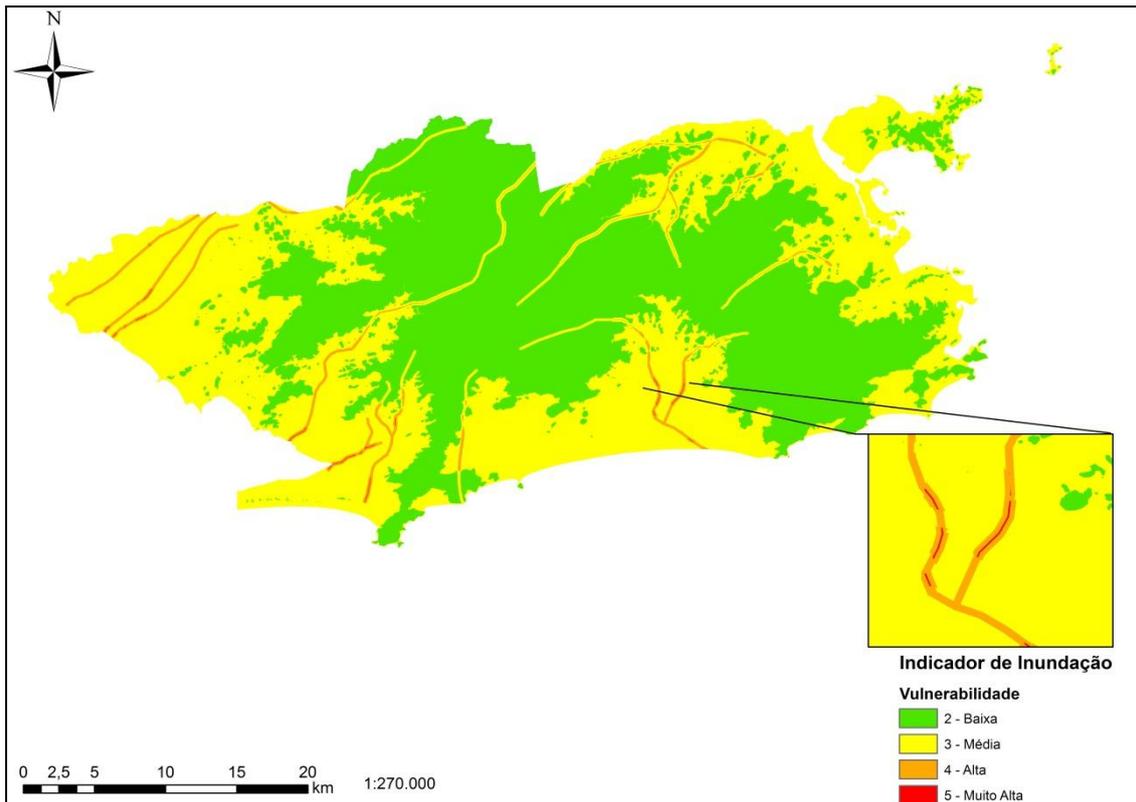


Figura 11- Indicador de Inundação para o Rio de Janeiro. Detalhe em uma área de alta e muito alta vulnerabilidade.

2.1.2.5. Indicador de Erosão Costeira

Esse indicador tem sua área de abrangência restrita às zonas mais próximas da costa e com menor elevação altimétrica.

Assim como no caso da classificação geotécnica, algumas simplificações foram feitas, devido ao detalhamento do mapa de geomorfologia proveniente do IPP (Figura 12). Apesar dos dados serem suficientes para os resultados desse estudo, um mapa de geomorfologia específico da região de praia, traria resultados mais contundentes sobre a real suscetibilidade da costa do Rio de Janeiro, em relação a processos de erosão costeira.

Assis

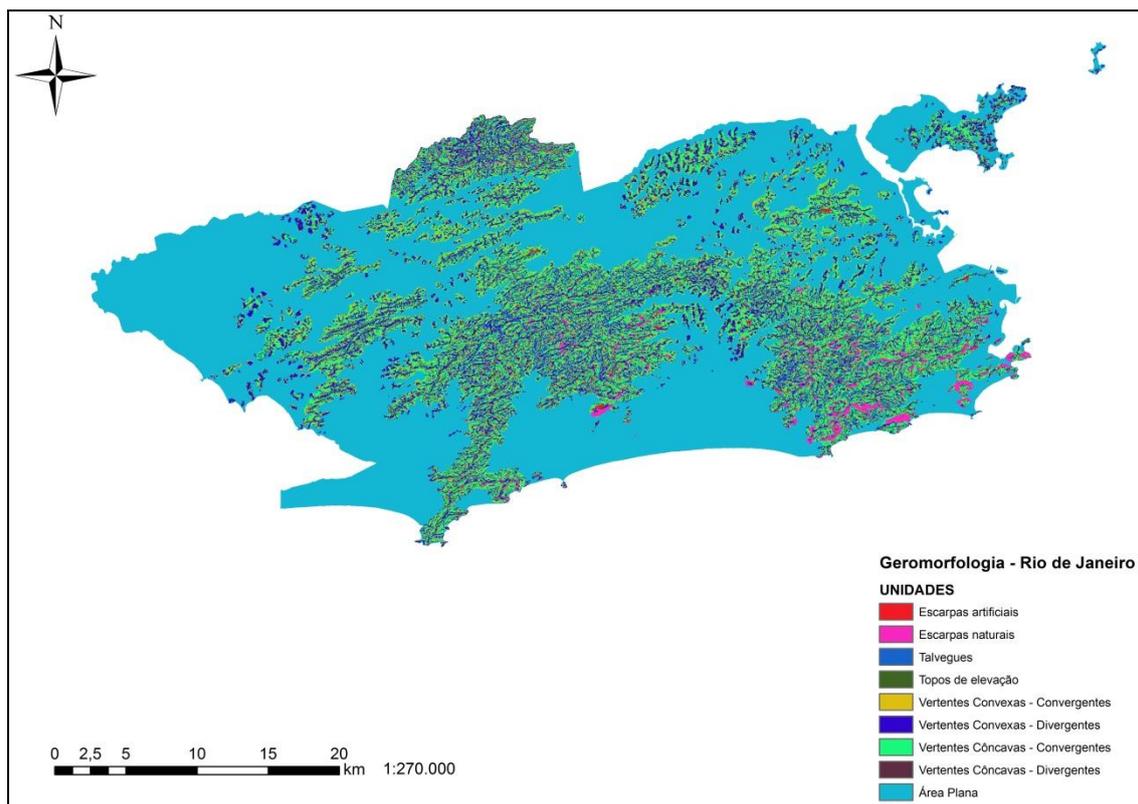


Figura 12. Mapa de geomorfologia do município do Rio de Janeiro.

Para que os resultados fossem calculados apenas para as áreas mais próximas do oceano, onde os processos de erosão ocorrem naturalmente, foi criado um *buffer* similar ao de distância em relação à costa, utilizado no indicador de exposição a ondas e marés, de modo a realçar as regiões realmente sob efeito do oceano, ou seja, regiões que se encontram até 50 metros distantes do oceano.

Os resultados indicam as áreas mais próximas ao oceano, dentro do *buffer* utilizado e áreas adjacentes que encontram-se abaixo do limite da maré, com o acréscimo médio previsto para 2040, ou seja, abaixo de 1,8 m de altitude em relação ao nível do mar, como as áreas prováveis de sofrerem processos erosivos relacionados com os processos oceânicos na região. Neste caso, apenas as áreas com distância até 50 metros do oceano aparecem como áreas de vulnerabilidade média.

[Handwritten signature]

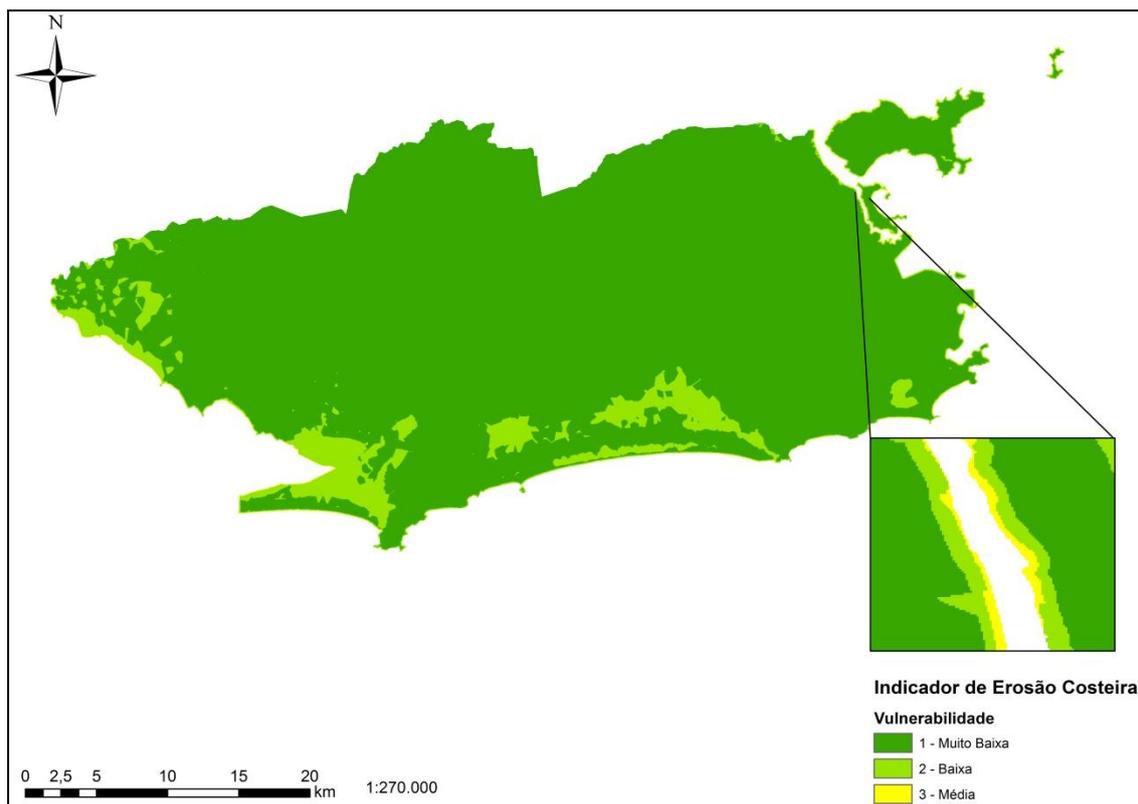


Figura 13. Indicador de Erosão Costeira para o Rio de Janeiro (Detalhe na área da Ilha do Fundão e linha de vulnerabilidade média na costa).

2.1.2.6. Indicador de nível social

O Indicador de Nível Social foi originado de uma associação de dados de escolaridade média dos residentes e renda média dos maiores de 10 anos. Os dados de renda foram tratados para representar o crescimento do PIB per capita previsto para 2040 pela Empresa de Pesquisa Energética, na nota técnica intitulada Cenário Econômico 2050, parte do Plano Nacional de Energia 2050 – PNE 2050.

Assumindo que o crescimento do PIB per capita previsto para cada década (entre 2010 e 2040) no PNE 2050, refletirá num crescimento de mesma magnitude na renda, calculou-se a renda média dos maiores de 10 anos (com renda), baseando-se nos dados do Censo de 2010 do IBGE, estimando assim a renda média para os setores censitários do município do Rio de Janeiro. A distribuição dos níveis de vulnerabilidade, associados aos valores de renda média em 2040, no Rio de Janeiro, estão representados na Figura 14.

[Assinatura]

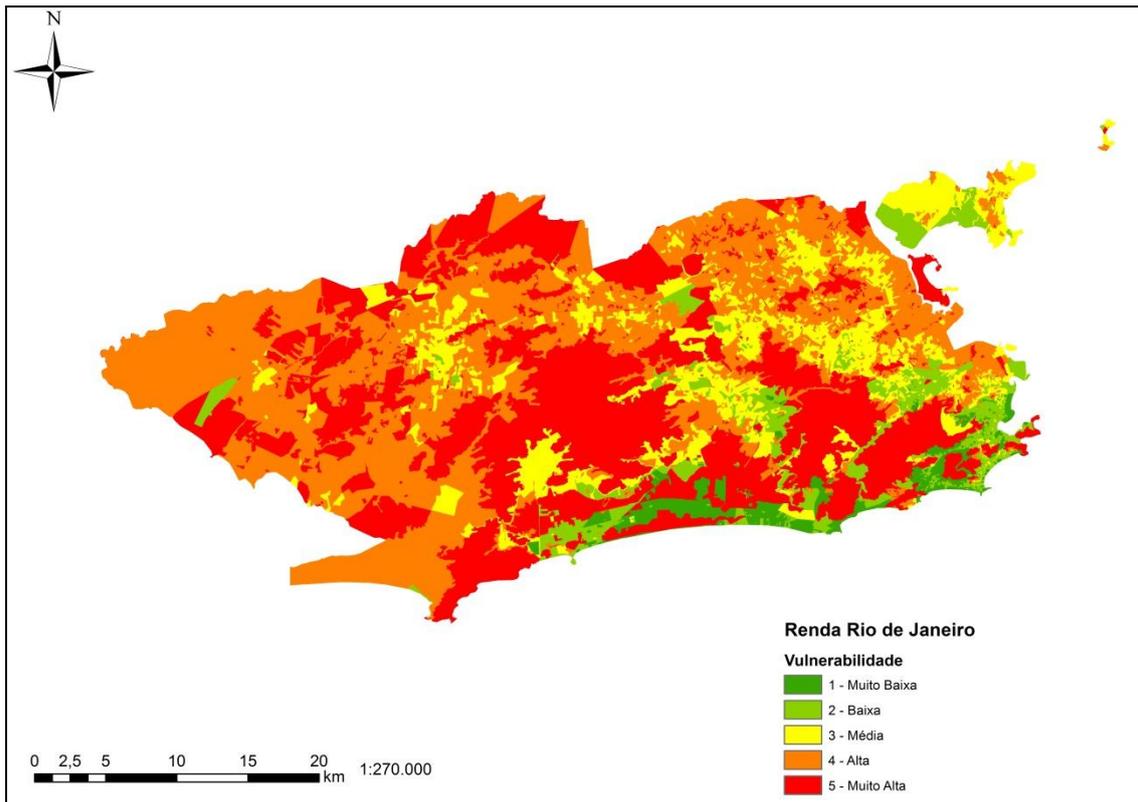


Figura 14. Níveis de vulnerabilidade associados ao valor da renda média por setor censitário, em salários mínimos.

O mapa de vulnerabilidade em relação à renda, apresentado acima, foi combinado com um mapa de vulnerabilidade associado ao nível médio de escolaridade dos indivíduos por área de ponderação. Esses dados foram retirados do Censo 2010 do IBGE, e assumiu-se que a distribuição será a mesma para o ano de 2040. A distribuição pode ser observada na Figura 15, que apresenta os níveis médios de escolaridade, já classificados em níveis de vulnerabilidade para esse indicador.

Handwritten signature

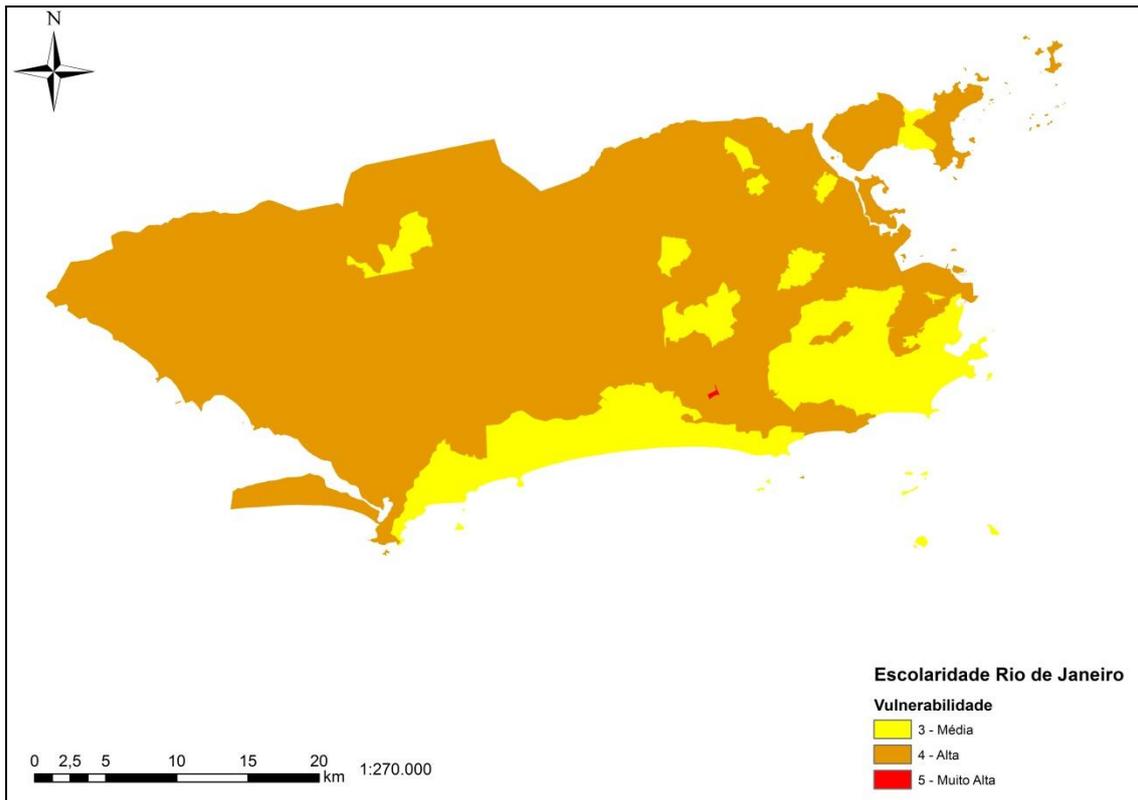


Figura 15 - Níveis de vulnerabilidade de acordo com a escolaridade média dos habitantes por área de ponderação do IBGE.

De modo geral as regiões que com nível alto de vulnerabilidade de acordo com esse indicador, apresentam características de renda menor que 3 salários mínimos, e nível de escolaridade média variando entre superior incompleto e médio incompleto. Nesse indicador é possível notar que uma quantidade considerável de setores censitários do município do Rio de Janeiro, possuem uma combinação de nível de renda e escolaridade que os coloca num nível de vulnerabilidade predominantemente no nível 4 (Figura 16).

