

Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro

Local vulnerability to inundation assessment at the coastal zone of Lake Region, Rio de Janeiro

Flavia Moraes Lins-de-Barros^{ac}, Dieter Muehe^{bd}

^aDepartamento de Educação e Sociedade do Instituto Multidisciplinar da UFRRJ, ^bLaboratório de Geografia Marinha do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ

^cflaviamlb@gmail.com, ^ddieter.muehe@gmail.com

RESUMO

A avaliação de riscos costeiros em escala local, incluindo tanto variáveis socioeconômicas quanto físico-ambientais, tem sido um difícil desafio devido à baixa resolução espacial dos dados estatísticos, frequentemente disponíveis apenas para a unidade de distritos. Visando ultrapassar tal dificuldade, é proposta no presente trabalho uma metodologia de avaliação local da vulnerabilidade e dos riscos de inundação costeira e seus impactos sociais atuais e futuros, adotando como unidade de análise os setores censitários urbanos delimitados pelo IBGE. A área de estudo é a Região dos Lagos, localizada na costa leste do estado do Rio de Janeiro, em uma área de rápido crescimento populacional e vocação turística. Uma classificação da vulnerabilidade à erosão, inundação e poluição do lençol freático é apresentada tendo como base a integração dos dados demográficos com dados de trabalhos de campo, estado morfodinâmico das praias e registros de alagamentos. Variáveis relativas à forma de abastecimento de água e de destino do esgoto doméstico por domicílios foram utilizadas para avaliação dos impactos indiretos da inundação na poluição do lençol freático e na disponibilidade de água potável. Foram identificados treze segmentos na costa com elevada a muito elevada vulnerabilidade à transposição por ondas, com construções imediatamente à retaguarda das praias em seis destes. As situações mais críticas correspondem àquelas onde a transposição por ondas está associada ao processo de erosão costeira. Áreas sujeitas a alagamentos foram identificadas em sua maioria na margem norte das lagoas, especialmente no município de Saquarema, com o maior número de registros, dois destes relativos à transposição por ondas. Mais de 75 mil habitantes vivem atualmente nas áreas consideradas vulneráveis a alagamentos, transposição ou erosão costeira, e destes cerca de 3 mil possuem péssimas condições de acesso à água e destinação do esgoto, indicando áreas com elevado potencial de risco de poluição e deficiência de acesso à água.

Palavras-chave: Vulnerabilidade costeira; Risco; Inundação; Erosão costeira; Setores censitários urbanos

ABSTRACT

Assessing coastal risk at local scale including both physical and socio-economic variables has been a difficult task due to the low spatial resolution of the statistical data, frequently available only for a whole District unit. In order to bypass this constrain the relation of social statistics with other environmental variables was made using "urban statistical sensing units" from the Brazilian Geographic and Statistic Institute (IBGE) database which size varies as a function of the number of individuals a sensor is able to interview. The study area is Região dos Lagos located at the East coast of Rio de Janeiro state, an area of rapid population growth and strong tourist vocation. A classification of vulnerability and risks to coastal erosion, inundation and ground water pollution is presented, based on the integration of field observation, beach morphodynamic state and reports of inundation by the Civil Defense with demographic and social data. Domiciliary access to water and sewage treatment was used to analyze indirect impacts of inundations on ground water pollution and potable water availability. Thirteen coastal segments with high to very high vulnerability to wave overwash were identified with constructions immediately behind the beach in six of these segments. The most critical situations occur where wave overwash were associated to coastal erosion. Areas prone to flood were identified mostly in the northern margin of the lagoon system, specifically in the municipality of Saquarema, with the highest number of registered occurrences, two of them due to wave overwash. More than 75.000 inhabitants have lived in flood, overwash or coastal erosion vulnerable areas and about 3.000 of them have very bad conditions of water access and

sewage treatment indicating areas with very high potential risk of ground water pollution and deficient water access.

