



**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

Produto 5 – IC  
Anexo – Complementação metodológica

Responsável: Wilson Cabral de Sousa Junior

Brasília, 08 de dezembro 2014

## Sumário

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução .....   | 1  |
| 2. Ressalva metodológica: os marcos referenciais de altimetria e batimetria ..... | 1  |
| 3. Vulnerabilidade costeira: complementação metodológica .....                    | 3  |
| 3.1. Aspectos conceituais e parâmetros.....                                       | 4  |
| 3.1.1. Indicador de movimentos de massa .....                                     | 4  |
| 3.1.2. Indicador de Inundação.....  | 6  |
| 3.1.3. Indicador de exposição a ondas e marés .....                               | 7  |
| 3.1.4. Indicador para erosão costeira.....  | 9  |
| 3.1.5. Indicador da densidade demográfica.....                                    | 10 |
| 3.1.6. Indicador de Nível Socioeconômico .....                                    | 11 |
| 3.1.7. Indicador de Tipo de Ocupação.....   | 12 |
| 3.2. Cálculo do IVCB.....   | 13 |
| 3.2.1. Aspectos operacionais.....   | 14 |
| 3.2.2. Pré-processamento de dados e informações .....                             | 17 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 18 |

## 1. Introdução

Este anexo compreende a complementação metodológica solicitada quando da avaliação do Relatório 1 (Infraestrutura Costeira) do projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, sob demanda da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR)

Os resultados do desenvolvimento e aplicação do modelo indicador de vulnerabilidade cuja metodologia é complementada neste relatório, serão apresentados no produto 7-IC, conforme TdR.

## 2. Ressalva metodológica: os referenciais de ALTIMETRIA e BATIMETRIA

O maior fator limitante para a previsão de vulnerabilidade de áreas costeiras brasileiras às mudanças climáticas - notadamente a determinação das áreas potencialmente inundáveis dessas regiões, está na incompatibilidade cartográfica de um *datum* geodésico entre as áreas costeiras oceânicas (cartas náuticas da DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil) e continentais (IBGE), o que inviabiliza a elaboração de um modelo digital de terreno dos ambientes costeiros (NEVES e MUEHE, 2008).

Esse referencial comum, acompanhado de forma sistemática e ao longo de toda a costa brasileira, é fundamental por ocorrerem movimentos tanto do domínio continental (por exemplo, subsidência do solo tanto por exploração de águas subterrâneas, óleo e gás, até atividade tectônica), como do domínio marinho e oceânico (como nas variações do nível absoluto do mar, decorrente do aquecimento do planeta). Um exemplo desse movimento relativo é ilustrado em Valentim et al. (2013), em que dados do marégrafo do IOUSP (Instituto Oceanográfico da USP) foram comprometidos em função da acomodação da estrutura de suporte do equipamento no solo. Portanto, deve-se ressaltar o caráter dinâmico do movimento relativo entre continentes e oceanos.



Medidas para monitoramento do nível do mar têm sido realizadas no âmbito do programa Gloss-Brasil (Global Sea Level Observing System), vinculado à Comissão Oceanográfica Intergovernamental da Unesco denominado GOOS - Global Ocean Observing System (NEVES e MUEHE, 2008). Este programa prevê a instalação de até dez estações maregráficas permanentes, das quais fazem parte as localidades de Imbituba (PR), Cananéia (SP), Ilha Fiscal (RJ), Macaé (RJ), Salvador (RJ), Fortaleza (CE), Santana (AP), Fernando de Noronha (PE) e Trindade (ES). Em termos históricos, há dados coletados por instituições como a DHN e a CHM (Centro Hidrográfico da Marinha), ambos da Marinha do Brasil, pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH), órgão atualmente vinculado à Cia. Docas do Rio de Janeiro, pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Rede Maregráfica Fluminense que envolve a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), o CHM, o IBGE, a Eletronuclear, o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e a Petrobras (NEVES e MUEHE, op. cit.). Neste contexto está inserida ainda iniciativa do projeto REDELITORAL, liderado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), de instalação de marégrafos com vinculação GLOSS e telemetria automática.

Um esforço, ainda embrionário, no sentido de estabelecer referências geodésicas no meio marinho é coordenado pelo IBGE, por meio da Rede Maregráfica para Fins Geodésicos.

No que concerne à questão da compatibilização de um referencial geodésico para o modelo digital de terreno na interface entre o meio marinho e continental, cabe ressaltar que o presente trabalho adota escalas e resoluções espaciais pouco sensíveis a estas divergências. Para o indicador de vulnerabilidade socioambiental a mudanças climáticas na costa brasileira, projeta-se a previsão de elevação do nível médio do mar em relação à linha de costa oficial, considerando esta o nível altimétrico “zero”. Certamente, na medida em que se aumenta a escala numérica, a possibilidade de erro é também maior em função da ausência do marco geodésico comum. No entanto, para os objetivos propostos, ou seja, de apontar regiões de maior ou menor vulnerabilidade socioambiental, para subsidiar iniciativas de políticas públicas de adaptação à



mudanças climáticas, em nível macro, com posterior detalhamento, considera-se esta assunção suficiente.