[Handwritten signature]

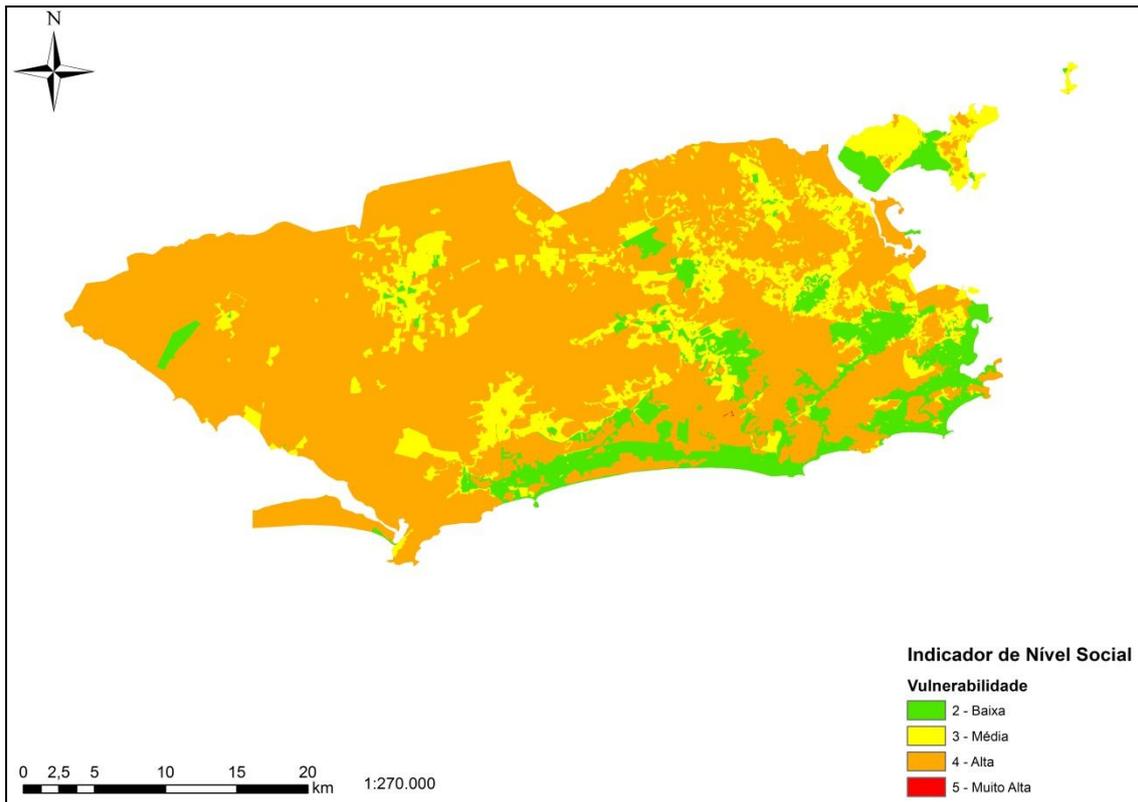


Figura 16. Indicador de Nível Social para o Rio de Janeiro.

2.1.2.7. Indicador de Densidade Populacional

Quando se considera o impacto das mudanças climáticas, em especial a frequência de eventos extremos, a densidade populacional é um parâmetro importante a ser considerado, pois permite analisar os impactos dessas mudanças em termos de número de pessoas afetadas.

O nível de vulnerabilidade relativo à densidade demográfica quando especializado pode ser observado na Figura 17, distribuído por densidade populacional no setor censitário, classificada em nível de vulnerabilidade de acordo com a Tabela 2.

[Handwritten signature]

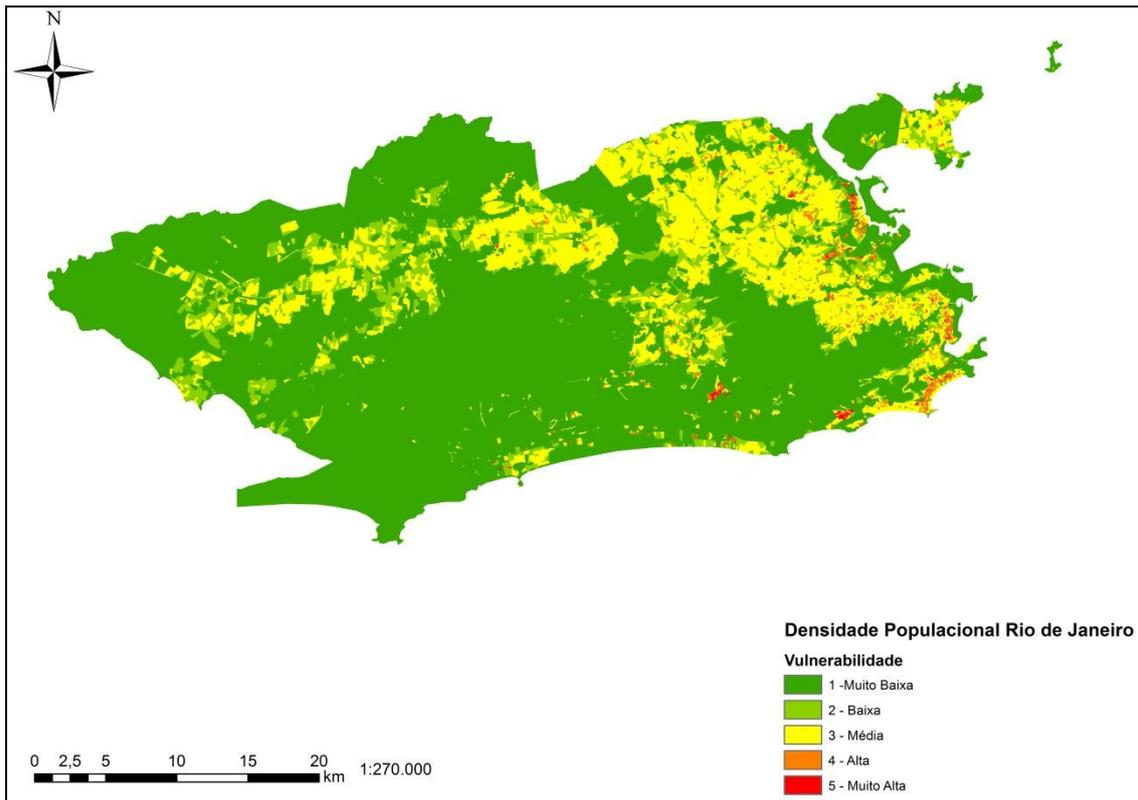


Figura 17 - Vulnerabilidade por nível de densidade populacional no município do Rio de Janeiro.

Também é importante, seguindo a linha de pensamento dos desastres naturais, ponderar a idade dos ocupantes, quando se analisa a capacidade de resistir ou se adaptar frente a um evento natural. A densidade populacional neste indicador foi ponderada pela quantidade de pessoas por faixa etária, de tal modo que as regiões com maior concentração de jovens e crianças menores de 15 anos, ou com grande concentração de idosos, acima dos 60 anos, fossem caracterizadas como mais vulneráveis. A distribuição da vulnerabilidade dos setores censitários, de acordo com a média de idade dos habitantes, pode ser visualizada na Figura 18.

Handwritten signature

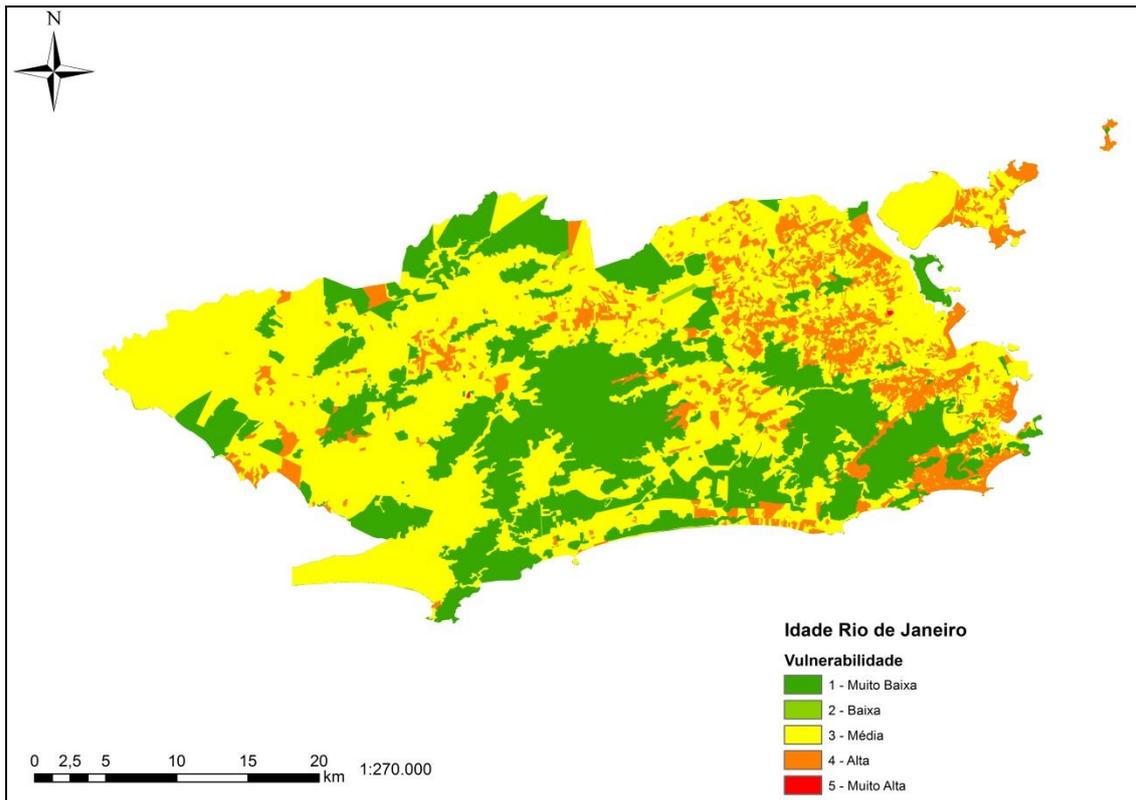


Figura 18. Vulnerabilidade populacional em função da faixa etária para o Rio de Janeiro.

Dessa forma o indicador de densidade populacional não só aparece como um parâmetro na formulação do IVCB, como também um dos parâmetros de análise para as respostas do mesmo. Especialmente quando considerado que as áreas apresentadas esse indicador como de níveis médio a muito alto de vulnerabilidade, são áreas que devem ser priorizadas pelas autoridades, ao se estabelecerem planos de resposta a desastres no município do Rio de Janeiro.

No indicador final (Figura 19) de Densidade Populacional, que é a combinação dos dois mapas anteriores, percebe-se a concentração de vulnerabilidade, nas regiões mais próximas a baía de Guanabara, e outras regiões, com grande verticalização, ou ainda no caso da favela da Rocinha, que aparece no centro sul do mapa, grande ocupação desordenada do solo, de modo que quase toda a área está coberta por casas e habitações, essas áreas apontadas como vulnerabilidade alta e muito alta, ainda possuem o agravante de ter uma parte significativa da população em idades, consideradas de maior risco em estudos de riscos e desastres.

Assinatura

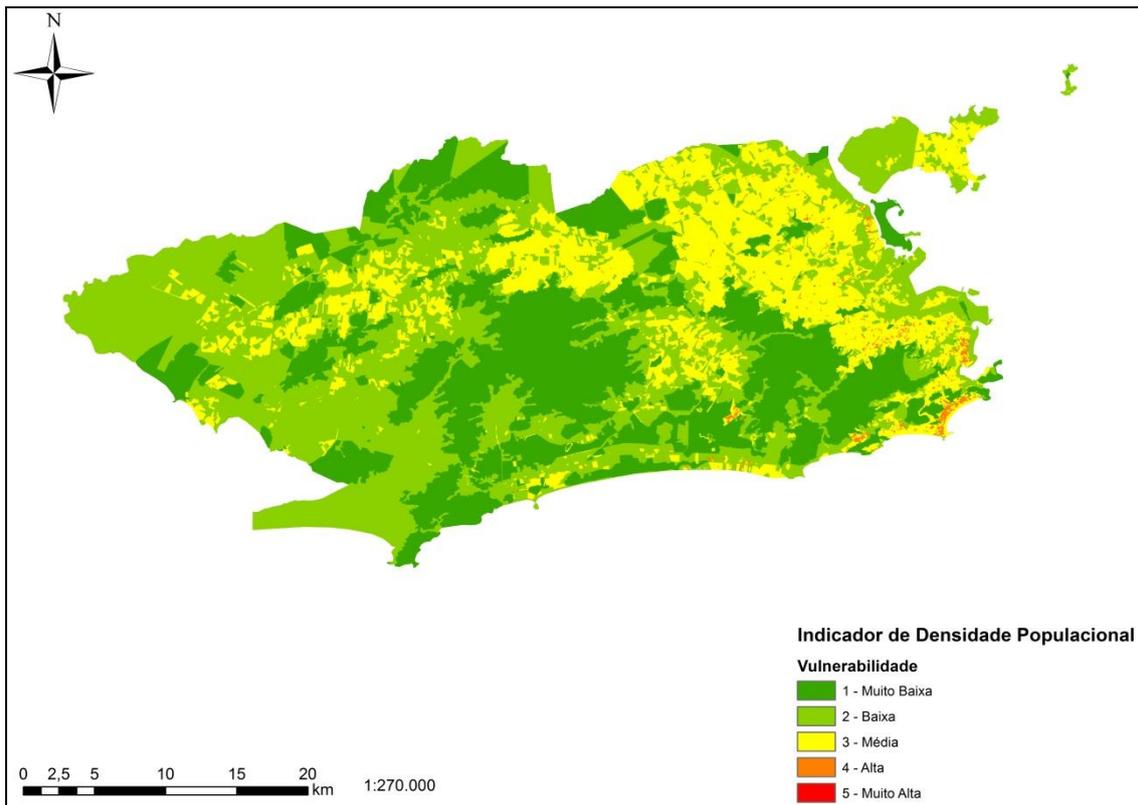


Figura 18. Indicador de Densidade Populacional

2.1.2.8. Resultado do IVCB para o Rio de Janeiro

Uma vez gerados os mapas por indicador, prosseguiu-se com a combinação dos mesmos através de uma álgebra de mapas, na qual se calculou uma média ponderada desses mapas, que deu origem então aos mapas do IVCB.

Para a finalidade desse projeto, optou-se por uma distribuição de pesos que valorizasse o indicador “tipo de ocupação”. Assim sendo, a Equação 1 representa o cálculo do IVCB.

$$IVCB = \frac{(0,13 \times DP) + (0,13 \times NS) + (0,13 \times MM) + (0,13 \times EM) + (0,13 \times EC) + (0,13 \times II) + (0,22 \times TO)}{1} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

IVCB = Índice de Vulnerabilidade da Costa Brasileira;

DP = Indicador de Densidade Populacional;
NS = Indicador de Nível Social;
MM = Indicador de Movimento de Massa;
EM = Indicador de Exposição a Ondas e Marés;
EC = Indicador de Erosão Costeira;
II = Indicador de Inundação;
TO = Indicador de Tipo de Ocupação.

Essa formulação foi executada duas vezes, uma para cada cenário de aumento do nível do mar, e então foi possível comparar as diferentes distribuições dos níveis de vulnerabilidade. Os mapas de vulnerabilidade do indicador IVCB, em cada cenário de mudanças climáticas, estão apresentados nas Figuras 20 e 21.

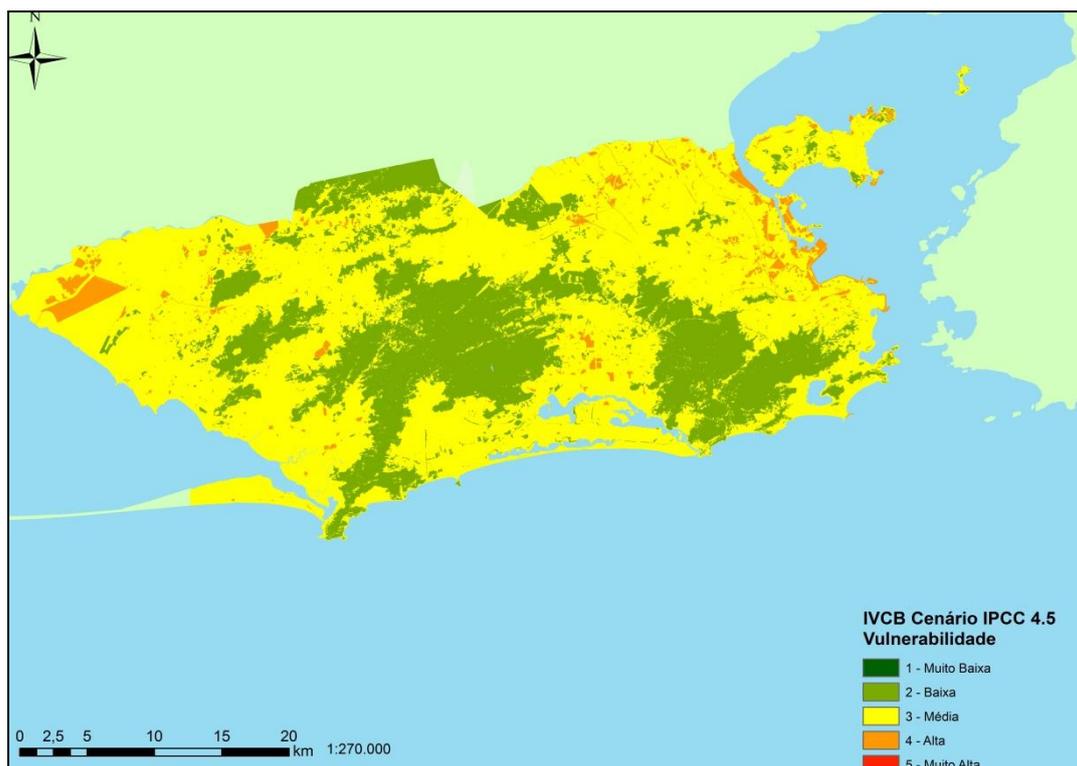


Figura 20. IVCB para o cenário IPCC 4.5 para o Rio de Janeiro.