Keywords: Coastal vulnerability; Risk. Inundation; Coastal erosion; Urban statistic sensing units

1. Introdução

As mais recentes previsões realizadas pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC 2007) consideram como cenário mais conservador para os próximos 100 anos o aumento da temperatura global entre 1,1 e 2,9°C e a subida do nível do mar entre 0,18 e 0,38 metros; enquanto o pior cenário previsto aponta o aumento da temperatura de 2,4°C a 6,4°C e a subida do nível do mar de 0,26 a 0,59 metros.

Tais cenários, que variam de acordo com a estimativa de emissão de CO² e não consideram o impacto do derretimento polar, geraram enorme preocupação com os potenciais impactos destas mudanças em cidades costeiras de todo o mundo. A zona costeira é naturalmente dinâmica e exposta a eventos naturais extremos, como tempestades, furacões e tsunamis, e apresenta elevadas taxas de crescimento urbano e concentração demográfica (figura 1), o que a torna um dos ambientes mais vulneráveis, física e socialmente, às mudanças climáticas.

Diferentes simulações e modelagens vêm sendo realizadas para prever os efeitos desta possível subida do nível do mar, em termos de riscos de erosão costeira, inundações por transposição de ondas, obstrução das desembocaduras de canais, redução do gradiente de escoamento, e intrusão

salina em corpos hídricos interiores. Os impactos indiretamente associados mais apontados na literatura são a escassez de água doce, a poluição do lençol freático e a destruição ou modificação ecológica de ecossistemas costeiros. A tabela 1 destaca os setores socioeconômicos que possivelmente serão afetados pelos efeitos bio-geofísicos de uma mudança climática global.

A abordagem típica observada nos trabalhos internacionais sobre vulnerabilidade costeira restringe-se às escalas global ou nacional, em detrimento das escalas regional e local. Em grande parte dos casos, os estudos limitam-se também às previsões de cenários e impactos futuros decorrentes de alterações climáticas, como os descritos acima (Adger *et al.* 2004). No entanto, os problemas apontados como potenciais já estão sendo observados atualmente em grande parte da zona costeira do mundo, com maior ou menor intensidade (Muehe & Neves 2008, McFadden 2007, Adger *et al.* 2004), o que demonstra que o estudo da vulnerabilidade da zona costeira, tanto física como socioeconômica, apresenta-se importante para sua gestão, não apenas numa perspectiva futura, mas também numa perspectiva atual.