### 3. Vulnerabilidade costeira: complementação metodológica

A fim de estudar a vulnerabilidade socioambiental da costa brasileira e suprir a falta desse indicador que possa ser aplicado em nível de microrregião, este estudo lança mão da construção de um Índice de Vulnerabilidade para a Costa Brasileira – IVCB, conforme apresentado no Relatório 1.

Os parâmetros deste indicador serão estruturados utilizando variáveis e aspectos já identificados na literatura, procurando abranger a maior quantidade de parâmetros possível, representativos de vulnerabilidade à mudanças climáticas (Figura 1).

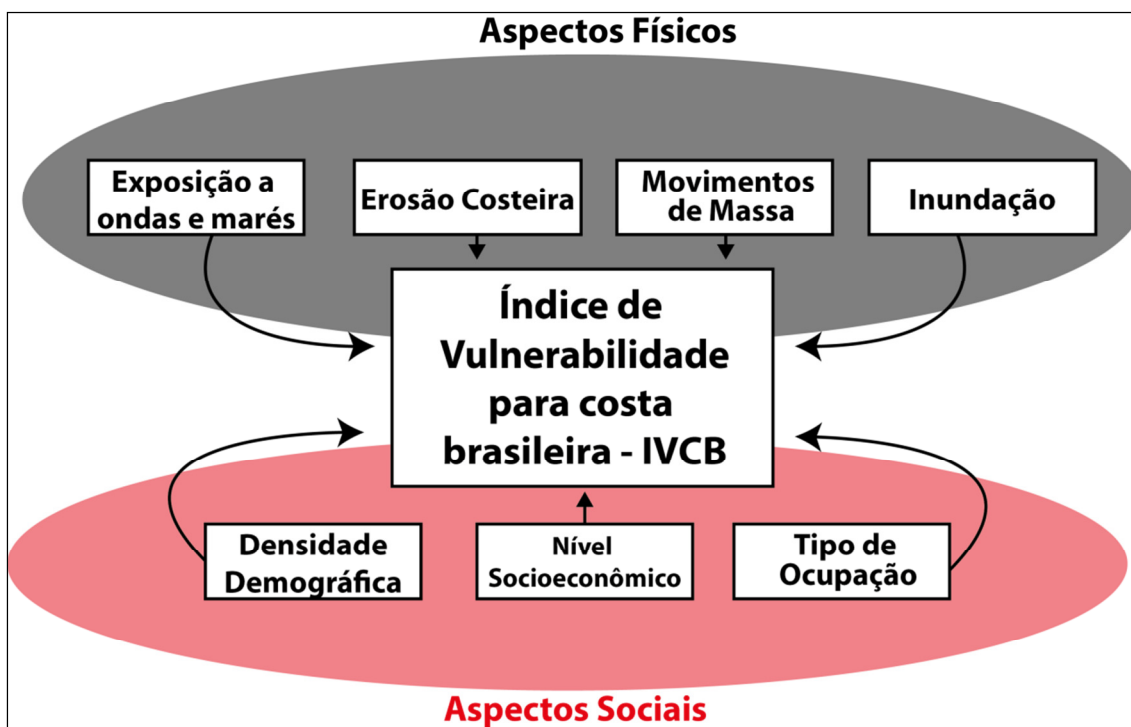


Figura 1 - Estrutura conceitual do modelo IVCB.

À Figura 1 foi acrescido o indicador de “inundação”, em relação à proposta metodológica original. De forma a complementar o cipoal metodológico apresentado

no Relatório 1, a descrição dos aspectos do IVCB é realizada a seguir, em três partes: a primeira aborda aspectos conceituais e parâmetros e discute a seleção de variáveis para cada indicador e a forma de graduação de cada variável na construção do IVCB; a segunda apresenta questões relativas a implementação do modelo; a terceira e última apresenta questões de análise e avaliação dos resultados do modelo.

### **3.1. Aspectos conceituais e parâmetros**

Para incluir no modelo os aspectos a serem estudados, fez-se necessário – seguindo a proposição de Gornitz (1991) – criar uma tabela de graduação para as classificações de cada variável que será analisada em cada indicador. Essa graduação das variáveis será feita de 1 a 5 conforme sugerido pela autora. A discussão de quais variáveis serão consideradas e como serão consideradas será feita para cada indicador de forma a explicitar as opções que foram feitas na concepção do índice.

Para classificar as variáveis dentro das tabelas de graduação, recorreu-se a entrevistas com especialistas nas áreas e também à bibliografia, de modo que as classificações fossem fidedignas e levassem a um índice mais representativo.

#### **3.1.1. Indicador de movimentos de massa**

O indicador de movimentos de massa é nesse modelo a maior inovação em relação à literatura, pois abordará não só os parâmetros mais comuns de declividade e classificação geotécnica, mas também a variável de quantidade anual de eventos de chuva extrema.