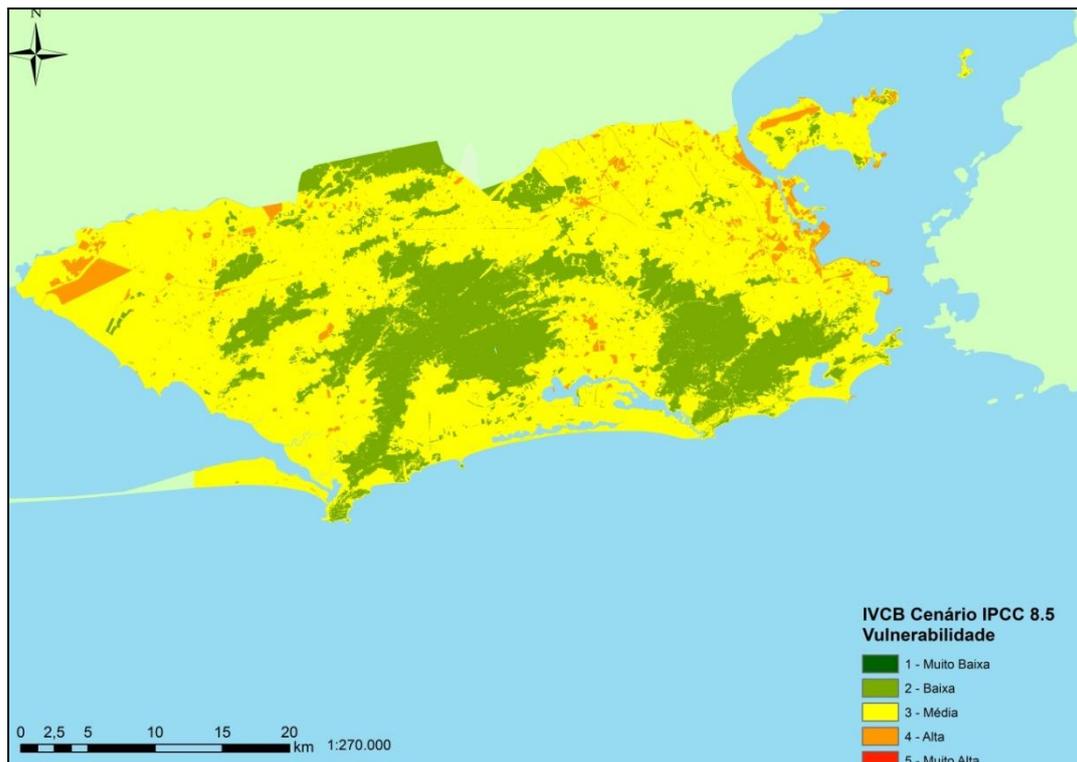


Figura 19. IVCB para o cenário IPCC 8.5 para o Rio de Janeiro.

2.1.3. Comentários finais para o IVCB no município do Rio de Janeiro/RJ.

Uma primeira observação dos resultados mostra que, para o Rio de Janeiro, não foi encontrada nenhuma área de muito alta vulnerabilidade (nível 5). No entanto, a maior parte do município encontra-se em áreas apontadas como de média e alta vulnerabilidade, o que exige atenção. Tais áreas, iniciando-se por aquelas apontadas como de muito alta e alta vulnerabilidade, deveriam ser objeto de estudos mais detalhados, de forma a aprimorar a análise sobre as mesmas.

Na comparação dos dois cenários é possível perceber que a região da Ilha do Fundão, a região portuária e a região onde localiza-se a siderúrgica da ThyssenKrupp (oeste do município), aparecem nos dois resultados como áreas de atenção, com alta vulnerabilidade (nível 4). Essas regiões apresentam 3 características em comum: estão localizadas em áreas baixas, planas e próximas ao oceano. São regiões em área de planície próxima ao oceano, o que as torna vulneráveis aos efeitos de maré, especialmente com a previsão de elevação do nível do mar. Além disso, parcelas destas regiões também aparecem como sujeitas a alagamentos, por serem regiões

Assinatura

muito planas e baixas, próximas a cursos d'água, como a área siderúrgica localizada na foz do rio Guandu.

Outras áreas aparecem nos dois mapas como vulneráveis, em especial a região pertencente ao Grupamento de Fuzileiros Navais do Rio de Janeiro. A classificação da área como de alta vulnerabilidade se dá pelo mesmo motivo das anteriores. Além disso, os grupamentos militares agem como força de apoio na resposta a eventos extremos, e possuem grande experiência em respostas a desastres. Instalações com esta característica, uma vez localizadas em regiões suscetíveis, potencializam a vulnerabilidade da população, já que podem perder sua capacidade de ação em situações extremas.

Uma análise mais ampla poderia concluir que a ocupação histórica da cidade do Rio de Janeiro, dando preferência às áreas planas e mais baixas para o assentamento humano, faz com que grande parte da cidade esteja em áreas propensas a alagamentos e efeitos das mudanças climáticas estudadas.

No cenário IPCC 8.5, uma questão interessante aparece, pois as pistas dos dois principais aeroportos são apontadas como áreas de atenção, indicando que mesmo o transporte de entrada e saída de eventuais materiais de socorro, em caso de eventos desastrosos, poderia ficar comprometido, o que agravaria ainda mais a situação do município.

2.2. Resultados do IVCB para o município de Santos/SP

A região do município de Santos, a ser abordada nessa parte do estudo é a região insular do município. Isso se deve ao fato de que os dados referentes ao uso do solo, fornecidos pela prefeitura, se restringem a essa região. De fato esta é a região mais urbanizada e relevante em termos de ocupação do município.



É importante mencionar que os dados de uso do solo de Santos tem um refinamento exemplar, contendo informações de cada lote da cidade. Assim foi possível detalhar de forma bastante precisa as diversas ocupações do município.

A priori, deve-se notar que, por ser um ambiente insular, os efeitos de mudanças climáticas que estão contemplados nesse estudo apresentam-se de forma mais intensa na região de Santos que no município do Rio de Janeiro.

2.2.1. Resultados por indicador

Optou-se por utilizar a mesma apresentação de resultados que foi feita para o Rio de Janeiro, ou seja, serão apresentados primeiro os resultados por indicador e em seguida os resultados do IVCB, para o município.

2.2.1.1. Indicador de Tipo de Uso.

O indicador de tipo de uso, para a região insular de Santos, foi feito através de um dado cadastral fornecido pela prefeitura em arquivo do AutoCad, lote a lote, com os usos específicos relativos aos mesmos. O fato de esse arquivo originalmente estar em formato de desenho técnico, gerou algumas inconsistências na importação para o programa ArcGis: dos 95 mil polígonos de lotes na região insular do município, cerca de 30 mil perderam a referência de uso na importação e necessitaram de uma correção manual em relação a seu uso de solo. Após essa correção, os dados foram enviados novamente ao setor de geoprocessamento da Prefeitura de Santos, para uma validação e, após essa validação, foram então empregados no estudo.

O mapa de uso do solo gerado após essa validação, com as classes de uso que são utilizadas pela prefeitura, encontra-se na Figura 22.



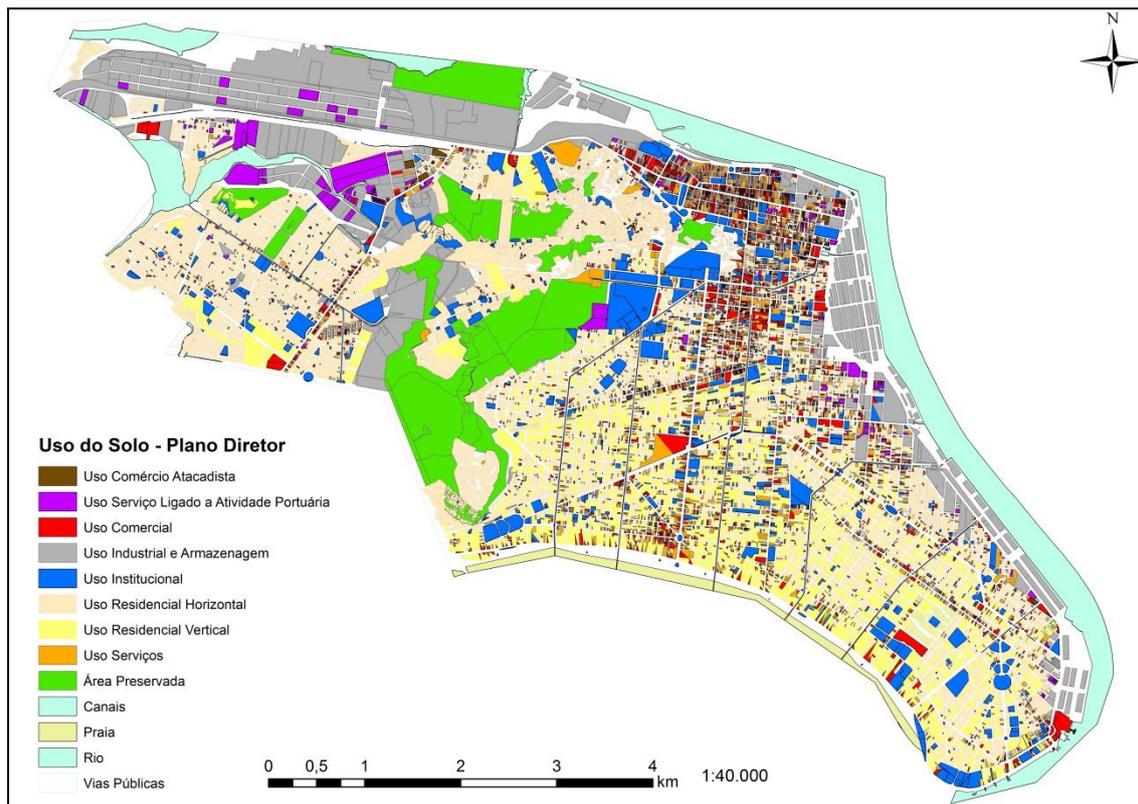


Figura 20 - Uso do Solo original – Município de Santos/SP

Nota-se nesse mapa que a maior parte dessa região do município encontra-se urbanizada, restando apenas algumas áreas, geralmente nas partes íngremes dos morros, preservadas, com vegetação, e sem ocupação urbana.

Nota-se também a influência do porto na ocupação local, pois as áreas industriais e de serviços ligados a atividade portuária, localizam-se principalmente as margens do rio Cubatão, enquanto as regiões de uso residencial vertical estão mais próximas das regiões de praia, banhadas pelo oceano. As regiões a noroeste possuem uma urbanização, com uso residencial, predominantemente, horizontal. Os usos comerciais concentram-se na porção norte do mapa, mas também aparecem ligados as principais avenidas da região central.

Por fim os usos institucionais aparecem relacionados aos prédios públicos, igrejas, escolas, praças e outros usos institucionais de solo na região.

[Assinatura]

A classificação por nível de vulnerabilidade no caso de Santos seguiu a seguinte tabela, de modo a classificar os usos de 1 a 5, conforme proposto na metodologia. O resultado dessa classificação pode ser observado na Figura 23.

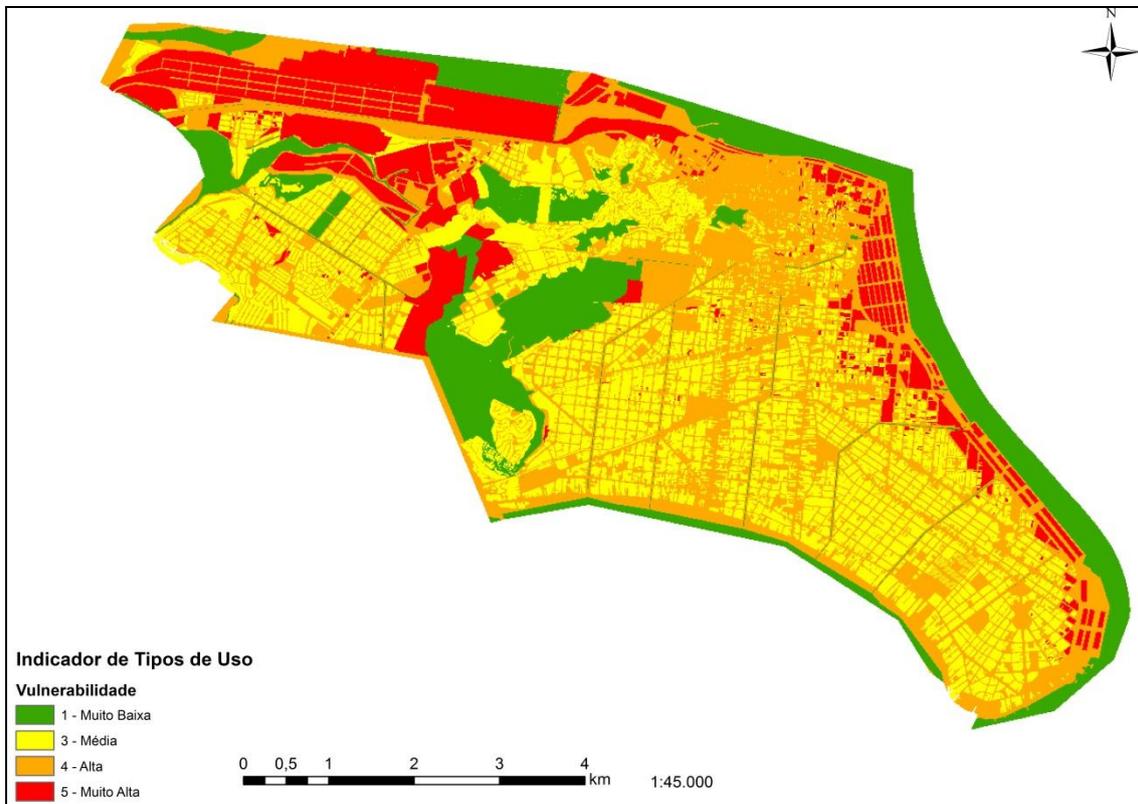


Figura 21 - Indicador de Tipos de Uso para o município de Santos.

2.2.1.2. Indicador de Inundação

Os dados para o indicador de inundação foram processados, através de dados, conseguidos junto ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, que continham, não apenas o rio Cubatão e os pequenos rios existentes na região de Santos, como também os canais fluviais, existentes na cidade.

A partir desses dados, foi gerado um mapa de distâncias em relação aos corpos d'água, o qual foi utilizado para a formação do indicador.

Os dados de chuva dessa região, para o cálculo do número de eventos extremos de precipitação na década de 2030-2040, utilizou-se então o Coeficiente de Precipitação Crítica – CPC, estabelecido para aquela região pelo decreto estadual nº 42565/97,

onde determina-se para a região de Santos que uma precipitação de 100mm em 72 horas é considerada então crítica. O processamento dos dados dos modelos HadGen e Miroc, para cenários 4.5 e 8.5 do IPCC, chegaram a um número de aproximadamente 125 eventos de precipitação crítica na década estudada, o que enquadra o município em uma categoria 5 de vulnerabilidade nessa variável.

Por fim a variável relativa à altitude foi acrescentada ao cálculo, a partir do mapa de declividades.

Essa variável inclui as áreas de menor altitude nas categorias mais altas de vulnerabilidade, assim as áreas mais baixas, para onde o escoamento tende, aparecem como áreas de maior vulnerabilidade.

O resultado desse indicador pode ser observado na Figura 25. As regiões mais próximas aos canais fluviais existentes na cidade de Santos, aparecem como regiões de vulnerabilidade alta e muito alta. Estes canais, que muitas vezes estão associados a grandes avenidas do município, aparecem como as regiões mais vulneráveis nesse indicador, o que pode ser justificado pelo fato de os mesmos concentrarem grande fluxo de escoamento de águas pluviais, por ocasião de chuvas intensas na região – cabe salientar que, como pode ser observado no mapa de usos do solo, a maior parte da área insular do município encontra-se impermeabilizada em função do adensamento da ocupação urbana.



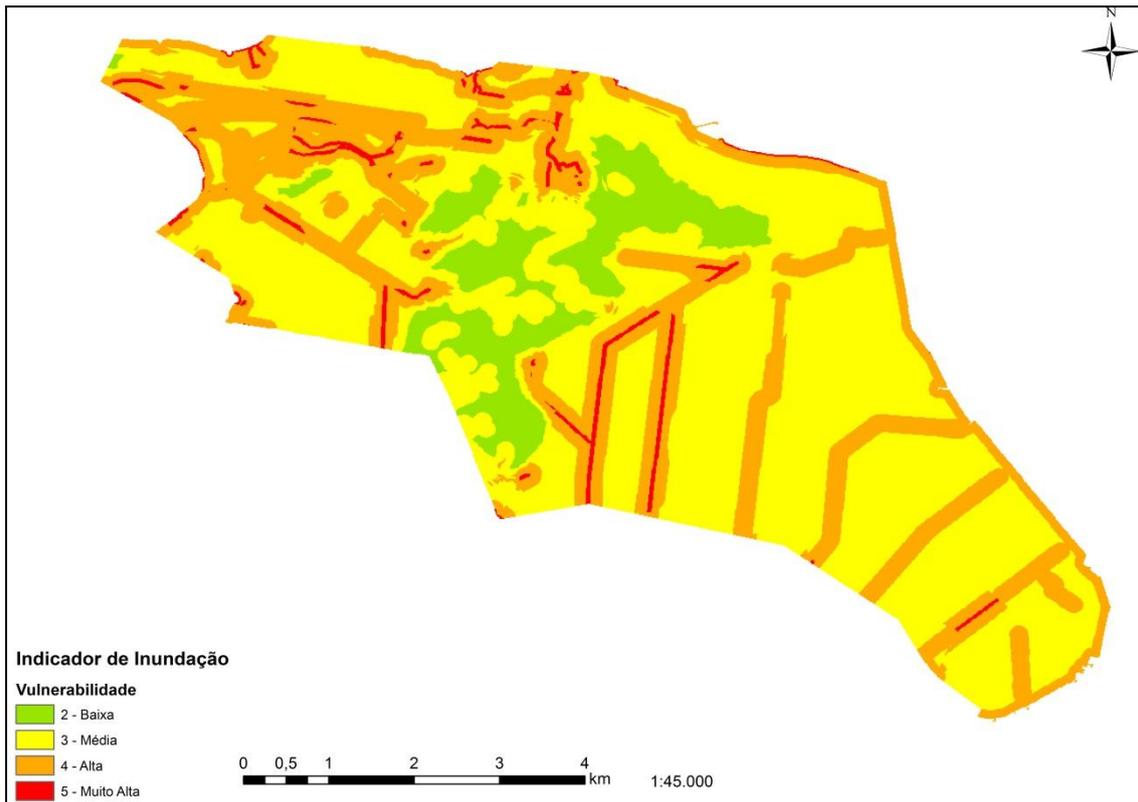


Figura 22 - Indicador de Inundação para o município de Santos.