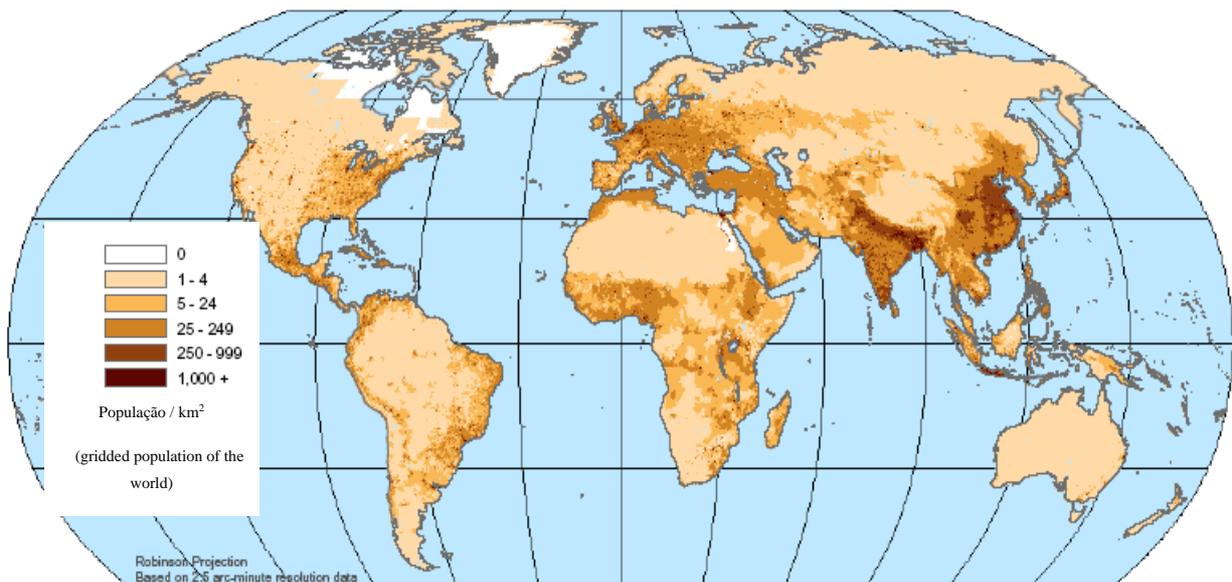


Figura 1: Distribuição da população mundial e concentração nas zonas costeiras Fonte: Center for International Earth Science Information Network - CIESIN (2005)

Tabela 1: Efeitos bio-geofísicos da subida do nível do mar e setores afetados

Setor	Efeitos Bio-geofísicos					
	Frequência de enchentes	Erosão	Inundação	Subida do lençol freático	Intrusão salina	Modificação de ecossistemas
Disponibilidade de água			X	X	X	X
Agricultura	X		X	X	X	
Saúde humana	X		X			X
Pesca	X	X	X		X	X
Turismo	X	X	X			X
Construções humanas	X	X	X	X		

Fonte: Modificado de Klein & Nicholls (1998 *apud* Klein 2003)

2. Objetivos

O presente artigo tem como objetivo principal apresentar uma metodologia de avaliação local da vulnerabilidade e dos riscos de inundação costeira, e dos impactos sociais atuais e futuros, adotando como área de estudo a zona costeira da Região dos Lagos (Rio de Janeiro). Como objetivos específicos destacam-se:

- identificação dos principais pontos de ocorrência de erosão costeira;
- classificação do litoral quanto ao potencial risco de transposição por ondas de tempestade (*overwash*);
- estimativa do número de pessoas residentes em áreas vulneráveis à inundação costeira;
- classificação dos setores censitários urbanos quanto ao risco potencial de contaminação do lençol freático e de

problemas de abastecimento de água doce para consumo.

3. Área de estudo

O presente trabalho tem como área de estudos toda a zona costeira da Região dos Lagos Fluminenses, região instituída oficialmente em 1997 pelo artigo primeiro da Lei n.º 2.829/97, como segue abaixo:

“Art. 1º - Fica denominada Região dos Lagos Fluminenses o conjunto dos Municípios de Maricá, Saquarema, Araruama, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo, Iguaba Grande, Armação de Búzios, Casimiro de Abreu e Rio das Ostras.”

Constituída, portanto, por dez municípios, apenas Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia não se encontram defrontes para o mar, como se observa na figura 2.