Esses três parâmetros analisados em conjunto devem fornecer uma ponderação da vulnerabilidade nas regiões costeiras a eventos de movimento de massa – especialmente escorregamentos – causados pela saturação excessiva do solo aliada a existência de uma pressão anormal decorrente de um evento extremo de precipitação na região.

Para esse fim a variável de quantidade de eventos de chuva extrema é a mais importante nesse indicador. Essa variável será construída a partir do número de eventos extremos de precipitação em um banco de dados de precipitação, com base



nas projeções climáticas, para as áreas de estudo. A premissa é de que dias com precipitação extrema são os dias mais prováveis de ocorrência de um evento de movimento massa, dada a probabilidade de saturação do solo e a pressão do escoamento superficial resultante da precipitação extrema. Logo, quanto maior o número de dias de precipitação extrema maior também a vulnerabilidade daquela região aos efeitos desses eventos.

A tipologia de solo é também variável importante, pois a composição e conformação do solo são determinantes em sua capacidade de movimentar-se. Optou-se pela classificação geotécnica por dizer mais respeito às características de resistência a cisalhamento do solo. A classificação pedológica poderia ser usada, mas ela possui a limitação de ser principalmente para solos moles, e cultiváveis, o que limitaria a precisão do modelo. A classificação geológica por sua vez dá ênfase muito maior às camadas mais profundas do solo que estão menos sujeitas aos efeitos mecânicos do escoamento superficial e, portanto tem menos tendência de movimentar-se. Ao optar por uma classificação geotécnica pode-se incluir também afloramentos rochosos e classificá-los de forma mais satisfatória e abrangente.

Por fim, quanto maior a inclinação do terreno, maior será a possibilidade de ocorrer um escorregamento, pois o equilíbrio entre a gravidade e os esforços desestabilizantes no solo será mais tênue e as perturbações necessárias para sair desse equilíbrio também. A partir dessa premissa inclui-se a variável de declividade do terreno na análise do indicador de movimento de massa. A importância desse indicador já foi ressaltada no trabalho de Ferreira et al (2008).

Por fim, a graduação dos parâmetros para o cálculo do indicador de movimentos de massa foi definida conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Graduações das variáveis de Movimentos de Massa

| <b>Grau de vulnerabilidade</b>                | 1            | 2             | 3             | 4             | 5            |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| <b>Quantidade de eventos de chuva extrema</b> | <= 3 eventos | <= 10 eventos | <= 20 eventos | <= 36 eventos | > 36 eventos |



| nos últimos 10 anos <sup>1</sup> |                    |   |                             |  |   |
|----------------------------------|--------------------|---|-----------------------------|--|---|
| <b>Tipo do solo<sup>2</sup></b>  | Rocha sã aflorante | Terciários não expansivos (argilosos rijos), rocha fraturada de superfície rugosa | Solos Laterizados, Arenosos | Aluviais (sedimentos Quaternários), Rocha Fraturada com fraturas lisas preenchidas com argilas | Coluvião e Corpo de tálus, Solos Expansivos |
| <b>Declividade<sup>3</sup></b>   | <=20%              | <=40%   | <=60%                       | <=80%  | >80%  |

Fontes: 1) adaptado de Balica, Wright e van der Meulen (2012); 2) elaboração própria a partir de consultas a especialistas; 3) adaptado de Sharp et al (2014).

Com essa classificação espera-se que seja possível representar os níveis de vulnerabilidade a eventos de movimentos de massa para as regiões costeiras do Brasil e que o IVCB incorpore então esse indicador no nível final de vulnerabilidade para os locais onde for aplicado. É necessário nesse ponto explicitar, porém, que as classificações e graduações da Tabela 1, assim como todas as tabelas de graduações que serão apresentadas a seguir são indicações preliminares, e podem ser modificadas na aplicação do modelo para melhor ajustá-lo aos contextos das regiões de estudo.

### 3.1.2. Indicador de Inundação

O indicador de inundação se apoia nas recomendações de literatura, explorando os parâmetros de declividade, quantidade de eventos de chuva e proximidade do corpo d'água, que são discutidos em trabalhos como o de Balica et al. (2012), Alves (2006 e 2009) e Torres (2001).

A premissa na escolha do parâmetro de declividade considera o raciocínio inverso ao do indicador de movimentos de massa, pois, no caso da inundação, quanto mais plano o terreno maior a dificuldade de escoamento da água e, portanto, maior o perigo de acúmulo naquela região, ainda que transitoriamente.

O parâmetro de quantidade de eventos de chuva extrema justifica-se nesse indicador pela relação entre esses eventos e os eventos de inundação, pois como argumentado



por Balica et al. (2012), em regiões com maior número de eventos extremos, maior a probabilidade de esse evento gerar um efeito adverso. Para o IVCB a variável de chuva será o acumulado diário.

Por fim, a proximidade a corpos d'água justifica-se pelo fato de que, sendo o corpo d'água o ponto natural da drenagem do terreno, as regiões que estão mais próximas a este receberão maior volume de água quando da ocorrência de extremos de precipitação.