2.2.1.3. Indicador de Erosão Costeira.

O indicador de Erosão Costeira, também para a região de Santos teve que ser adaptado, pois o mapa de geomorfologia existente não era específico para as regiões de praia, como seria o ideal para esse indicador. Da mesma forma que no caso anterior, foi aplicado um *buffer*, para que se considerasse apenas a geomorfologia da região mais próxima ao litoral, ou seja, a região que se encontra a menos de 50m da costa (Figura 26).

[Handwritten signature]

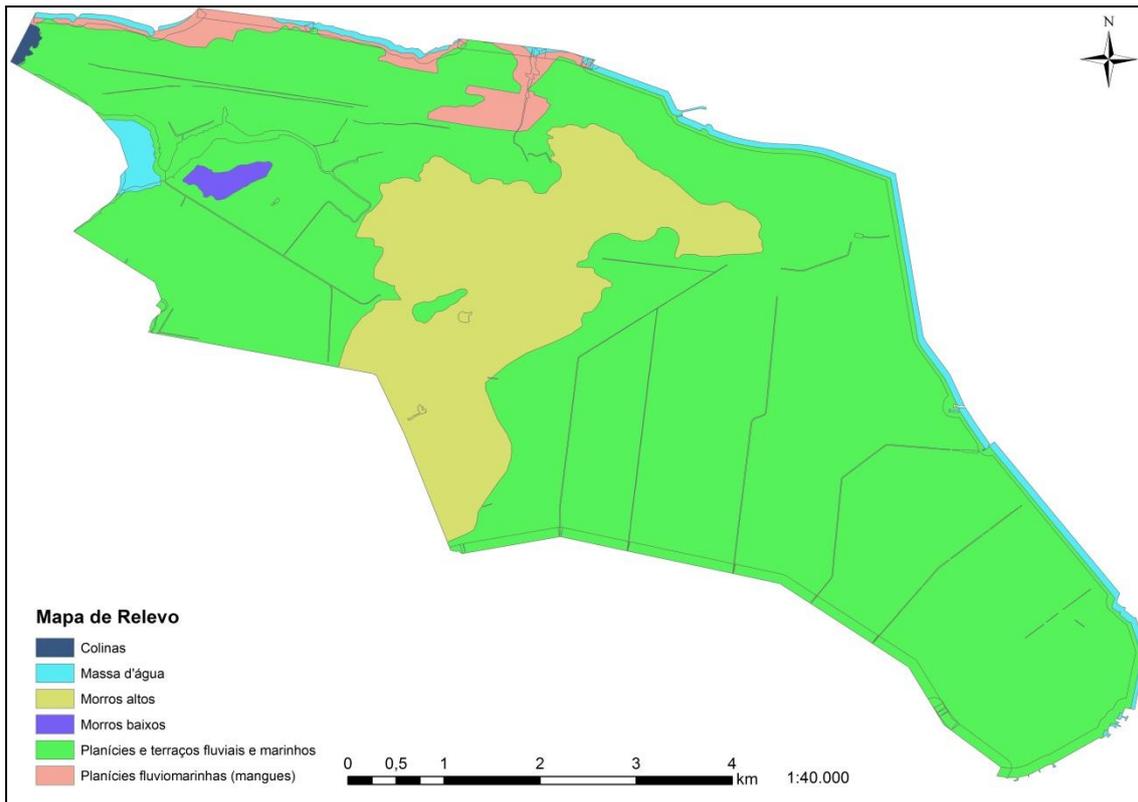


Figura 23. Relevo da Região insular de Santos
 Fonte: adaptado de IPT (2014).

As classes geomorfológicas da costa de Santos foram extraídas do mapa de relevo da baixada santista, fornecido pelo IPT (2014). Junto ao dado de Geomorfologia, acrescentaram-se novamente os dados de áreas que estariam sob influência da maré prevista para 2040, ou seja áreas abaixo de 1,9m de altitude, para se gerar então o mapa do Indicador de Erosão Costeira, que pode ser observado na Figura 27.

Assinatura

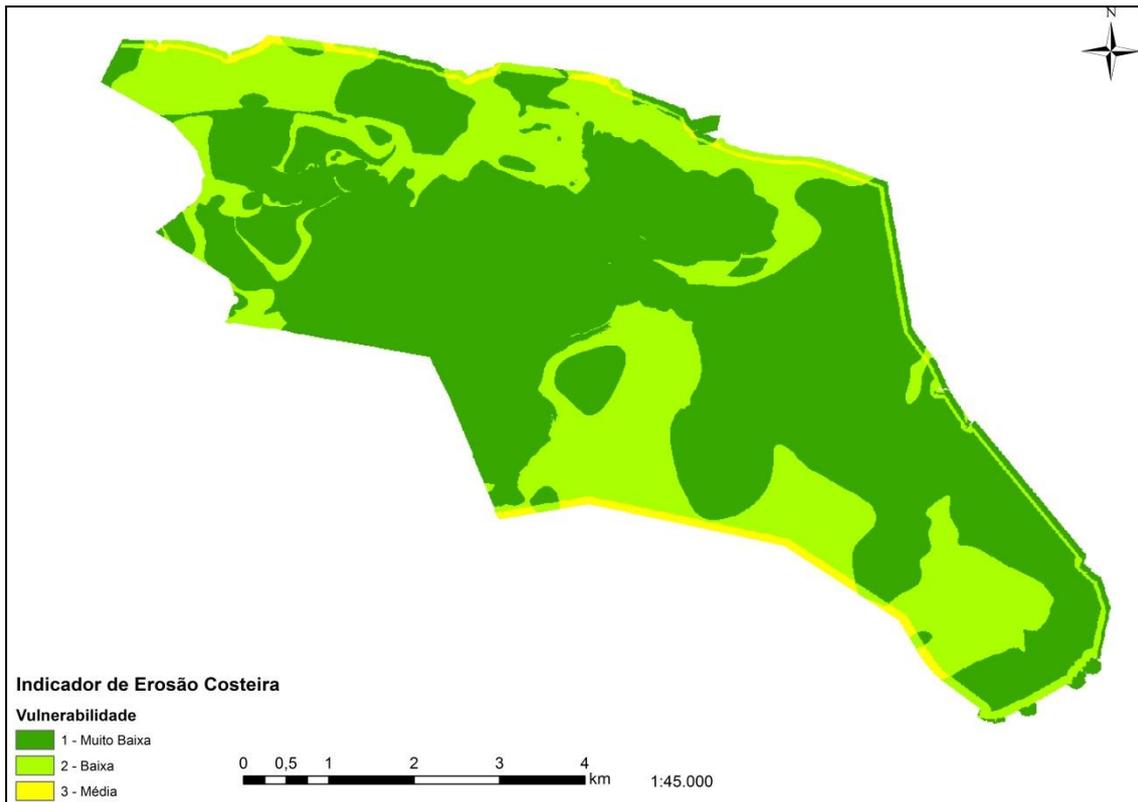


Figura 24 - Indicador de Erosão Costeira para o município de Santos.

Este mapa apresenta apenas algumas áreas de média vulnerabilidade, dentro do limite de influência 50m, em relação à costa. As demais áreas do município encontram-se abaixo do nível médio de maré esperado em 2040, constando como áreas de baixa vulnerabilidade.

2.2.1.4. Indicador de Movimentos de Massa

Novamente, a falta de um mapa de classificações geotécnicas de toda a região insular, exigiu uma adaptação da metodologia proposta inicialmente para esse indicador, de modo que ao invés de um dado de geotecnia, utilizou-se um dado de classificação geológica da região, também fornecido pelo IPT (2014), como pode ser observado na Figura 28.

Assinatura

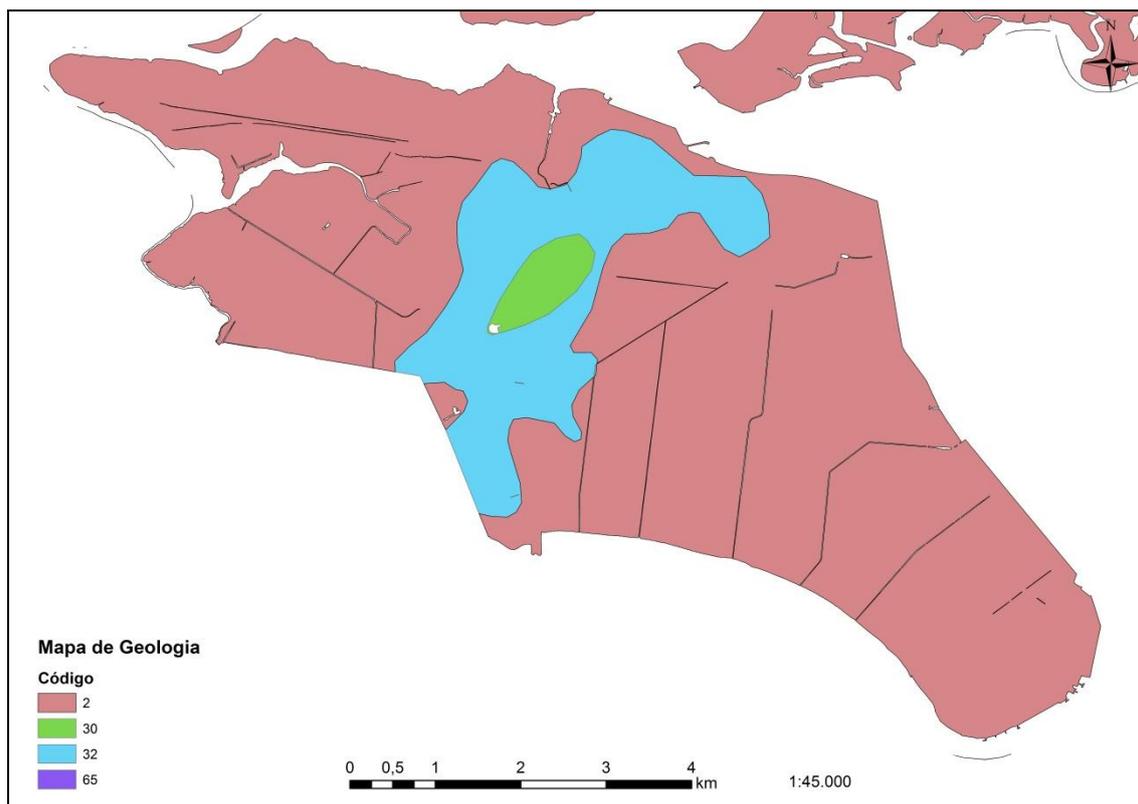


Figura 25. Mapa de Classificação Geológica.
Fonte: adaptado de IPT (2014).

As classes geológicas encontradas no município foram distribuídas em níveis de vulnerabilidade, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação Geológica e vulnerabilidade para o município de Santos/SP

Código	Descrição	Vulnerabilidade
2	Sedimentos marinhos e lagunares indiferenciados, incluindo areias, argilas de mangues e areias litorâneas	5
30	Granitos e granitóides polidiapíricos de termos porfiríticos, com granulações variadas	2
32	Corpos granitóides foliados, com contatos parcialmente discordantes, textura porfiróide frequente, composição de tonalítica a granítica (fácies Cantareira)	3
65	Migmatitos diversos, incluindo estromatitos, metatexitos, diatexitos, biotita gnaisses, granitóides e granitos gnáissicos, anfibolitos e serpentinitos subordinados, localmente migmatitizados	3

Assinatura

Sobre o mapa geológico, foi sobreposto o mapa de declividade do terreno (Figura 29), no qual se observa a predominância de áreas planas na região insular do município.

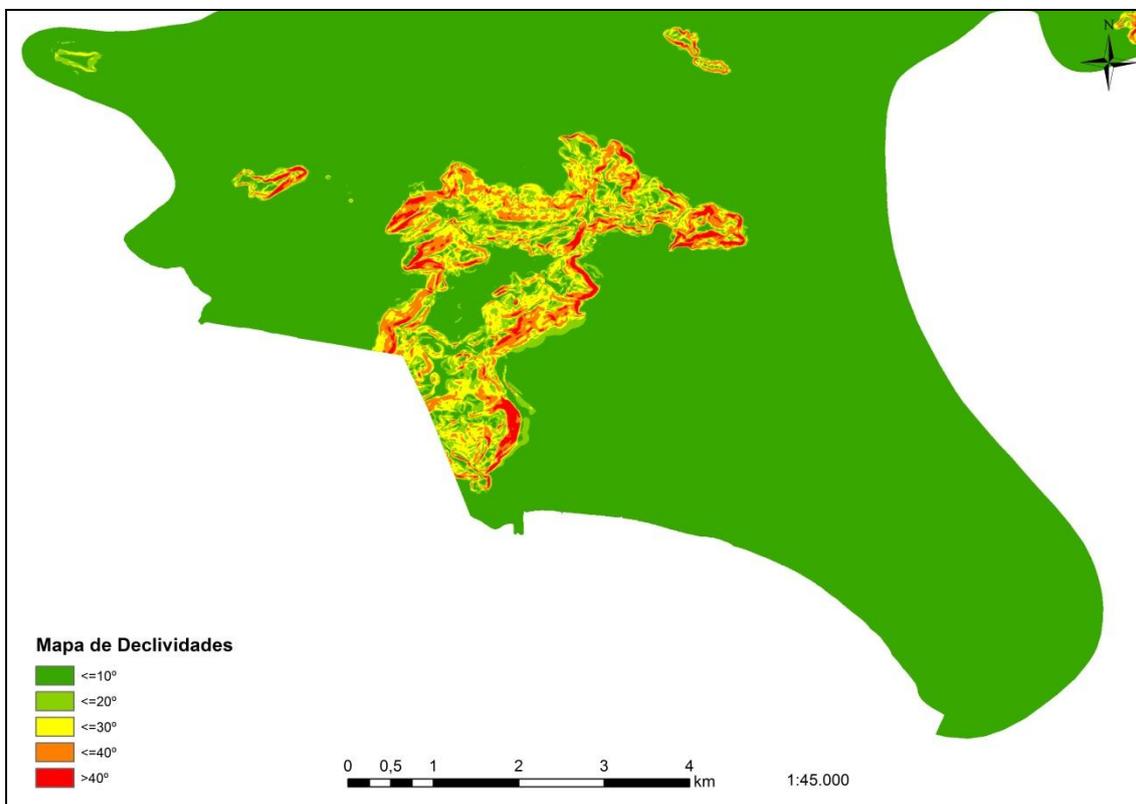


Figura 26 - Mapa de Declividades, para o município de Santos.

A última variável para esse indicador é a quantidade de eventos extremos de precipitação para a década de 2030-2040, da mesma forma que no caso do município do Rio de Janeiro/RJ.

A combinação dessas 3 variáveis dá origem ao mapa do indicador de movimentos de massa para a região insular do município de Santos. O mapa resultante desse indicador pode ser observado na Figura 30.

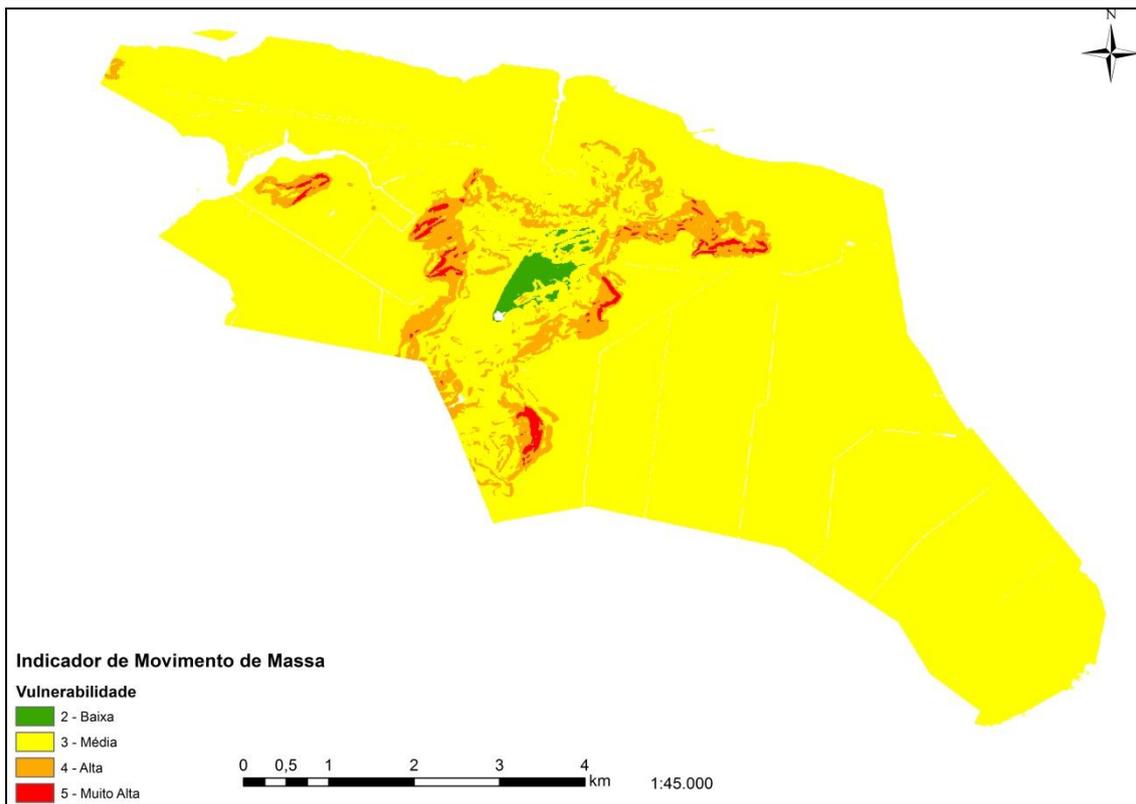


Figura 30. Indicador de Movimentos de Massa, para Santos.

Um ponto importante, ressaltado pelo indicador, é o fato de regiões planas serem classificadas como de média vulnerabilidade, no caso do município de Santos. Isso se deve aos tipos de solos presentes nessa região, os quais são, de maneira geral, sedimentos marinhos e lagunares, que, do ponto de vista geotécnico, são bastante instáveis e, portanto, deve-se observar com cautela suas propriedades pontuais, especialmente para a construção de fundações e infraestrutura subterrânea nessa região.

2.2.1.5. Indicador de Exposição a Ondas e Maré

O primeiro dado utilizado na construção desse indicador é o dado de altitude em relação ao nível do mar, para a região insular do município de Santos. Nota-se nesse mapa que a maior parte da região estudada encontra-se em altitudes abaixo de 10m em relação ao nível do mar, como se observa na Figura 31, o que a coloca como região de grande susceptibilidade em relação aos possíveis efeitos de uma elevação no nível do mar.