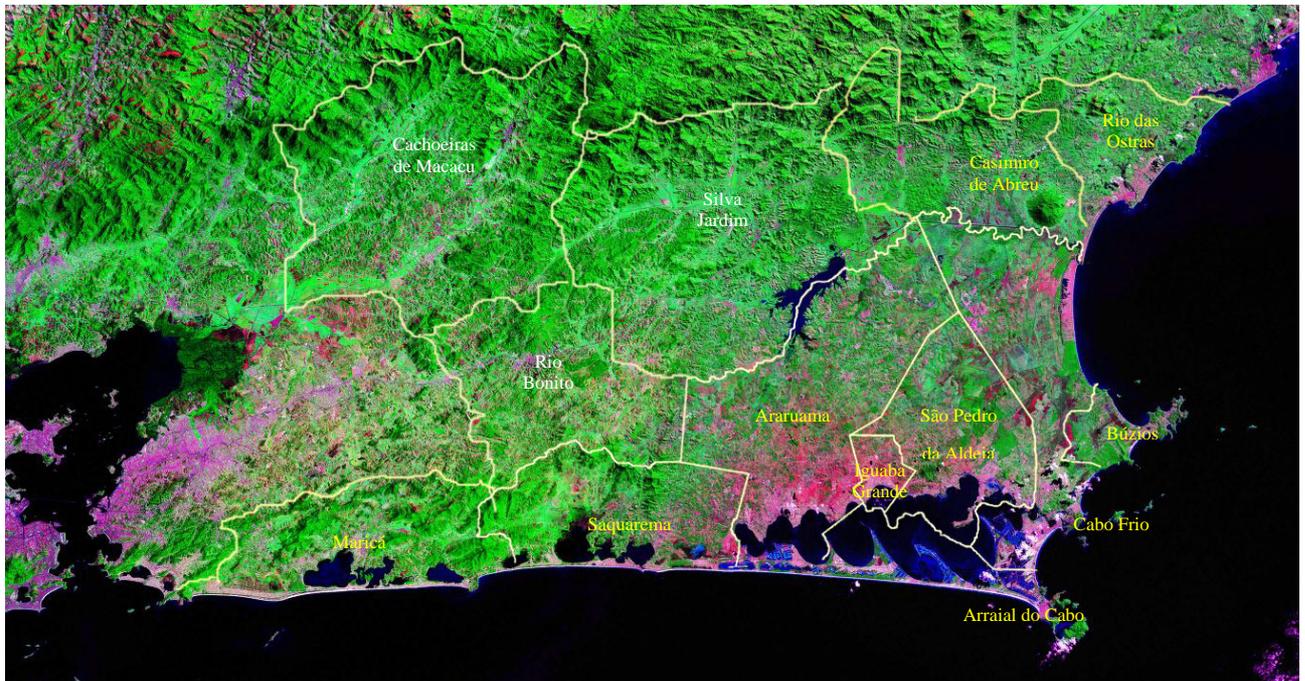


Figura 2: Localização dos municípios que integram a Região dos Lagos, destacando-se em amarelo os municípios da presente área de estudo.

A paisagem costeira da região, na sua porção compreendida entre os municípios de Maricá e Cabo Frio, é marcada pela presença de extensos arcos praias, associados a cordões litorâneos que frequentemente ocorrem em forma de duplos cordões (Muehe & Valentini 1998). Sua característica mais significativa é o conjunto de lagunas desenvolvido à retaguarda dos cordões litorâneos, cuja presença motivou sua designação. Nota-se que todo este segmento apresenta-se orientado para o quadrante sul, em função do alinhamento dos cordões litorâneos, representando uma mudança na orientação leste-oeste predominante do litoral brasileiro. Tal característica torna este trecho de costa muito exposto a fortes ondulações geradas no Atlântico Sul. Na parte nordeste da região, que abrange a parte norte de Cabo Frio, Casemiro de Abreu e Rio das Ostras, a paisagem se transforma em uma planície fluviomarina com destaque para a foz do rio São João, na divisa dos municípios de Rio das Ostras e Casemiro de Abreu. O cabo Búzios apresenta uma geologia particular, com presença de embasamento cristalino Pré-cambriano, formado por rochas graníticas e gnáissicas. Tal característica resulta na presença de pequenas praias de enseada ladeadas por promontórios rochosos, fato que lhe confere uma paisagem diferenciada, principal razão da sua forte vocação turística.

A evolução do litoral entre Maricá e Cabo Frio foi descrita pela primeira vez por Lamego (1945), que sugeriu que a formação da sua atual linha de costa se deu por crescimento lateral de oeste para leste a partir de um pontal arenoso, dando origem às lagunas por efeito da barragem. Décadas depois, esta hipótese começou a ser confrontada pelo surgimento de novas interpretações que apontavam evidências da impossibilidade do crescimento lateral em tal região, sugerindo que a evolução se deu por migração do cordão arenoso em direção ao continente por efeito das oscilações do nível do mar (Coe Neto 1984, Muehe & Corrêa 1989).