A graduação dos parâmetros para o modelo do IVCB de acordo com as justificativas discutidas nessa sessão é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Graduação para variáveis de Inundação

| Variável/Grau de vulnerabilidade  | 1            | 2             | 3             | 4             | 5            |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Quantidade de eventos de chuva extrema nos últimos 10 anos <sup>1</sup> | <= 3 eventos | <= 10 eventos | <= 20 eventos | <= 36 eventos | > 36 eventos |
| Declividade <sup>2</sup>  | >=80%        | >=60%         | >=40%         | >=20%         | <20%         |
| Proximidade do corpo d'água <sup>3</sup>                                | > 150m       | > 100m        | > 50m         | >20m          | < =20m       |

Fontes: 1) adaptado de Balica, Wright e van der Meulen (2012); 2) adaptado de Sharp et al (2014); 3) adaptado de Anazawa et al (2012).

### 3.1.3. Indicador de exposição a ondas e marés

Para o cálculo do indicador de exposição a ondas e marés do IVCB serão utilizados os parâmetros de tendência de elevação do nível do mar, relevo e distância da costa.

A premissa para esse indicador é que o nível do mar deve variar com as mudanças climáticas e a tendência de variação do mesmo afeta diretamente o nível de vulnerabilidade da região costeira. Assim, regiões onde há tendência de elevação do nível do mar são mais vulneráveis aos efeitos dessa elevação (por exemplo, inundação permanente).

O parâmetro de relevo parte da premissa que áreas costeiras com menor altitude serão mais afetadas em caso de frentes de marés ou elevação do nível do mar, portanto essas áreas possuem maior vulnerabilidade a esses eventos. Esse parâmetro aparece como parte dos índices de Tagliani et al (2010), Inouye (2012) e Sharp et al (2014), para balizar as áreas mais vulneráveis aos eventos naturais de origem oceânica, sempre apresentando áreas com menor altitude em relação ao nível do mar como as mais vulneráveis.

Por fim o parâmetro proximidade da costa será utilizado como um parâmetro de ponderação nesse indicador, já que áreas mais próximas à costa estão na linha de frente dos eventos naturais de origem marinha e, portanto, têm maior propensão a sofrer a total magnitude dos efeitos adversos causados por esses eventos.

A graduação para o indicador de exposição a ondas e marés pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3. Graduação para o indicador de exposição a ondas e marés

| <b>Grau de vulnerabilidade</b>                           | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Tendência de elevação do nível do mar<sup>1</sup></b> | <=0m     | <=0,3m   | <=0,5m   | <=0,7m   | > 0,7m   |
| <b>Relevo<sup>2</sup></b>                                | > 50m    | > 20m    | > 10m    | >1m      | < =1m    |
| <b>Distância da costa<sup>3</sup></b>                    | > 1000m  | > 500m   | > 100m   | >20m     | < =20m   |

Fontes: 1) adaptado de Sharp et al (2014); 2) adaptado de Inouye (2012); 3) adaptado de Anazawa et al (2012).

### 3.1.4. Indicador para erosão costeira

Para a erosão costeira serão considerados os parâmetros de geomorfologia, altura de maré e tendência de variação do nível do mar.

Para a geomorfologia, a premissa é que diferentes formações da costa sofrem diferentes processos erosivos, assim sendo a classificação das diferentes geomorfologias existentes na costa da região estudada em diferentes níveis de vulnerabilidade é baseada na susceptibilidade dessas diferentes geomorfologias a esses processos. Como a erosão costeira é um processo bastante recorrente nas regiões costeiras, em certos locais existem obras de contenção dessa erosão que afetam diretamente a resistência daquele local ao processo erosivo. Dessa forma, o parâmetro de geomorfologia deve incorporar na sua graduação não só os aspectos naturais da geomorfologia da costa, mas também as obras de contenção existentes.

A variável de altura de marés representa a pressão exercida na costa pelo movimento de maré. De modo geral, a literatura apresenta a altura de maré como uma forma de balizar a força das correntes nas regiões costeiras e como fator principal da erosão da costa. Entende-se que marés com alturas maiores apresentam maior energia e, portanto, potencializam a retirada de sedimentos, causando uma erosão mais acelerada da linha da costa.

O parâmetro de variação do nível do mar será considerado como auxiliar para a variável altura de marés, pois a variação do nível do mar pode acarretar que novas áreas fiquem sob a influência da maré e das correntes marítimas que atingem a região promovendo assim uma variação também no nível de vulnerabilidade daquela área aos processos erosivos na costa.

Tabela 3. Graduação para o indicador para erosão costeira

| Grau de vulnerabilidade                            | 1      | 2        | 3        | 4         | 5         |
|--|--------|----------|----------|-----------|-----------|
| Tendência de elevação do nível do mar <sup>1</sup> | <=0m   | <=0,3m   | <=0,5m   | <=0,7m    | > 0,7m    |
| Geomorfologia <sup>1</sup>                         | Praias | Escarpas | Escarpas | Praias de | Praias de |



|                                    |   |                                     |  |                              |                                     |
|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------------|
|                                    | rochosas, escarpas altas, armações de contenção | médias e costas identadas, esporões | baixas, mangues, planícies costeiras, planícies aluviais | cascalhos, estuários, lagoas | areia, deltas e planícies argilosas |
| <b>Altura de marés<sup>2</sup></b> | <= 0,5m   | <=1m                                | <=1,5m   | <=2,0m                       | <=2,5m                              |

Fontes: 1) adaptado de Sharp et al (2014); 2) adaptado de Karymbalis et al (2012).