Assinatura

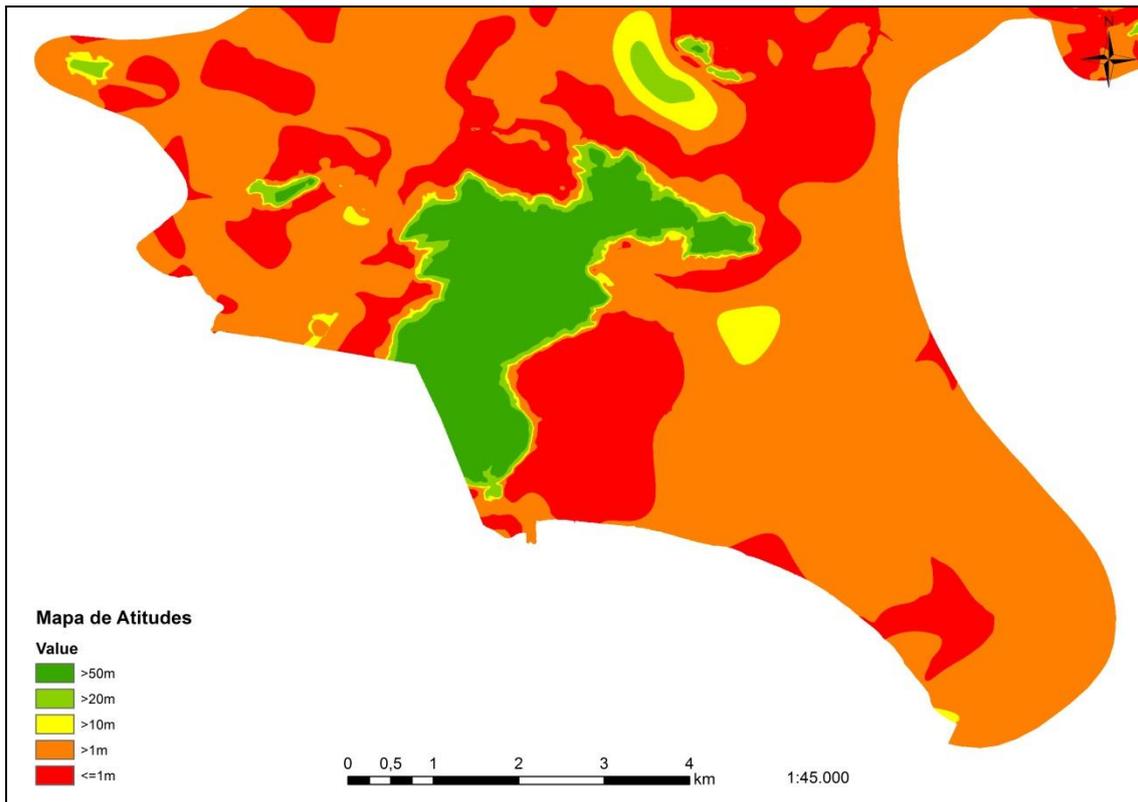


Figura 27. Mapa de altitudes na área insular do município de Santos.

Como previsto no indicador, o mapa de altitudes é sobreposto ao mapa de distância em relação à costa, Figura 32, para a geração do mapa de vulnerabilidade.

Assinatura

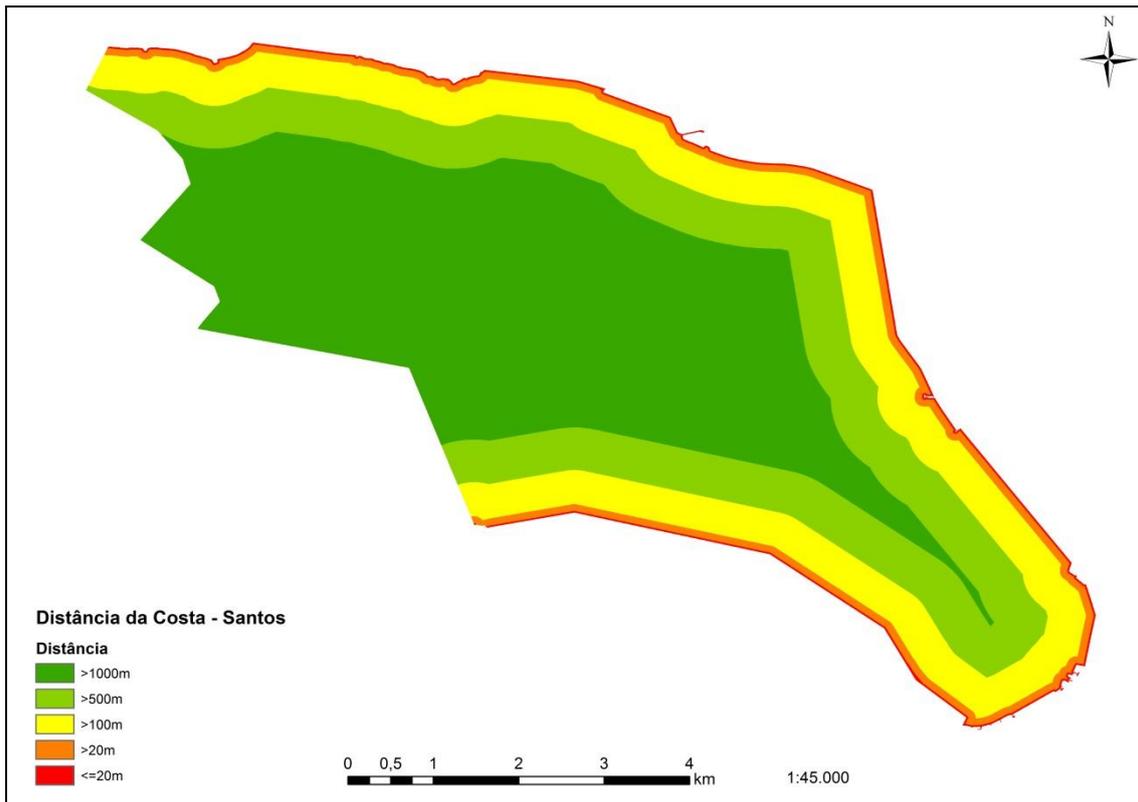


Figura 28. *Buffers* de distância da costa.

A combinação destes dois dados com os cenários de elevação do nível do mar dá origem aos mapas do indicador de exposição a ondas e marés para os dois cenários analisados (Figuras 33 e 34).

Handwritten signature

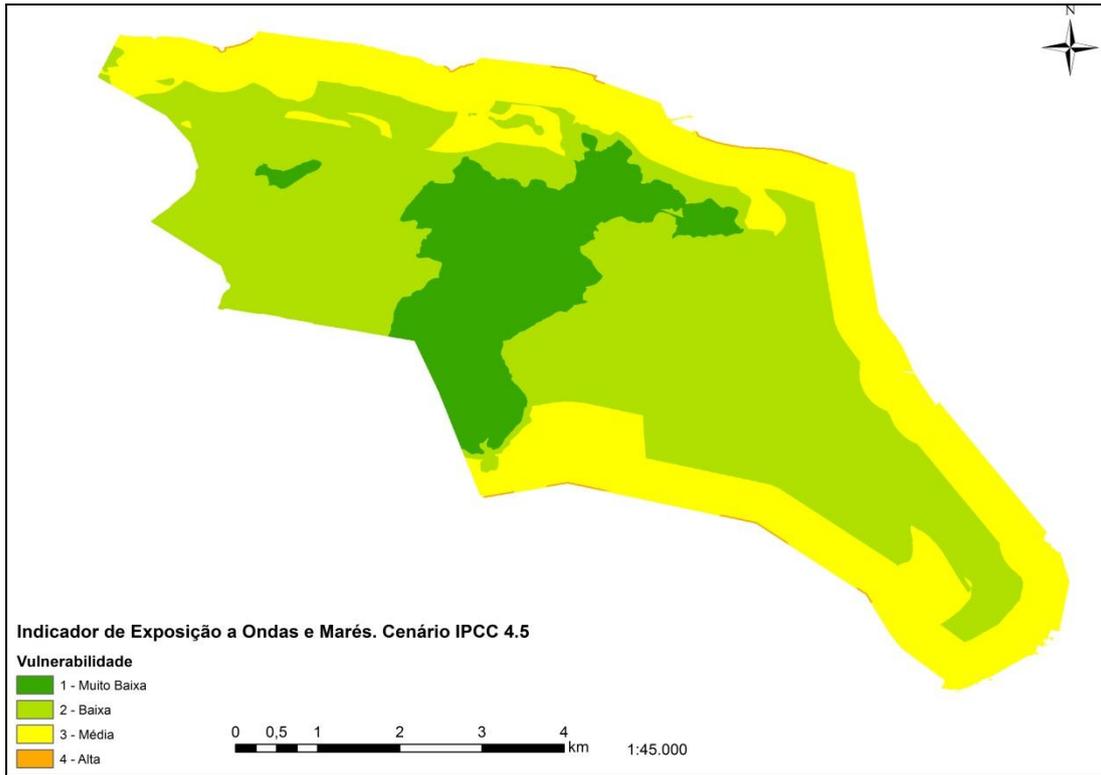


Figura 29. Indicador de Exposição a Ondas e Marés, cenário IPCC 4.5, para o município de Santos.

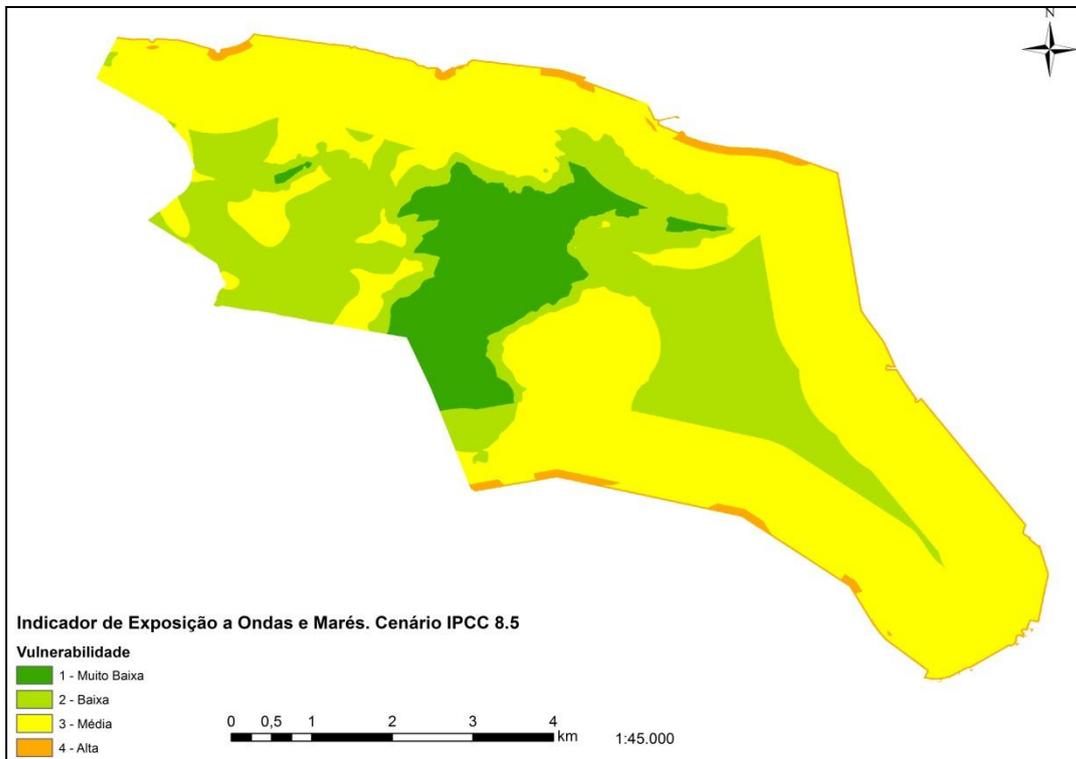


Figura 304. Indicador de Exposição a Ondas e Marés, cenário IPCC 8.5, para o município de Santos

[Handwritten signature]

Assim como para o município do Rio de Janeiro, é possível notar nos mapas de exposição à ondas e marés o acréscimo de 0,05m, que é a diferença na previsão de elevação do nível do mar para os dois cenários do IPCC. Tal diferença é suficiente para expandir as regiões de vulnerabilidade média e alta no município. Essa pequena diferença faz com que grande parte do município passe a se inserir numa categoria de média vulnerabilidade ou superior, o que demonstra a susceptibilidade da região aos efeitos das mudanças climáticas relativas ao oceano.

2.2.1.6. Indicador de Densidade Populacional

O indicador de Densidade Populacional, como proposto no modelo, é uma soma de duas variáveis que são particularmente utilizadas em estudos de risco para avaliar dificuldade de evacuação de uma população em caso de um evento desastroso.

A primeira variável desse indicador é a própria Densidade Populacional. Utilizada como medida de concentração populacional, e ponderada devido ao seu impacto direto na capacidade de evacuação e no número de vítimas de um possível desastre. A densidade para a região insular do município de Santos distribui-se como apresentada na Figura 35.



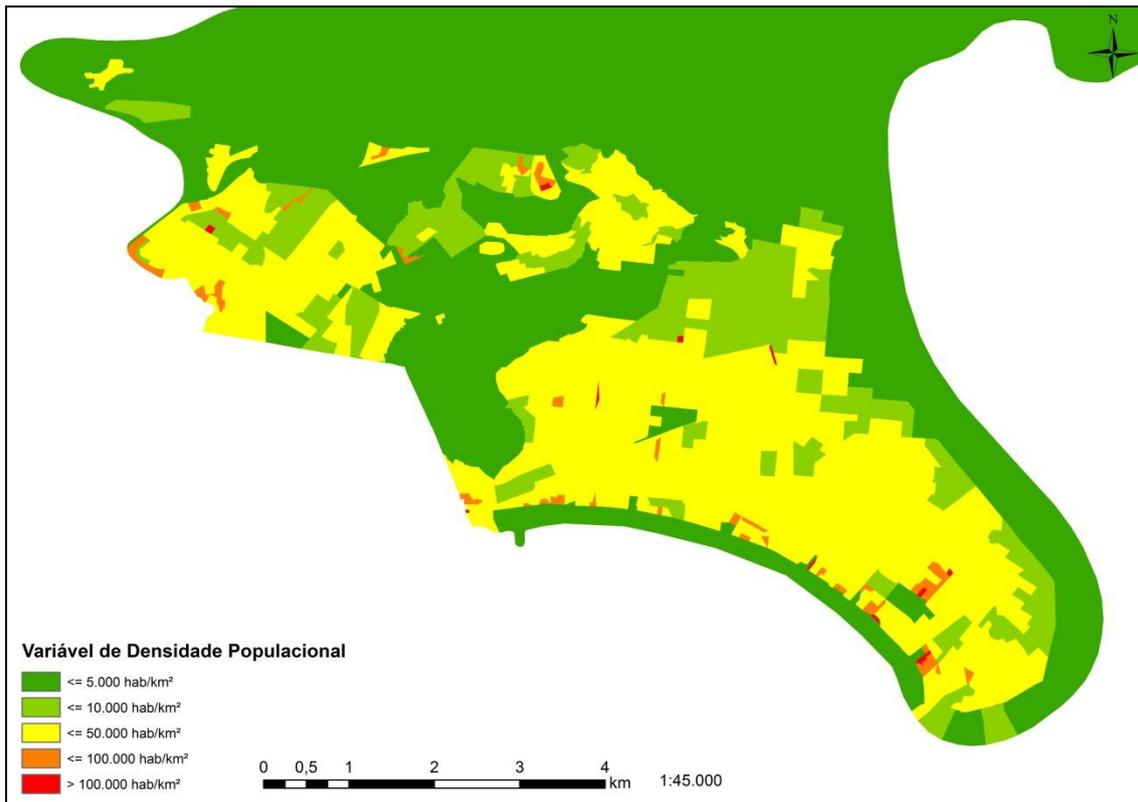


Figura 35. Densidade populacional na região insular do município de Santos.
 Fonte: adaptada de IBGE (2014).

A outra variável pertencente a esse indicador é a idade dos moradores por área de ponderação do IBGE. Essa variável é utilizada para considerar a proposição de que, quanto maior a quantidade de pessoas abaixo de 15 anos e acima de 60 anos, maior será a vulnerabilidade dessa população em caso de um evento extremo. O dado de idade apresenta a população de Santos como predominantemente no nível 3 de vulnerabilidade o que indica pessoas adultas tendendo à meia idade, conforme apresentado na Figura 36.

Assinatura

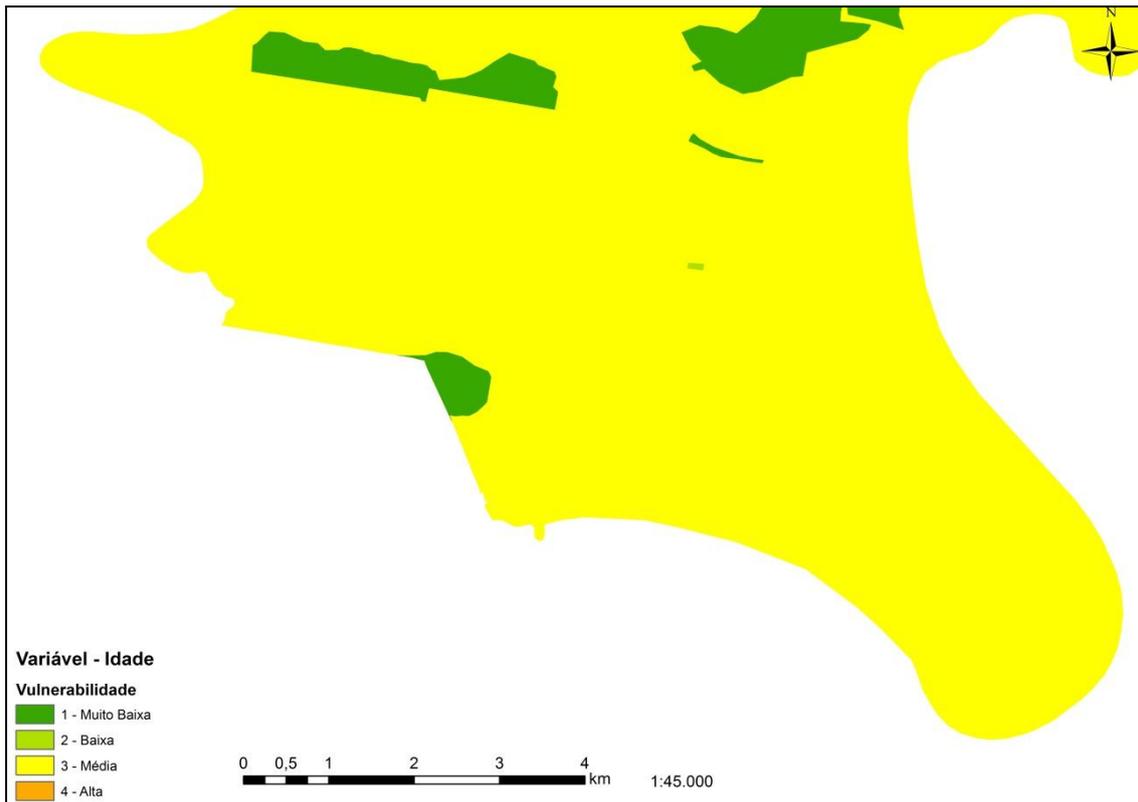


Figura 31. Variável Idade na Região Insular do município de Santos.
Fonte: adaptado de IBGE (2014).