4. Metodologia

A avaliação do potencial de risco de inundação e efeitos associados deve, conforme ressaltado por Tessler (2008), considerar não apenas a altimetria, mas também os processos erosivos costeiros, visto que estes tendem a destruir barreiras naturais como cordões litorâneos, dunas frontais e outros obstáculos à invasão da água. Desta forma, para avaliação da vulnerabilidade à inundação costeira foram considerados dados de exposição à transposição do cordão litorâneo por ondas, evidências de erosão costeira e registros recentes de inundações e alagamentos. Para tanto, foram utilizados dados secundários obtidos de bibliografia ou pesquisas anteriormente realizadas pelos autores, e dados primários levantados em trabalhos de campo.

Atualmente, as áreas mais rebaixadas localizadas próximas ao mar ou às lagunas já sofrem com inundações em função da transposição de ondas e pela subida do lençol freático, esta última causada não apenas pelas chuvas, mas por efeito das oscilações das marés lunar e meteorológica (Muehe & Neves 2008, Neves & Muehe 2008). Com isso, foram considerados como áreas vulneráveis à inundação todos os setores localizados nas orlas marítimas e/ou lacustres, os setores com registros recentes de alagamentos, ou ainda aqueles com elevada exposição à transposição por ondas.

A identificação dos pontos de erosão costeira da Região dos Lagos teve como base os dados publicados no capítulo referente ao estado do Rio de Janeiro no livro Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro (Muehe *et al.* 2006). Comparação de imagens de satélite e fotografias aéreas,¹ perfis de praia realizados na década de 1970 (Muehe 1979) e monitoramentos iniciados em 1995 entre Rio das Ostras e Saquarema, incluindo monitoramento mensal contínuo de um trecho do campo de dunas da praia de Massambaba, contribuíram para esta identificação que será apresentada em maior detalhe no presente trabalho.

A avaliação da vulnerabilidade do cordão litorâneo à transposição pelas ondas (*overwash*) foi realizada a partir de evidências atuais deste processo em trabalhos de campo. Através da medição da altitude que foi ultrapassada pelas ondas em pontos conhecidos de transposição atual, do grau de exposição do litoral a fortes ondulações e do estágio morfodinâmico das praias, foi estabelecido um critério aplicável a todo o litoral para identificação de outros trechos sujeitos à transposição (quadro 1).

Com se observa no quadro 1, todas as áreas à retaguarda das praias refletivas, com elevada exposição às ondas e cujo cordão litorâneo ou dunas frontais possuem menos do que 7 metros de altura foram classificadas como praias de vulnerabilidade muito elevada. A mesma classificação foi adotada para as áreas à retaguarda das praias intermediárias com alta exposição às ondulações e cujo cordão litorâneo ou dunas frontais apresentam altura abaixo de 4 metros. Já as praias consideradas com baixa vulnerabilidade são as que apresentam altura do cordão ou das dunas acima de 7 metros ou estão abrigadas das ondas, ou ainda são limitadas por falésias que impedem a transposição. Todos os outros casos foram considerados como moderadamente vulneráveis. Deve-se ressaltar que o risco de inundação por transposição da área imediatamente à retaguarda da praia varia de acordo com o tipo de feição (escarpa

¹ As imagens de satélite do ano 2000 foram cedidas pela AMPLA Energia e Serviços, e as fotografias aéreas ortoretificadas dos anos de 1956 e 1979, pelo Departamento de Recursos Minerais – DRM.

de praia, falésia, campo de dunas vegetadas) ou ocupação urbana, observados e mapeados em

trabalhos de campo realizados na ocasião dos monitoramentos das praias.