Nesse indicador, em especial, os valores de vulnerabilidade da geomorfologia e da altura de marés devem se ajustar para melhor representarem a realidade das regiões estudadas.

### 3.1.5. Indicador da densidade demográfica

Dentro dos parâmetros de âmbito social a densidade demográfica é, como já discutido antes, o mais utilizado em índices de vulnerabilidade social à mudanças climáticas. Para o IVCB utilizaremos dois parâmetros relativos à demografia: a própria densidade e a idade da população.

Densidade demográfica é o parâmetro que dará ao índice uma forma de priorizar áreas onde o maior número de pessoas poderia vir a ser afetado por um efeito adverso de um evento natural. Nesse caso a única premissa é a de que áreas com maior concentração de pessoas são mais vulneráveis. A informação base para este indicador é o contingente populacional por setor censitário do IBGE. De posse desta informação, é possível estabelecer categorias representativas da densidade populacional.

O outro parâmetro para a vulnerabilidade de uma região de acordo com a quantidade de pessoas residentes é idade. A partir da literatura foi possível identificar que os grupos etários de 0 a 5 anos e acima de 60 anos são os mais vulneráveis, portanto para esse índice serão classificados através da quantidade de pessoas por faixa etária, divididos em 5 grupos de vulnerabilidade. Para calcular esse índice de forma a representar melhor a vulnerabilidade de cada área será calculada uma média ponderada para os setores censitários utilizando o percentual relativo a cada faixa

etária como ponderador do nível de vulnerabilidade definido conforme a classificação descrita na Tabela 4. Assim, através da distribuição etária das pessoas por setor censitário será possível avaliar o nível de vulnerabilidade daquele setor com relação a esse parâmetro.

Tabela 4. Graduação para o indicador de densidade demográfica

| <b>Grau de vulnerabilidade</b>           | <b>1</b>      | <b>2</b>   | <b>3</b>                | <b>4</b>               | <b>5</b>             |
|--|---------------|------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Densidade Demográfica<sup>1</sup></b> | Muito Pequena | Pequena    | Moderada                | Grande                 | Muito Grande         |
| <b>Faixa etária<sup>2</sup></b>          | 25-30 anos    | 35-40 anos | 15-20 anos e 40-50 anos | 5-15 anos e 50-60 anos | 0-5 anos e > 60 anos |

Fontes: 1) elaboração própria; 2) adaptado de Cutter, Boruff e Shirley (2003).

### 3.1.6. Indicador de Nível Socioeconômico

Para o indicador relativo ao nível socioeconômico da população serão utilizados os parâmetros renda média e escolaridade, baseando-se novamente nas assertivas da literatura especializada.

Para a renda média, foram estipuladas 5 categorias de vulnerabilidade, baseadas na premissa de que a população de maior renda tem maior capacidade de suportar e se adaptar a uma situação adversa que a população de menor renda. Para tornar o indicador mais versátil em termos de análise, o salário mínimo (SM) será a unidade de renda. As faixas de renda serão estabelecidas a partir dos setores censitários, de modo similar à densidade demográfica. Há que se analisar a possibilidade de inserção de um limitador para esta variável, considerando que, a partir de determinada renda média domiciliar, as capacidades adaptativas já atingiram um grau mínimo suficiente para lidar de maneira pouco perturbadora com o estresse sofrido.

A segunda variável desse indicador é a escolaridade da população, novamente uma variável com premissas simples: quanto menor o nível de escolaridade, menor a

capacidade de reação e ou adaptação a perturbações do estado atual. Esta variável será estabelecida a partir dos níveis médios de escolaridade por setor censitário.

Na Tabela 5 pode ser visualizada a graduação indicada para o indicador de nível socioeconômico.

Tabela 5. Graduação para o indicador de nível socioeconômico

| <b>Grau de vulnerabilidade</b> | <b>1</b>          | <b>2</b>          | <b>3</b>                | <b>4</b>             | <b>5</b>                   |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| <b>Renda média</b>             | >= 4 SM           | >= 4 SM           | < 3 SM                  | < 2 SM               | <= 1 SM                    |
| <b>Escolaridade</b>            | Superior Completo | Superior Completo | Até Superior Incompleto | Até Médio Incompleto | Até Fundamental Incompleto |

Fonte: adaptado de Ferreira, Dini e Ferreira (2006) e Alves (2006 e 2009).

### 3.1.7. Indicador de Tipo de Ocupação

Para esse indicador serão utilizados mapas de usos e cobertura da Terra para a região estudada. A premissa é que usos do solo que podem trazer outros perigos para a população caso sejam adversamente afetados por um evento extremo. Neste sentido, há usos e coberturas mais ou menos resilientes, e, portanto, mais ou menos vulneráveis.