A média entre os mapas das Figuras 35 e 36 dá origem ao mapa do indicador de vulnerabilidade de Densidade Populacional para a região estudada (Figura 37).

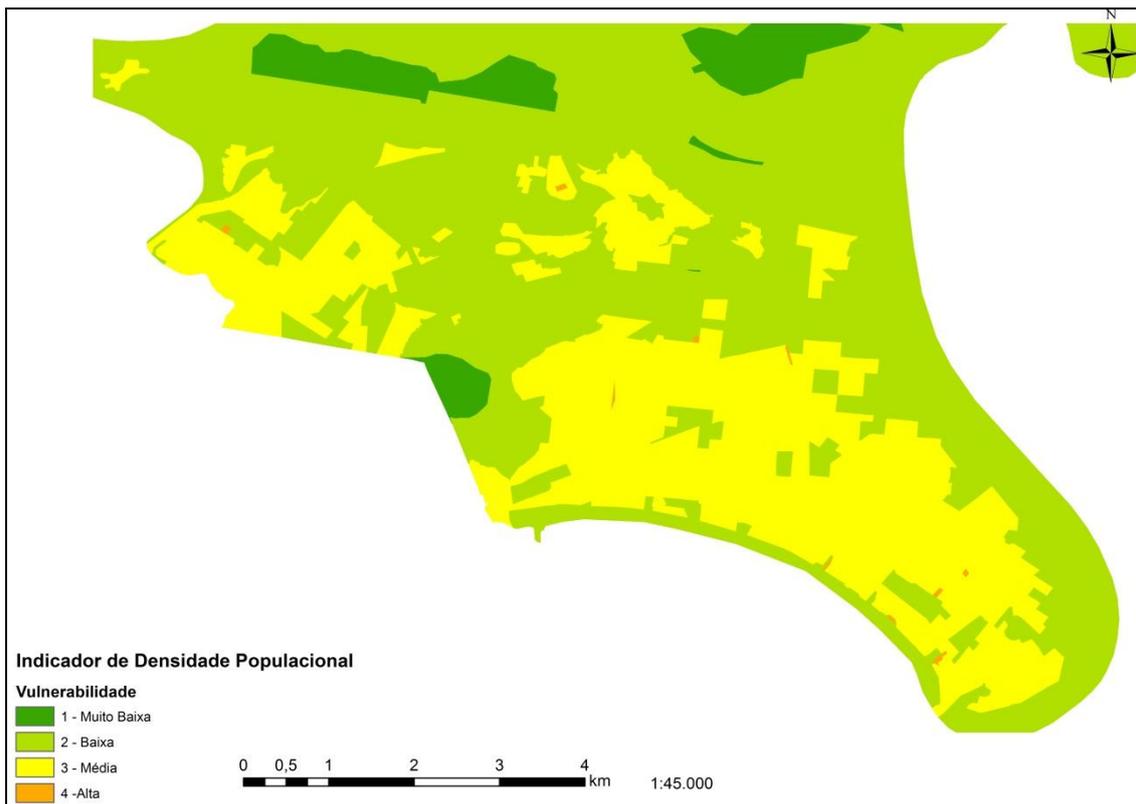


Figura 32 Indicador de Densidade Populacional, município de Santos.

Por esse indicador pode-se observar que a maior concentração de pessoas se dá nas áreas predominantemente residenciais do município, sendo essas áreas apontadas como de média vulnerabilidade, e, em alguns pontos, de alta vulnerabilidade.

2.2.1.7. Indicador de Nível Social

Esse indicador leva em consideração as variáveis de Renda Média e Escolaridade da população residente na região de estudo. A variável renda analisa a capacidade de recuperação de uma população em caso de desastre. O pressuposto, neste caso, é que quanto maior a renda, maior a facilidade com que essa população se adaptaria ou se recuperaria posteriormente ao evento. Novamente para a construção do indicador, assumiu-se que o crescimento do PIB per capita previsto para cada década (entre 2010 e 2040) no PNE 2050, refletirá num crescimento de mesma magnitude na renda. A renda média foi computada para os maiores de 10 anos (com renda), com base nos dados do Censo de 2010 do IBGE, estimando assim a renda média para os setores censitários da região insular do município de Santos. O resultado para essa variável pode ser observado na Figura 38.

[Assinatura]

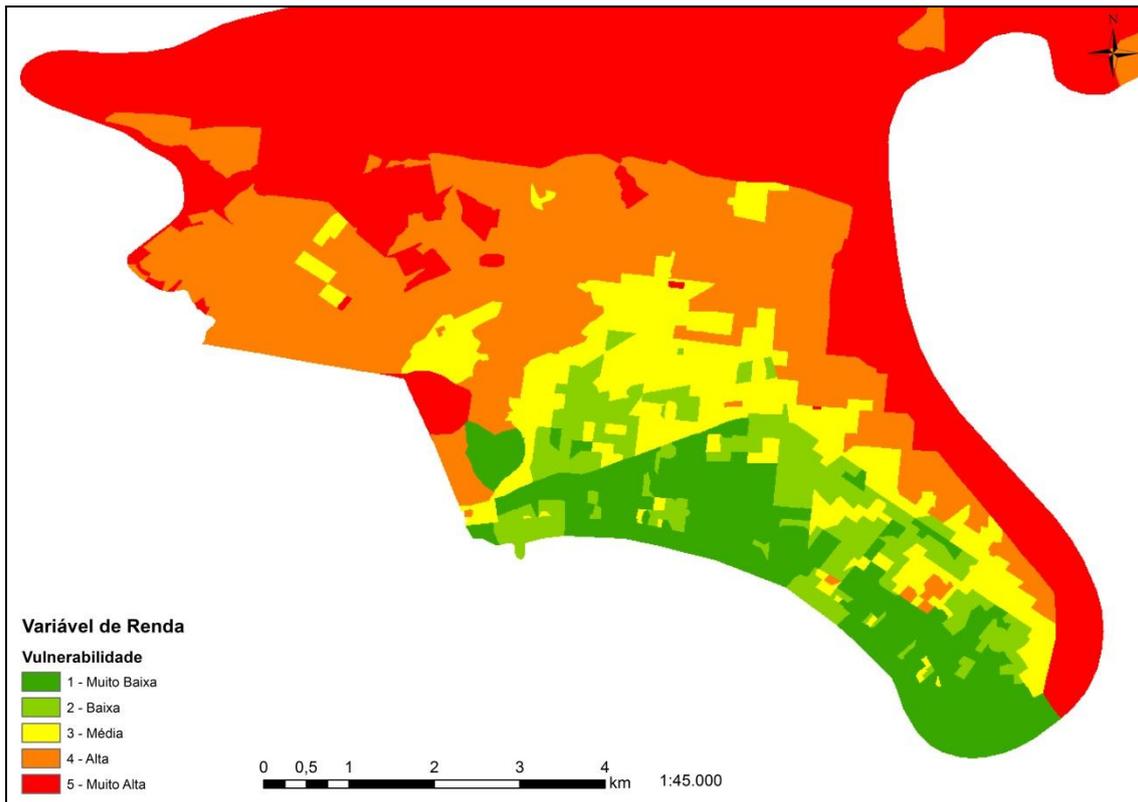


Figura 38. Vulnerabilidade associada à renda, para o município de Santos.

A variável associada à escolaridade média dos habitantes por área de ponderação do Censo 2010, do IBGE, é ponderada juntamente com a renda para demonstrar a capacidade de recolocação ou melhora de situação devido à possibilidade de geração de renda associada a níveis mais altos de escolaridade. A distribuição de escolaridade na região insular de Santos, demonstra uma escolaridade média tendendo à baixa, que pode ser observada pela predominância dos níveis médio e alto de vulnerabilidade na Figura 39.

Assis

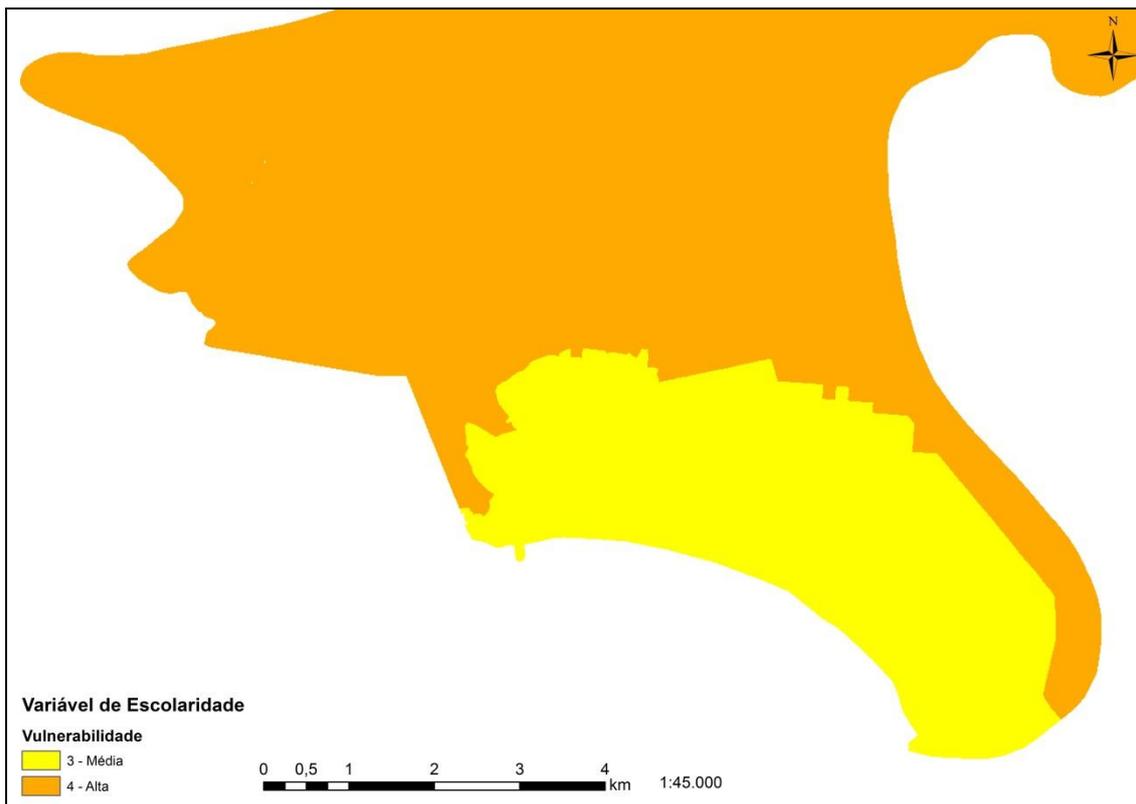


Figura 33. Vulnerabilidade associada à escolaridade na região insular do município de Santos.

A média entre essas duas variáveis dá origem ao indicador de nível social, cuja composição está demonstrada na Figura 40. Novamente, o padrão encontrado no Rio de Janeiro pode ser observado na região insular de Santos, de modo que as regiões com maior vulnerabilidade associada à renda, também aparecem com maior vulnerabilidade associada à escolaridade, o que agrava sua situação nesse indicador.

Assis

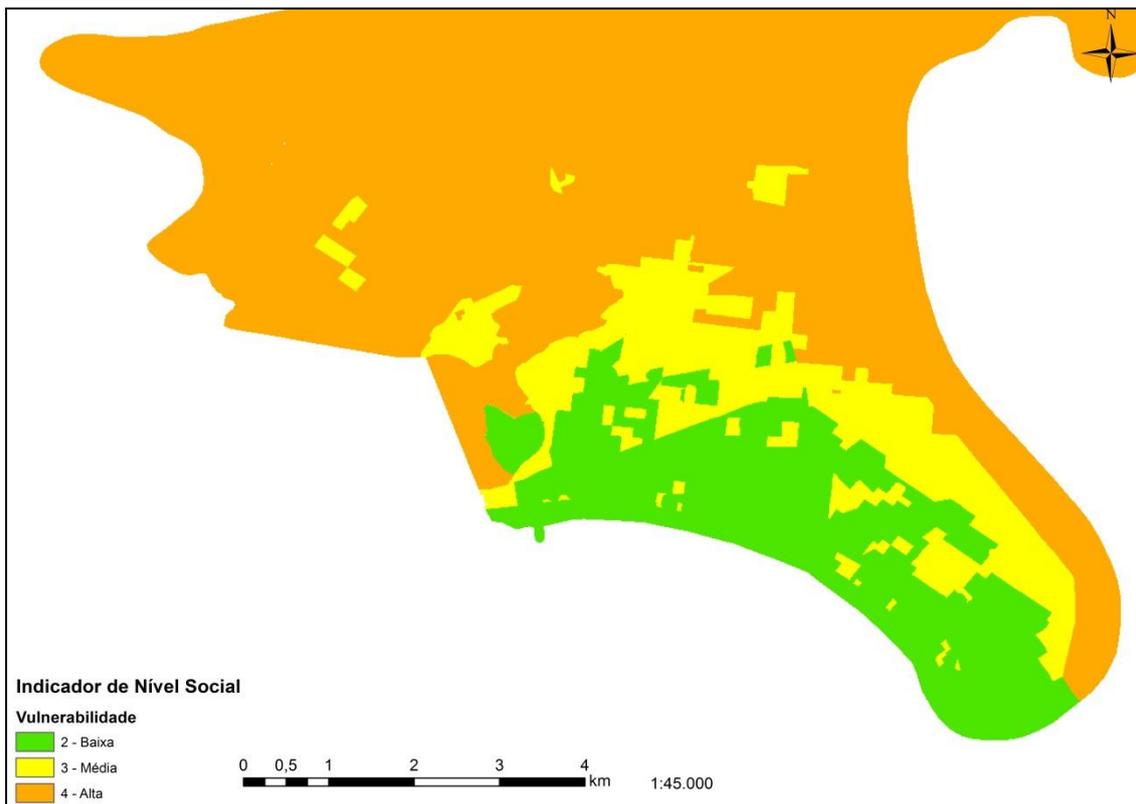


Figura 40. Indicador de Nível Social, para a região insular do município de Santos.

2.2.1.8. Resultado para o IVCB em Santos

A formulação do IVCB para Santos foi a mesma utilizada para o Rio de Janeiro, de forma a garantir a comparabilidade dos resultados. Essa formulação, que dá maior importância ao indicador de uso do solo, foi utilizada de modo a permitir a análise dos impactos sobre a infraestrutura local, no caso de eventos extremos.

A porção insular de Santos, no entanto, devido às características geográficas da região onde se insere, registra uma situação de maior vulnerabilidade que a do município do Rio de Janeiro. A predominância de áreas baixas e planas, próximas ao oceano, são as explicações mais plausíveis para esse fenômeno.

Os resultados para os dois cenários estudados, podem ser observados, nas Figuras 41 e 42.

Assinatura

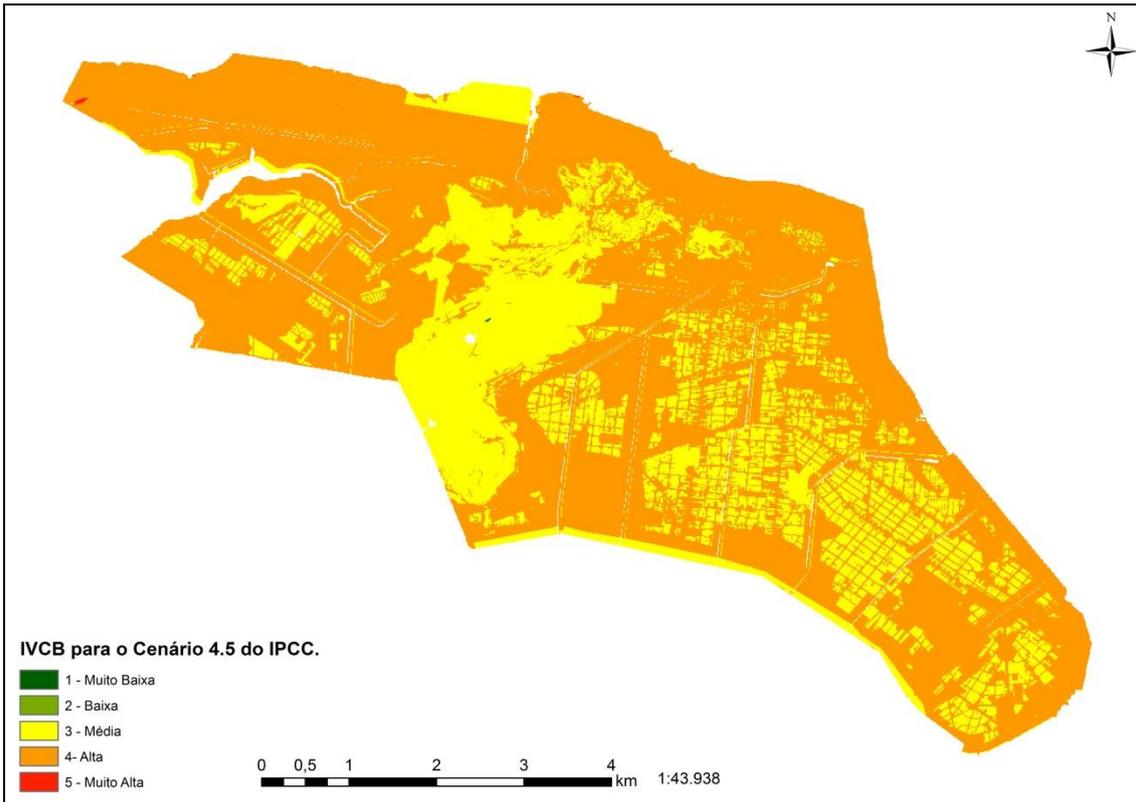


Figura 34. IVCB, para o cenário IPCC 4.5, na região insular do município de Santos