Quadro 1: Variáveis associadas ao grau de vulnerabilidade à inundação por transposição de ondas

Estágio morfodinâmico praial	Exposição às ondulações	Altitude do cordão, da escarpa ou das dunas frontais	Relevo no pós-praia e � retaguarda	Grau de vulnerabilidade
Refletivo	Praia exposta de alta energia	< = 7m	Cordão litorâneo ou planícies	Elevado
Intermediário	Praia exposta de alta energia	< = 6m	Cordão litorâneo ou planícies	Elevado
Intermediário ou dissipativo	Praia exposta de alta energia	< = 5m	Cordão litorâneo ou planícies	Elevado
Refletivo	Praia semiexposta de moderada energia	< = 7m	Cordão litorâneo ou planícies	Moderado
-	-	-	Falésias ou montanhas	Baixo
-	Praia abrigada de baixa energia	-	-	Baixo
-	-	> 7m	-	Baixo
Qualquer outra combinação de fatores				Moderado

Fonte: Lins-de-Barros F.M. (2010, p.132)

Dados sobre a ocorrência recente e áreas sujeitas a desastres relacionados à inundação litorânea e alagamento disponibilizados pela Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro para o período compreendido entre 2000 e 2007 contribuíram também para a identificação das áreas mais vulneráveis   inundação. As informações descritivas do local de ocorrência e dos tipos de desastres que constam no banco de dados da Defesa Civil permitiram georreferenciar os pontos de ocorrência dos mesmos, o que foi acrescentado a outros pontos observados em trabalhos de campo.

Os impactos atuais ou potenciais dos processos de erosão costeira e inundação foram estimados a partir de dados referentes à demografia (população urbana) e   renda média mensal na escala dos setores censitários urbanos, menor unidade espacial de dados censitários gerados pelo IBGE (2000). A base espacial dos setores censitários foi corrigida no programa ArcGIS 9.2, da empresa ESRI, em função de grandes erros e distorções encontrados na base original disponibilizada, o que resultou em uma nova base melhor ajustada, embora permaneçam alguns problemas de distorção ou de geometria dos setores, como se observa na figura 3. Além disso, a base espacial dos setores não é elaborada pelo IBGE para os municípios com menos de 25 mil habitantes, como é o caso de Iguaba Grande, Armação dos Búzios e Arraial do Cabo. Para estes municípios foi preciso criar a base espacial utilizando o documento do IBGE que descreve a demarcação dos setores a partir da descrição dos perímetros, tendo como referenciais o traçado de ruas ou de outros elementos marcantes da paisagem.

As distorções que permaneceram podem significar ainda imprecisões, principalmente, no

tamanho dos setores, porém, sem intervir significativamente nos resultados.

Através da ferramenta de combinação espacial do programa ArcGIS 9.2, da ESRI, foi realizado o cruzamento espacial dos dados sociais da base de setores urbanos com as áreas classificadas quanto   exposição   transposição, erosão costeira e alagamentos. Com isso, foi possível classificar os setores quanto ao tipo de vulnerabilidade física, densidade demográfica e renda média mensal, permitindo estimar o número de habitantes nas áreas mais vulneráveis fisicamente, assim como apontar preliminarmente a capacidade de adaptação e o prejuízo econ mico potencial. Para a análise do problema de abastecimento de água doce para consumo, decorrente da exposição do lençol freático   contaminação, foram utilizados os dados da pesquisa censitária domiciliar do IBGE (2000) relativos à forma de acesso   água (rede de água encanada, poço artesianos ou nascentes, e outros) e ao destino do esgoto doméstico (rede geral de esgoto, fossas rudimentar ou séptica, lagos, mares ou rios, e outros). Foram analisados também os dados do volume de água distribuído pela concessionária de  gua PROLAGOS, do volume de consumo médio de água *per capita* pela população residente e do volume de consumo médio de água *per capita* pela população flutuante (veranistas e turistas). A intera o destas variáveis com a densidade populacional resultou na classificação dos setores censitários urbanos quanto   exposição e risco de contaminação, conforme os critérios expostos na matriz a seguir.