Na ausência de mapas de uso e cobertura da Terra para algumas localidades, uma alternativa plausível é a utilização de mapas de zoneamento municipal ou até mesmo de zoneamento ecológico-econômico, considerando que estes são instrumentos de planejamento de curto e médio prazos. Assume-se, neste caso, que áreas destinadas à instalações industriais e afins possuem maior suscetibilidade, em função dos efeitos indesejados sinérgicos em caso de eventos extremos<sup>1</sup>. No extremo oposto estão áreas

<sup>1</sup> Há linhas de pesquisa emergentes que tratam especificamente deste tópico, intitulando eventos naturais extremos em instalações industriais de “eventos *na-tech*”.

de proteção ambiental, com cobertura vegetal natural, as quais são, por suposto, de maior resiliência a eventos extremos climáticos.

Tabela 6. Graduação para o indicador de nível socioeconômico

| Grau de vulnerabilidade | 1                                       | 2     | 3           | 4         | 5          |
|-------------------------|---|-------|-------------|-----------|------------|
| Tipo de ocupação        | Proteção ambiental ou região preservada | Rural | Residencial | Comercial | Industrial |

Fonte: elaboração própria.

### 3.2. Cálculo do IVCB

O cálculo do IVCB consiste em uma média ponderada dos níveis de vulnerabilidade para cada indicador. Assim o cálculo do IVCB será executado em duas etapas: a primeira um cálculo de vulnerabilidade por indicador que será representado por uma média simples entre os parâmetros que compõe cada indicador; em seguida será executada a média ponderada dentre os valores dos indicadores.

A Equação 1 descreve o cálculo da vulnerabilidade por indicador.

$$V_i = (\sum_1^n v)/n \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que  $V_i$  é valor de vulnerabilidade para o indicador “i”; “v” é o valor de vulnerabilidade de cada variável do indicador; e “n” é o número de variáveis contidas no indicador.

A Equação 2 é a equação geral do IVCB.

$$IVCB = (\sum_1^n p_i \cdot V_i)/n \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que,

IVCB = Índice de Vulnerabilidade para a Costa Brasileira;

$V_i$  = Valor de vulnerabilidade por indicador “i”;

$p$  = peso atribuído a cada indicador no cômputo do IVCB;

$i$  = Indicadores de vulnerabilidade: exposição a ondas e marés, erosão costeira, movimentos de massa, inundação, densidade demográfica, nível socioeconômico e tipos de ocupação;

Os dados de entrada estarão em formato de cartas temáticas e a execução dos cálculos do índice será realizada por álgebra de mapas, garantindo a representação numérica e espacial da vulnerabilidade socioambiental às mudanças climáticas na zona costeira brasileira.

A ponderação das variáveis e pesos do IVCB será realizada por meio de simplificação da técnica AHP (Saaty, 2008). Nessa técnica de ponderação recorre-se a especialistas, literatura e/ou decisores para se classificar as variáveis e pesos dos indicadores em graus de importância, utilizando uma matriz de prioridades.

### **3.2.1. Aspectos operacionais**

Para a operacionalização do modelo são necessários os seguintes dados e informações de entrada:

- Modelo digital de elevação do terreno (MDE);
- Carta geotécnica da região;
- Carta geomorfológica da região;
- Mapas de uso e cobertura da Terra;
- Dados pluviométricos da região;
- Mapa hidrográfico da região;
- Dados de tendência de variação do nível do mar;
- Dados maregráficos da região;
- Mapa dos setores censitários da região;
- Dados populacionais referentes a renda, idade, escolaridade e população total por setor censitário.





Os dados do MDE serão utilizados para dar origem tanto aos dados de declividade do terreno quanto aos dados de relevo da região, portanto sua resolução espacial e altimétrica devem ser as mais detalhadas possíveis. Recomenda-se uma resolução espacial de 30 metros ou menor, e uma resolução altimétrica de 1 metro ou menor. Para os casos onde não haja informações mais detalhadas, serão utilizados os dados do SRTM (NASA) e TOPODATA (INPE).

As cartas geotécnicas são informações oriundas de um nível maior de detalhamento e trabalhos avançados e, em função disso, é possivelmente a informação, dentre as necessárias apontadas anteriormente, com menor cobertura em nível nacional. Na ausência de uma classificação geotécnica do solo para a região pode-se alternativamente utilizar dados pedológicos ou geológicos, ou uma combinação de ambos, o que, no entanto, concorre para uma diminuição de precisão da classificação de vulnerabilidade para essa variável. Até o momento foram levantadas cartas geotécnicas para as regiões da Baixada Santista/SP e do Rio de Janeiro/RJ. O uso deste indicador pode ser inviabilizado na ausência destas informações, ou alternativas à elas.