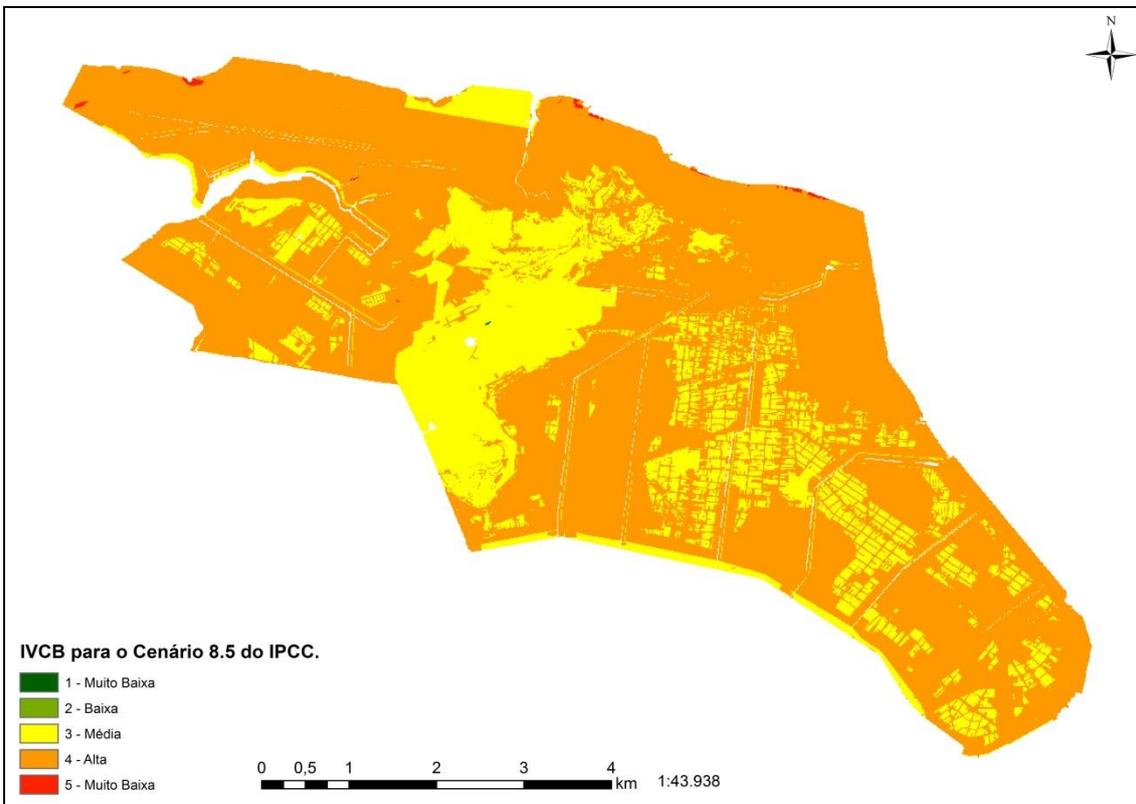


Figura 35 - IVCB, para o cenário 4.5, na região insular do município de Santos

[Handwritten signature]

2.2.2. Comentários finais acerca do IVCB na região insular do município de Santos/SP

A observação dos mapas do IVCB demonstra uma situação de vulnerabilidade bastante agravada ao município de Santos, pois há uma clara predominância de níveis 4 de vulnerabilidade dos mapas. Em ambos os mapas, observa-se que nas áreas associadas às infraestruturas portuárias predominam níveis muito altos de vulnerabilidade, o que as coloca em um estado crítico, que exige atenção e análise para priorização de medidas adaptativas.

Assim como para o Rio de Janeiro, infraestrutura de transportes (vias públicas) aparece como área de alta vulnerabilidade, devido à frequente associação entre a presença de canais e as vias de tráfego urbano.

Para algumas regiões de uso residencial, especialmente aquelas mais próximas ao mar ou em regiões de menor altitude, os resultados apontaram vulnerabilidade alta, diferente do encontrado no Rio de Janeiro (vulnerabilidade média). Isso se deve a 3 fatores, predominantemente: baixa altitude em relação ao nível do mar, presença de imóveis comerciais em conjunto com imóveis residenciais, e solo de aluvião que tem vulnerabilidade inerentemente alta.

De modo geral, é possível observar que a situação de Santos, considerando-se os usos do solo de 2012, para os cenários do IPCC 4.5 e 8.5, já é grave, exigindo medidas de adaptação imediatas. Ao se projetar os cenários climáticos, percebe-se um agravamento ainda maior da situação de vulnerabilidade. Os resultados demonstram os pontos prioritários para iniciativas de adaptação, que incluem a região portuária e a malha de transporte urbano do município.



3. INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA

3.1. Resultados obtidos do modelo ERA-40

O modelo ERA-40, série 1957 a 2002 forneceu como tendência linear as seguintes equações de crescimento da altura significativa de onda (H_s) média estimada nos nodos mais próximos de cada porto com obra de abrigo estudado, como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5. Crescimento da altura significativa de onda (H_s) média – ERA 40

Coordenadas dos nodos	Portos	Constante em 1957 (m)	Gradiente anual desde 1957 ($\times 10^3$ m/ano)	H_s médio 2015 (m) % (1957 a 2015)	H_s médio 2030 (m) % (1957 a 2030)	H_s médio 2050 (m) % (1957 a 2050)
- 38; - 4	Mucuripe	1,32	2	1,44 9,1	1,46 10,6	1,51 14,4
- 33,5; - 8,5	Recife	1,68	3	1,85 10,1	1,90 13,1	1,96 16,7
- 35; - 10	Maceió	1,58	3	1,75 10,8	1,80 13,9	1,86 17,7
- 38; - 14,5	Malhado	1,39	3	1,56 12,2	1,61 15,8	1,67 20,1
- 39,5; - 20,5	Barra do Riacho/ Tubarão/ Praia Mole	1,50	4	1,73 15,3	1,79 19,3	1,87 24,7
- 48,5; - 28	Imbituba/ Laguna	1,44	4	1,67 16,0	1,73 20,1	1,81 25,7
- 51,5; - 32,5	Rio Grande	1,59	6	1,94 22,0	2,03 27,7	2,15 35,2

A partir das coordenadas dos nodos, como exemplo no caso do Terminal de Tubarão/Praia Mole (Figura 43), foram extraídas as listagens de dados de H_s , cujos gráficos permitiram estimar a regressão linear no tempo, conforme Figura 44 para o Terminal de Tubarão/Praia Mole. Foram quatro dados diários de 01/09/1957 a 31/10/2002, correspondendo a 65.744 valores.

Devido à óbvia impossibilidade de reproduzir todos estes dados, na Tabela 6 está reproduzida uma pequena parte, de 01/09 a 10/09/1957, para o nodo – 47; -25, situado na Costa do Estado de São Paulo, em horário ZULU-GMT-UTC.

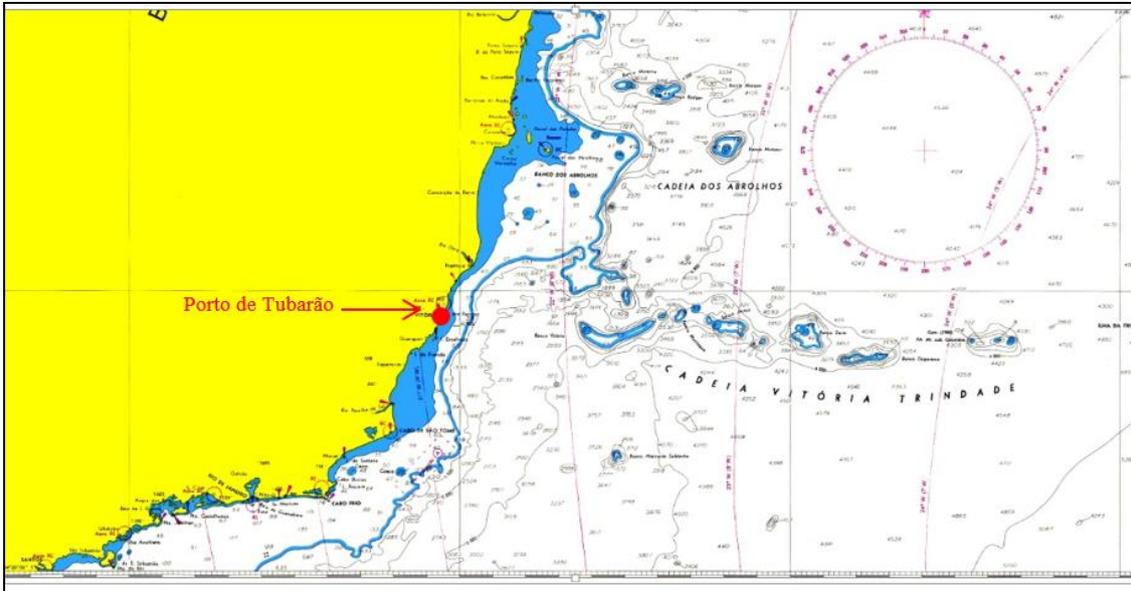


Figura 43. Localização do nodo ERA-40 dos Terminais de Tubarão/Praia Mole.

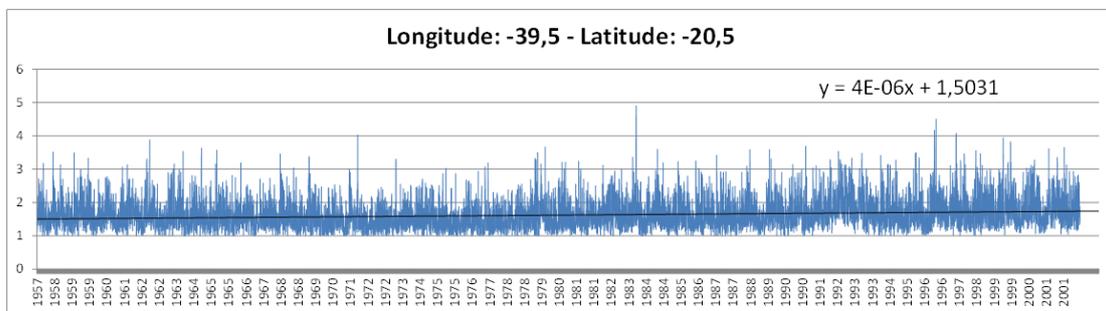


Figura 44 – Série histórica ERA-40 de H_s de 1957 a 2002 para os Terminais de Tubarão/Praia Mole.



Tabela 6. Listagem típica do ERA-40 para o nodo -47; -25 na costa de São Paulo.

Nº misura	ORA	GIORNO	MESE	ANNO	LONG.	LAT.	Hs	Tp	DIREZ
1	0	1	9	1957	313.00	-25.00	1,5	6,9	154,0
2	6	1	9	1957	313.00	-25.00	1,5	7,1	155,3
3	12	1	9	1957	313.00	-25.00	1,5	7,4	155,8
4	18	1	9	1957	313.00	-25.00	1,4	7,5	157,1
5	0	2	9	1957	313.00	-25.00	1,5	7,2	155,2
6	6	2	9	1957	313.00	-25.00	1,4	7,5	157,0
7	12	2	9	1957	313.00	-25.00	1,4	7,0	161,2
8	18	2	9	1957	313.00	-25.00	1,5	6,7	162,5
9	0	3	9	1957	313.00	-25.00	1,3	7,1	161,0
10	6	3	9	1957	313.00	-25.00	1,3	6,9	159,1
11	12	3	9	1957	313.00	-25.00	1,2	6,9	157,0
12	18	3	9	1957	313.00	-25.00	1,2	6,8	154,3
13	0	4	9	1957	313.00	-25.00	1,3	6,2	148,2
14	6	4	9	1957	313.00	-25.00	1,4	6,1	146,2
15	12	4	9	1957	313.00	-25.00	1,3	6,5	146,6
16	18	4	9	1957	313.00	-25.00	1,2	7,0	149,5
17	0	5	9	1957	313.00	-25.00	1,1	7,4	153,9
18	6	5	9	1957	313.00	-25.00	1,1	7,9	160,0
19	12	5	9	1957	313.00	-25.00	1,2	8,4	165,8
20	18	5	9	1957	313.00	-25.00	1,2	8,8	170,5
21	0	6	9	1957	313.00	-25.00	1,2	9,2	173,9
22	6	6	9	1957	313.00	-25.00	1,2	9,5	175,8
23	12	6	9	1957	313.00	-25.00	1,3	9,6	176,0
24	18	6	9	1957	313.00	-25.00	1,3	9,6	174,2
25	0	7	9	1957	313.00	-25.00	1,4	9,7	173,5
26	6	7	9	1957	313.00	-25.00	1,5	9,2	162,6
27	12	7	9	1957	313.00	-25.00	1,5	8,9	152,6
28	18	7	9	1957	313.00	-25.00	1,8	7,6	119,5
29	0	8	9	1957	313.00	-25.00	2,3	7,1	92,5
30	6	8	9	1957	313.00	-25.00	2,6	7,3	77,6
31	12	8	9	1957	313.00	-25.00	2,3	7,8	75,6
32	18	8	9	1957	313.00	-25.00	2,2	8,1	75,1
33	0	9	9	1957	313.00	-25.00	2,0	8,1	77,0
34	6	9	9	1957	313.00	-25.00	1,9	8,1	78,4
35	12	9	9	1957	313.00	-25.00	1,8	8,2	79,3
36	18	9	9	1957	313.00	-25.00	1,6	8,2	80,2
37	0	10	9	1957	313.00	-25.00	1,5	8,2	81,6
38	6	10	9	1957	313.00	-25.00	1,3	8,1	84,2
39	12	10	9	1957	313.00	-25.00	1,2	8,1	88,9
40	18	10	9	1957	313.00	-25.00	1,1	8,0	95,2

3.2. Resultados obtidos do modelo WW3

Da mesma forma que no caso do modelo ERA-40, o modelo WW3, série 01/01/1980 a 06/08/2012 forneceu como tendência linear, para o único nodo (Figura 45) à nossa

disposição (- 45; - 26), na Costa do Estado de São Paulo, com a equação de crescimento da H_s média com base no ano de extrapolação (Figura 46).



Figura 45. Localização do nodo WWIII para a Costa do Estado de São Paulo.

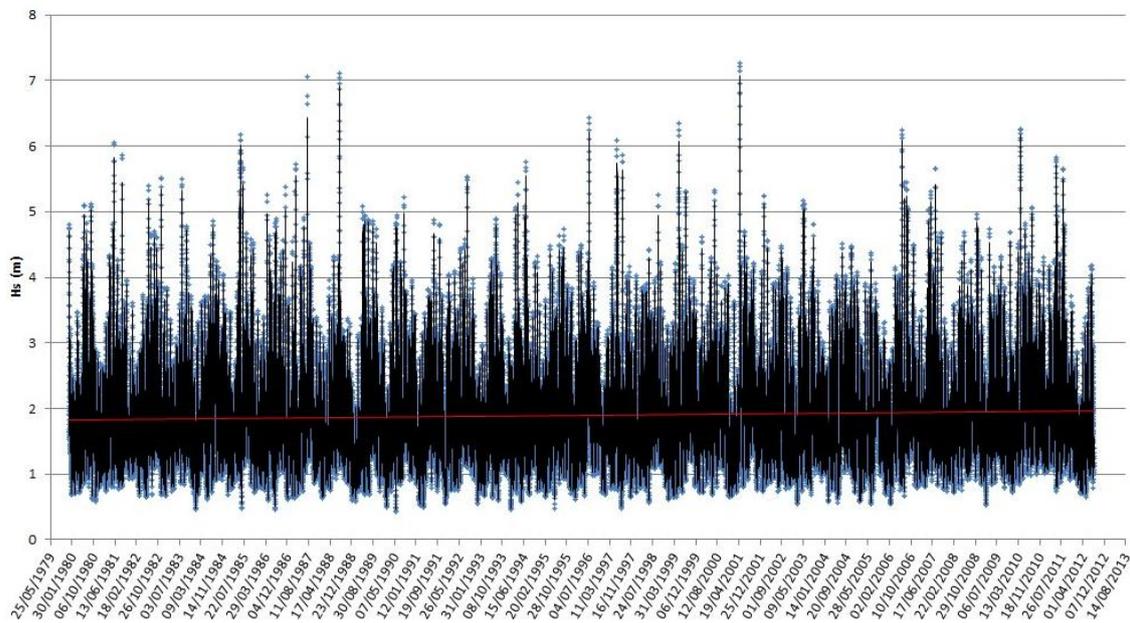


Figura 46. Série histórica WWIII de H_s de 1980 a 2012 para a costa de São Paulo.

Para a equação de crescimento de altura significativa de onda foram utilizados o seguinte par constante/coeficiente: (- 5,26; 6×10^{-3}). Estas estimativas fornecem para a

Costa do Estado de São Paulo os seguintes valores de alturas significativas e acréscimos percentuais com relação a 1957, de acordo com os anos:

- 1957: 1,79 m;
- 2015: 1,99 m (11,2%);
- 2030: 2,05 m (14,5%);
- 2050: 2,12 m (18,4%).

Na Tabela 7 estão reproduzidos os dados da listagem do WWIII, de 01/01 a 03/01/1980, para o nodo - 45; -26, em horário ZULU-GMT-UTC.

Tabela 7. Listagem típica do WWIII para o nodo -45; -26, na costa de São

#Source: WAVEWATCH III output					
#					
#Station: Santos_DW					
#ID:					
#Latitude: -26.000					
#Longitude: 315.000					
#Depth: 1521.300m					
#Time Zone: UTC					
#-----					
#					
#Number of Data Types: 13					
#HM0 m -99. s					
#TP s -99. s					
#DPK deg -99. a					
#END					
01/01/1980	00:00	1,57	7,25	79	
01/01/1980	03:00	1,91	5,18	226	
01/01/1980	06:00	2,5	6,37	223	
01/01/1980	09:00	3,02	7,3	221	
01/01/1980	12:00	3,38	7,92	225	
01/01/1980	15:00	3,57	8,96	214	
01/01/1980	18:00	3,76	11,8	204	
01/01/1980	21:00	3,99	12,27	202	
02/01/1980	00:00	4,23	12,44	199	
02/01/1980	03:00	4,44	12,48	197	
02/01/1980	06:00	4,61	12,45	195	
02/01/1980	09:00	4,74	12,39	192	
02/01/1980	12:00	4,8	12,33	189	
02/01/1980	15:00	4,76	12,26	187	
02/01/1980	18:00	4,63	12,16	184	
02/01/1980	21:00	4,45	12,02	182	
03/01/1980	00:00	4,26	11,83	182	
03/01/1980	03:00	4,07	11,69	180	
03/01/1980	06:00	3,9	11,59	178	
03/01/1980	09:00	3,73	11,5	177	
03/01/1980	12:00	3,56	11,43	175	
03/01/1980	15:00	3,4	11,35	173	
03/01/1980	18:00	3,24	11,28	172	
03/01/1980	21:00	3,07	11,18	170	
Paulo. 04/01/1980	00:00	2,92	11,03	168	

Embora com uma certa variabilidade em relação aos números do ERA-40, pois não se trata do mesmo nodo, a ordem de grandeza é compatível com uma validação aceitável na região entre os estados do ES e SC.

3.3. Estimativa dos danos nos maciços de abrigo dos portos

De acordo com o critério de dano padrão sugerido em PIANC (2009), as ondas H_s extremas devem ter um crescimento da ordem de 10% em média por conta das mudanças climáticas, sendo que com este critério e as ondas de projeto conhecidas dos maciços foram estimados os danos percentuais nas armaduras dos cabeços, que são os trechos mais solicitados pelo aumento da agitação. Não se exclui que trechos do corpo também venham a ressentir-se. Assim, como evidenciado na tabela analítica de vulnerabilidade (Tabela 8), todos os maciços de molhes e quebra-mares nas condições atuais estão sujeitos a danos de 5 a 10% do volume de suas carapaças para as novas ondas estimadas.

Considerando o espraçamento médio pelo talude externo dos maciços, a partir dos níveis de MHWN, de acordo com ABNT (1987), proporcional a 25% a mais dos valores de H_s das novas ondas de projeto acima do MHWN, foram avaliadas na tabela analítica as condições de galgamento do coroamento dos cabeços, conforme sua ocorrência previsível (S) ou não (N).



Tabela 8. Tabela analítica de vulnerabilidade da infraestrutura portuária brasileira.

PORTOS	UF	Borda livre de projeto e (recomendável) (m)	Exposição atual a fenômenos climáticos ou ambientais que serão estudados		Borda livre (m) no ano de:			Onda de projeto significativa (m)		Cota (DHN) do coroamento do cabeço (m)	Galgamento S (sim) N (Não) do cabeço		
			Fenômeno	Impactos	2015	2030	2050	Original	Onda estimada e dano padrão		2015	2030	2050
Belém	PA	1,2 (1,5)	elevação da maré	redução da borda livre do cais	0,96	0,89	0,73	n.a.	n.a.				
Mucuripe (Fortaleza)	CE	n.a.	ondas	maior manutenção dos maciços das obras de defesa				4,5	5 - 10%	7,0	S	S	S
Recife	PE	1,4 (2,0)	elevação da maré e ondas	redução da borda livre do cais/ maior manutenção dos maciços das obras de defesa	0,97	0,87	0,70	3,7	4,1 - 10%	6,0	S	S	S
Maceió	AL	1,33 (2,0)	elevação da maré e ondas	redução da borda livre do cais/ maior manutenção dos maciços das obras de defesa	0,90	0,80	0,63			7,0 (TUP)	S	S	S
Malhado (Ilhéus)	BA	n.a.	ondas	maior manutenção dos maciços das obras de defesa				3,5	3,9 - 5%	4,3	S	S	S
Barra do Riacho	ES	n.a.	ondas	maior manutenção dos maciços das obras de defesa				3,0	3,3 - 5 a 10%	6,7	N	N	N
Tubarão/Praia Mole	ES	n.a.	ondas	maior manutenção dos maciços das obras de defesa				4,0/3,8	4,4/4,2 - 5 a 10%	6,5/8,3	S/N	S/N	S/N
Niterói	RJ	1,25 (2,0)	elevação da maré	redução da borda livre do cais	0,97	0,89	0,72	n.a.	n.a.				
Rio de Janeiro	RJ	1,2 (2,0)	elevação da maré	redução da borda livre do cais	0,92	0,84	0,67	n.a.	n.a.				
São Sebastião	SP	1,2 (2,0)	elevação da maré	redução da borda livre do cais	1,05	0,99	0,85	n.a.	n.a.				
Santos	SP	1,18 (1,5) a 1,58 (2,0)	elevação da maré	redução da borda livre do cais	0,95 a 1,35	0,88 a 1,28	0,72 a 1,12	n.a.	n.a.				
Paranaguá	PR	1,6 (2,0)	elevação da maré	redução da borda livre do cais	1,36	1,27	1,10	n.a.	n.a.				
Imbituba	SC	n.a.	ondas	maior manutenção dos maciços das obras de defesa				5,2	5,7 - 5%	7,5	S	S	S
Laguna	SC	n.a.	ondas	maior manutenção dos maciços das obras de defesa						6,0	S	S	S
Rio Grande	RS	n.a.	ondas	maior manutenção dos maciços das obras de defesa				7,0	7,7 - 5 a 10%	5,30	S	S	S

Notas: (n.a.): não se aplica

1) A TENDÊNCIA MÉDIA ATÉ 2050 SERÁ DE UM AUMENTO MÉDIO DE 33% NO APORTE SÓLIDO DO TRANSPORTE LITORÂNEO PARA OS CANAIS DE ACESSO EXTERNOS, DEVIDO AO INCREMENTO DAS ALTURAS DE ONDAS

2) A TENDÊNCIA MÉDIA ATÉ 2050 SERÁ DE UM AUMENTO DE LARGURA DOS CANAIS DE ACESSO EXTERNOS DE ATÉ UMA BOCA PELO CRITÉRIO PIANC (2014), DEVIDO AO AUMENTO DO PORTE DAS EMBARCAÇÕES,

BEM COMO O INCREMENTO DA ALTURA DAS ONDAS

3.4. Estimativa do acréscimo no transporte litorâneo longitudinal no assoreamento dos canais de acesso externos dos portos

Considerando ser o transporte litorâneo longitudinal de sedimentos proporcional à segunda potência da altura da onda média na quebra e à potência 1,5 do T_p (período de pico do espectro) e considerando também que PIANC (2009) sugere adotar acréscimo de 5% no T_p por conta das mudanças climáticas, conclui-se que sejam esperados os acréscimos apresentados na Tabela 9 no transporte de areias (Q_s) para os canais de acesso externos dos portos.

Tabela 9. Transporte de areias para canais de acesso externo aos portos.

Portos	Q_s médio 2015 (m) % (1957 a 2015)	Q_s médio 2030 (m) % (1957 a 2030)	Q_s médio 2050 (m) % (1957 a 2050)
Mucuripe	28	32	41
Recife	30	38	47
Maceió	32	40	49
Malhado	35	44	55
Barra do Riacho/ Tubarão/ Praia Mole	43	53	67
Imbituba/ Laguna	45	55	70
Rio Grande	60	75	97

Esta situação poderá ser parcialmente compensada pela elevação da maré, dependendo de caso a caso, no entanto haverá sempre significativo aumento na dragagem de manutenção.

3.4.1. Estimativa quanto ao impacto na largura dos canais de acesso externos

A tendência média até 2050 será da necessidade de um aumento de largura dos canais de acesso externos de até uma boca pelo critério PIANC (2014), devido ao aumento do porte das embarcações, bem como o incremento da altura das ondas. Este é outro fator que tende a obrigar aumento de dragagem, seja por implantação de novo gabarito horizontal, seja pelo aumento da dragagem de manutenção.

3.4.2. Estimativa de perdas de bordas livres dos cais

De acordo com as tendências estabelecidas no Relatório 2 e conhecendo-se as cotas de coroamento dos cais, foram feitas as estimativas das bordas livres seguindo estas tendências, o que pode ser visto na tabela analítica (Tabela 8). Foram também assinaladas as bordas livres recomendadas pela Japan Association of Ports and Harbours e ROM (Alfredini & Arasaki, 2014), podendo-se observar como os valores existentes e futuros estão bem abaixo das recomendações.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Cursos d'água. ANA, Brasília. 2012. Acessível em <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo demográfico 2010. IBGE, Brasília. 2014. Acessível em <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>

INSTITUTO PEREIRA PASSOS - IPP. SIURB - Sistema Municipal de Informações Urbanas. IPP, Rio de Janeiro. 2015. Acessível em <http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp/siurb>.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge: University Press. 2013. 1535pp

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Nota técnica DEA 12/14: Cenário econômico 2050. EPE, Rio de Janeiro. 2014. 125pp

SERVIÇO GEOLÓGICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - DRM-RJ. Correlação chuvas x escorregamentos no estado do Rio de Janeiro nos meses de fevereiro e março de 2014. DRM-RJ, Niterói. 2014. Disponível em <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/downloads/>



ANEXO I

Adaptação da classificação geotécnica à escalas de vulnerabilidade

Classificação das unidades de geotecnia contidas no mapa fornecido pelo IPP do Rio de Janeiro

Unidade	Descrição	Vulnerabilidade
1	Solo Residual > 2m (t) / Granito Pegmatóide	2
2	Solo Residual > 2m (e) / Granito Pegmatóide	2
3	Afloramento Rochoso (m) / Granito Pegmatóide	2
4	Solo Residual > 2m (t) / Granodiorito, Tonalito e Quartzodiorito	2
5	Solo Residual > 2m (t) / Formações Tecniárias (t)	2
6	Afloramento Rochoso (f) / Granito Pegmatóide	2
7	Solo Residual > 2m (t) / Sienito e Tinguaito	2
8	Afloramento Rochoso (f) / Granodiorito, Tonalito e Quartzodiorito	2
9	Solo Residual > 2m (e) / Formações Tecniárias	2
10	Solo Residual > 2m (e) / Granito Cinza Porfirático (Granito Favela)	2
11	Solo Residual > 2m (t) / Granito Cinza Porfirático (Granito Favela)	2
12	Solo Residual > 2m (e) / Sienito e Tinguaito	2
13	Solo Residual > 2m (t) / Aplito	2
14	Solo Residual > 2m (e) / Aplito	2
15	Solo Residual < 2m (e) / Granito Pegmatóide	2
16	Solo Residual < 2m (t) / Aplito	2
17	Solo Residual < 2m (e) / Aplito	2
18	Solo Residual < 2m (e) / Sienito e Tinguaito	2
19	Solo Residual < 2m (t) / Granito Pegmatóide	2
20	Afloramento Rochoso (f) / Sienito e Tinguaito	2
21	Solo Residual < 2m (t) / Granodiorito, Tonalito e Quartzodiorito	2
22	Solo Residual < 2m (e) / Granodiorito, Tonalito e Quartzodiorito	2
23	Afloramento Rochoso (f) / Aplito	2
24	Afloramento Rochoso (f) / Granito Cinza Porfirático (Granito Favela)	2

Unidade	Descrição	Vulnerabilidade
25	Afloramento Rochoso (p) / Granito Cinza Porfirático (Granito Favela)	2
26	Afloramento Rochoso (p) / Aplito	2
27	Afloramento Rochoso (m) / Granito Cinza Porfirático (Granito Favela)	2
28	Solo Residual < 2m (e) / Gabro e Quartzo Diorito	2
29	Solo Residual > 2m (e) / Gabro e Quartzo Diorito	2
30	Afloramento Rochoso (f) / Gabro e Quartzo Diorito	2
31	Solo Residual < 2m (t) / Gabro e Quartzo Diorito	2
32	Solo Residual > 2m (t) / Gabro e Quartzo Diorito	2
33	Afloramento Rochoso (m) / Granodiorito, Tonalito e Quartzodiorito	2
34	Solo Residual > 2m (e) / Granodiorito, Tonalito e Quartzodiorito	3
35	Solo Residual > 2m (t) / Gnaiss Migmatítico	3
36	Solo Residual > 2m (e) / Gnaiss Migmatítico	3
37	Solo Residual < 2m (t) / Gnaiss Migmatítico	3
38	Solo Residual < 2m (e) / Gnaiss Migmatítico	3
39	Solo Residual < 2m (e) / Gnaiss Bandado (Archer)	3
40	Solo Residual > 2m (t) / Biotita Gnaiss	3
41	Afloramento Rochoso (f) / Gnaiss Bandado (Archer)	3
42	Solo Residual > 2m (t) / Gnaiss Bandado (Archer)	3
43	Afloramento Rochoso (f) / Gnaiss Migmatítico	3
44	Solo Residual < 2m (e) / Biotita Gnaiss	3
45	Solo Residual > 2m (e) / Gnaiss Bandado (Archer)	3
46	Solo Residual < 2m (t) / Granito Cinza Porfirático (Granito Favela)	3
47	Solo Residual < 2m (e) / Granito Cinza Porfirático (Granito Favela)	3
48	Solo Residual < 2m (t) / Gnaiss Bandado (Archer)	3
49	Solo Residual > 2m (e) / Biotita Gnaiss	3
50	Afloramento Rochoso (m) / Gnaiss Bandado (Archer)	3
51	Solo Residual > 2m (e) / Kinzigito	3
52	Solo Residual > 2m (t) / Kinzigito	3
53	Afloramento Rochoso (p) / Gnaiss Migmatítico	3
54	Solo Residual < 2m (t) / Biotita Gnaiss	3

Unidade	Descrição	Vulnerabilidade
55	Afloramento Rochoso (p) / Gnaiss Bandado (Archer)	3
56	Afloramento Rochoso (f) / Biotita Gnaiss	3
57	Afloramento Rochoso (m) / Gnaiss Facoidal	3
58	Solo Residual < 2m (e) / Gnaiss Facoidal	3
59	Afloramento Rochoso (f) / Gnaiss Facoidal	3
60	Afloramento Rochoso (p) / Biotita Gnaiss	3
61	Solo Residual > 2m (t) / Gnaiss Facoidal	3
62	Solo Residual < 2m (t) / Gnaiss Facoidal	3
63	Afloramento Rochoso (p) / Gnaiss Facoidal	3
64	Solo Residual > 2m (e) / Gnaiss Facoidal	3
65	Afloramento Rochoso (m) / Biotita Gnaiss	3
66	Afloramento Rochoso (m) / Gnaiss Migmatítico	3
67	Afloramento Rochoso (f) / Leptinito	3
68	Solo Residual > 2m (t) / Leptinito	3
69	Solo Residual < 2m (t) / Leptinito	3
70	Solo Residual < 2m (e) / Leptinito	3
71	Solo Residual > 2m (e) / Leptinito	3
72	Afloramento Rochoso (f) / Gnaiss Bandado	3
73	Solo Residual < 2m (e) / Gnaiss Bandado	3
74	Solo Residual > 2m (e) / Gnaiss Bandado	3
75	Afloramento Rochoso (m) / Gnaiss Bandado	3
76	Solo Residual < 2m (t) / Gnaiss Bandado	3
77	Afloramento Rochoso (m) / Leptinito	3
78	Afloramento Rochoso (p) / Leptinito	3
79	Solo Residual > 2m (t) / Gnaiss Bandado	3
80	Formações Quaternárias / Dunas	4
81	Formações Quaternárias / Aluvião	4
82	Aterro	5
83	Depósitos de Tálus - Colúvio / Granito Cinza Porfirítico (Granito Favela)	5
84	Depósitos de Tálus - Colúvio / Gnaiss Migmatítico	5
85	Depósitos de Tálus - Colúvio / Granodiorito, Tonalito e Quartzodiorito	5

Unidade	Descrição	Vulnerabilidade
86	Depósitos de Tálus - Colúvio / Granito Pegmatóide	5
87	Depósitos de Corridas de Massa / Granito Pegmatóide	5
88	Depósitos de Tálus - Colúvio / Gnaiss Bandado (Archer)	5
89	Depósitos de Corridas de Massa / Gnaiss Bandado (Archer)	5
90	Depósitos de Tálus - Colúvio / Biotita Gnaiss	5
91	Depósitos de Tálus - Colúvio / Gnaiss Facoidal	5
92	Depósitos de Tálus - Colúvio / Leptinito	5
93	Depósitos de Corridas de Massa / Biotita Gnaiss	5
94	Depósitos de Corridas de Massa / Gnaiss Bandado	5
95	Depósitos de Corridas de Massa / Granito Cinza Porfirático (Granito Favela)	5
96	Depósitos de Corridas de Massa / Gabro e Quartzó Diorito	5
97	Depósitos de Corridas de Massa / Gnaiss Facoidal	5
98	Depósitos de Tálus - Colúvio / Gabro e Quartzó Diorito	5

ANEXO II

Relato de visita técnica ao Molhe do Terminal Marítimo de Praia Mole

Vistoria técnica no Molhe do Terminal Marítimo de Praia Mole

Nos dias 08 e 09 de dezembro de 2014, foi efetuada vistoria técnica e coleta de informações junto à Vale, responsável pelos molhes do Terminal Marítimo de Praia Mole e do Terminal Marítimo de Tubarão, no Município de Serra (ES), quanto às condições atuais do maciço, com ênfase no cabeço, sabidamente área mais crítica.

Em 2005, o Eng.º Paolo Alfredini e a Dra. Emilia Arasaki já haviam realizado vistoria na obra, cujas fotos foram incluídas neste relatório, para fins de comparação.

O molhe foi construído em 1984 e até a forte tempestade ocorrida em 05 de junho de 2006, havia sofrido muito pouca manutenção em seu maciço. Esta tempestade teve severidade que produziu danos no Molhe do Terminal Marítimo de Tubarão, que será analisado em outro item, e principalmente no Terminal Marítimo de Barcaças da empresa Vega do Sul, cujo molhe efetivamente colapsou.

A Vale cedeu fotos da vistoria realizada em setembro de 2006, logo após a tempestade de junho. Eventos de tempestades fortes no inverno de 2007 agravaram a situação do molhe e levaram à sua recuperação entre 2010 e 2014, segundo o projeto original implantado em 1984. Esta obra foi executada adequadamente, pelo que está documentado na vistoria.

O molhe é um maciço com concepção projetual de talude, sendo que principalmente após as tempestades de 2006 e 2007 verificou-se:

- Deslizamento de blocos da armadura externa para a base do perfil.



- Exposição da camada intermediária e do tout-venant, com fuga de material do talude externo, provocando afundamentos e solapamentos do coroamento nesta face.
- Perda de embricamento eficiente em blocos da armadura, evidenciando aumento de vazios.

Considera-se que pelo critério de Hudson, do Coastal Engineering Manual, o critério de dano zero, que presume uma manutenção para recompor danos de 0 a 5% dos blocos de armadura na tempestade de projeto, com um programa de manutenção permanente teria minorado os danos. Esta recomendação deveria ser seguida a partir da recomposição concluída em novembro de 2014, isto é o conceito de manutenção permanente anual após os períodos de maior agitação.