A carta geomorfológica da região de estudo é necessária para a classificação da costa em seus diferentes níveis de vulnerabilidade a erosão, já que a conformação da costa é o fator principal do modelo ao analisar esse indicador. Na ausência destes dados em nível local, será utilizado o Mapeamento Geomorfológico Brasileiro ao milionésimo, elaborado pelo projeto RADAMBRASIL, o qual, fundamentado na dissecação do relevo, considera as dimensões interfluviais e o aprofundamento da drenagem, permitindo minimamente inferir sobre as relações morfo e pedogenéticas. Informações geomorfológicas em escalas maiores, de maior detalhamento local, permitem inferir sobre os elementos da fisiologia da paisagem, permitindo melhor caracterização da vulnerabilidade do relevo à erosão.

Os mapas de uso e cobertura da Terra serão utilizados como dados de entrada no indicador de Tipo de Ocupação, caracterizando a infraestrutura atual, além de fatores de contorno, como a presença de unidades de conservação com maior ou menor resiliência. Na ausência destas informações, em nível local, duas alternativas são



apresentadas: i) o uso de informações em menor escala, como o mapeamento de usos e cobertura da Terra do IBGE (escala de 1:500.000, para todo o território nacional); ou ii) a geração de mapeamentos de uso e cobertura a partir de classificação não supervisionada de imagens de média ou alta resolução (ex.: banco de imagens RapidEye, do IBAMA). A opção por uma ou outra alternativa será definida no desenvolvimento do trabalho e considerará questões de tempo e acesso a dados secundários. Esta decisão será tomada quando da finalização do levantamento de dados e informações secundárias em curso.

Os dados pluviométricos, em séries históricas, estão sendo adquiridos para o maior número de estações pluviométricas disponíveis nas regiões de interesse para tornar possível uma análise localizada dos indicadores de movimentos de massa e inundação. Os dados de projeção da precipitação em cenários futuros estão sendo solicitados ao INPE, com acúmulo temporal de 3 horas.

Os mapas de hidrografia serão necessários para compor o indicador de inundação e, a partir das indicações dos corpos d'água nesses mapas, serão construídos *buffers* relativos às 5 categorias de vulnerabilidade, de acordo com a proximidade dos corpos d'água. Na ausência destas informações, os mapas de drenagem serão gerados para cada caso, a partir dos modelos digitais de elevação.

Os dados de tendência de variação do nível do mar serão necessários para o estudo dos indicadores relativos à agentes mar-terra: exposição a ondas e marés e erosão costeira. Por estes dados são incorporados ao modelo os fatores de variação do nível do mar previstos no âmbito das mudanças climáticas globais. Uma vez que os modelos ETA/CPTEC não proveem esses dados, alternativamente serão utilizadas projeções de elevação do NMM dos cenários IPCC.

Os dados maregráficos são necessários para se identificar as alturas de marés nas regiões de estudo, os quais representam a capacidade de erosão costeira oriunda da energia cinética de marés.

Por fim, as informações sobre setores censitários e dados de renda, escolaridade, idade e população por setor censitário estão sendo obtidos do censo demográfico mais



recente, e suas atualizações, de forma a representar as condições sociais da população local e subsidiar o caráter socioambiental do modelo. Boa parte destes dados já se encontram na base de dados do estudo e foram obtidos junto ao Centro de Estudos da Metrópole, com base nos levantamentos do IBGE.

### **3.2.2. Pré-processamento de dados e informações**

As informações necessárias para o modelo advêm de fontes diversas de informação, normalmente governamentais, e, portanto, foram construídas de formas diferentes, em diferentes resoluções espaciais e com diferentes projeções cartográficas. Portanto, antes da execução do modelo será necessário um pré-processamento dos dados que deve se dar em duas partes.

A primeira parte é uma padronização das projeções cartográficas para projeções métricas (UTM) e classificação dos dados nos níveis de vulnerabilidade proposto. Através de ferramentas computacionais de geoprocessamento serão padronizadas as projeções de todas as cartas temáticas utilizadas como dados de entrada para unidades métricas de forma a possibilitar os cálculos de área e distâncias necessários para os diversos indicadores do IVCB. Em seguida, utilizando como base as tabelas sugeridas por esse trabalho, serão classificados os dados em níveis de vulnerabilidade de 1 a 5, sendo 1 a menor vulnerabilidade e 5 a maior. Essa classificação será a base para a segunda parte do pré-processamento.

A segunda parte do pré-processamento será a transformação das cartas temáticas vetoriais em matriciais, de maneira a possibilitar o cálculo do IVCB por meio de álgebra de mapas. Essa transformação será realizada por ferramentas computacionais de geoprocessamento e visa obter matrizes temáticas com a maior resolução espacial possível, embora não necessariamente uniforme. Este cuidado permitirá melhor representar no espaço as variações dos níveis de vulnerabilidade em cada parâmetro e indicador.

Em seguida ao pré-processamento, será executado o cálculo de cada indicador a partir da média entre os valores de cada célula para os parâmetros do referido indicador (conforme Equação 1).



Por fim o ultimo passo do modelo é o cálculo do IVCB (Equação 2), por meio da média ponderada entre os resultados de vulnerabilidade por indicador. O resultado desta operação espacial é um mapa da vulnerabilidade da região de estudo, célula a célula do modelo, de forma a demonstrar espacialmente a distribuição da vulnerabilidade socioambiental.

A partir desse mapa, e dos resultados por indicador, é possível analisar para cada região os indicadores mais críticos e analisar medidas de adaptação que façam face às ameaças representadas por cada indicador, objeto da fase final dos trabalhos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, H.P.F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, 2006.

ANFUSO, G.; DEL POZO, J.A.M. Assessment of Coastal Vulnerability Through the Use of GIS Tools in South Sicily (Italy). *Environmental Management*, 2009.

BOATENG, I. GIS assessment of coastal vulnerability to climate change and coastal adaption planning in Vietnam. *Journal of Coast Conservation*, 2012.

BORUFF, B.J.; EMRICH, C.; CUTTER, S.L. Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties. *Journal of Coastal Research*. N.21, Vol. 5, 932-942, 2005

CHAKRABORTY, J.; TOBIN, G.A.; MONTZ, B.E. Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards. *Natural Hazards Review*, n. 6, p. 23-33, 2005.

CUTTER, S.L.; BORUFF, B.J., Shirley, W.L. Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, n. 84, 242–261, 2003.

EAKIN, H., LUERS, A.L. Assessing human and biophysical vulnerability to global environmental change. *Annual Review of Environment and Resources*, 31, 2006.

ESTEVEZ, C.J.O. *Risco e Vulnerabilidade Socioambiental: Aspectos Conceituais*. Caderno IPARDES, 2011



- FURLAN, A.; BONOTTO, D. M.; GUMIERE, S. J. Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at São Sebastião in São Paulo State. *Environmental Earth Sciences*. 2011
- GORNITZ, V. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology Elsevier Science Publishers B.V.*, Amsterdam 1991
- HANAK, E.; MORENO, G. California coastal management with a changing climate Climatic Change. *Springer Science+Business Media B.V.* 2012
- HOOZEMANS, F.M.J., Marchand, M.; PENNEKAMP, H.A. *A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production on a Global Scale*. 2nd edition. 1993.
- INOUE, C.E.N. Modelagem dinâmica espacial e os impactos de mudanças globais: cenários de ocupação no Litoral Norte de São Paulo. *Dissertação de mestrado*, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2012. 100p.
- MARANDOLA JR.; E.; HOGAN, D.J. Vulnerabilidade e riscos: entre geografia e demografia. *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, 2005.
- MUEHE, D.; NEVES, C. F. Vulnerabilidades físicas da orla da Cidade do Rio de Janeiro: relatório temático C. [S.l.]: Instituto Pereira Passos, 2007 (Relatório COPPETEC PENO, 7725).
- NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação a Mudanças do Clima: a zona costeira. In: *Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação*, Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 27, 2008. p. 217-29. (Série Parcerias Estratégias). ISSN 1413-9375.
- NICHOLLS, R.J.; HOOZEMANS, F.M.J. *Global Vulnerability Analysis*, Encyclopedia of coastal science, 2000
- NICHOLLS, R.J.; MIMURA, N. Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications. *Climate Research* .1998
- NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A. Gestão Costeira. In: ZAMBONI, A. & NICOLODI J. L. (Eds.). *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2008. 242 p
- NICOLODI, J. L.; PETERMAN, R.M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Gestão Costeira Integrada*., v. 10, n. 02, 2010, p. 151-177.
- O'BRIEN, K.L.; ERIKSEN, S.; NYGAARD, L.P.; SCHJOLDEN, A. Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate Policy*, v.7, n.1, p. 73-88, 2007.
- SHAW, J.; TAYLOR, R.B.; FORBES, D.L.; RUZ, M.-H.; SOLOMON, S. *Sensitivity of the coasts of Canada*. Geological Survey of Canada. Atlantic Geoscience Centre. Canada. 1998.



TAGLIANI C.R.; CALLIARI, L.J.; TAGLIANI, P.R.; ANTIQUEIRA, J.A. Vulnerability to sea level rise of an estuarine island in southern Brazil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, n. 02, v. 1, 2010, p. 18-24.

THIELER, E.R.; HAMMAR-KLOSE, E.S. *National Assessment of Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast*. United States Geological Survey. Woods Hole, Massachusetts, 1999.

VALENTIM, S. S. ; BERNARDES, M. E. C. ; DOTTORI, M. ; CORTEZI, M. . Low-frequency physical variations in the coastal zone of Ubatuba, northern coast of São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography (Online)*, v. 61, p. 187-193, 2013.

WU, S.Y.; YARNAL, B; FISCHER, A. Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA. *Climate Research*, v.22, n.4, p. 255-270, 2002.

ZAHARAN, S.; BRODY, S.D.; PEACOCK, W.G.; VEDLITZ, A. GROVER, H. Social vulnerability and the natural and built environment: a model of flood casualties in Texas. *Disasters*, n.32, v. 04, 2008, p. 537-560.

Wilson Cabral de S. Junior  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
Professor Associado