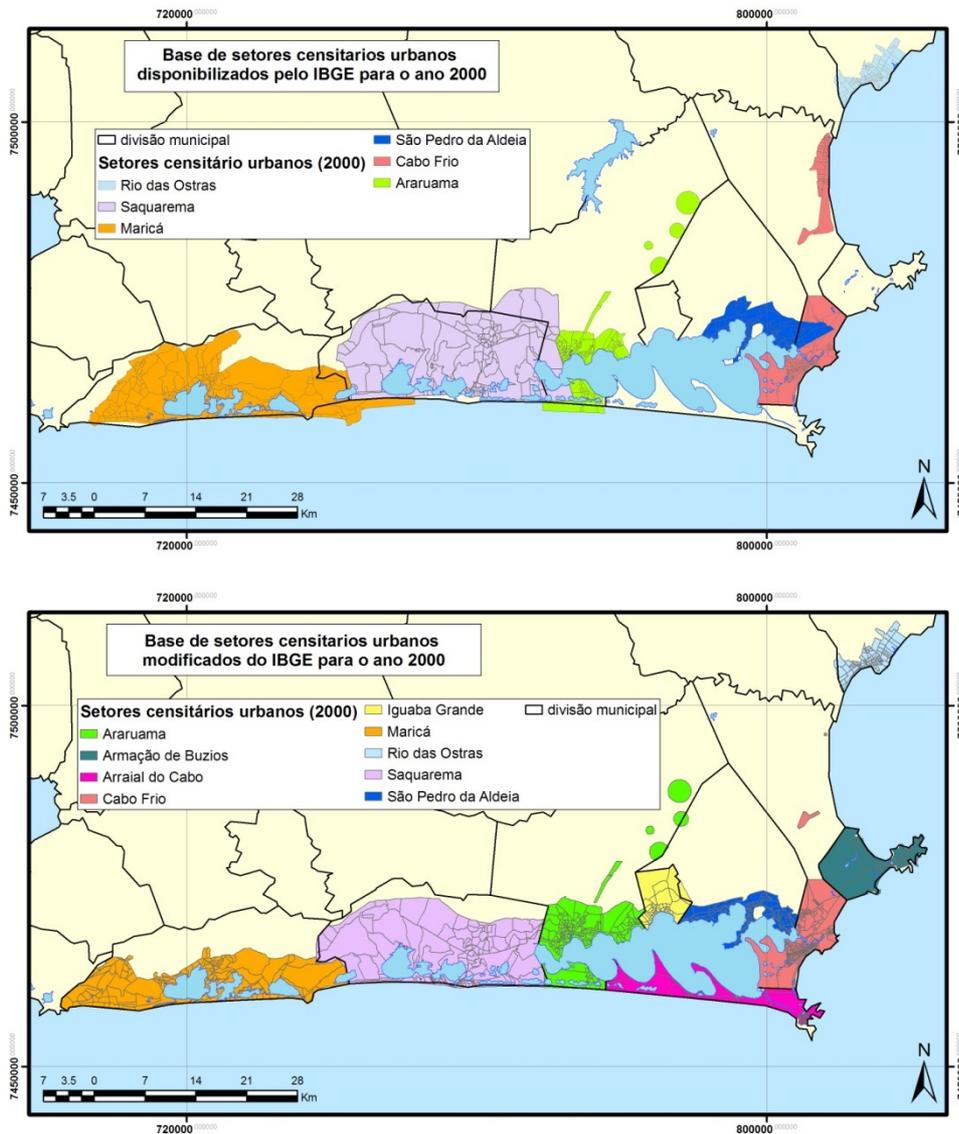


Figura 3: Comparação da base espacial dos setores censitários original do ano 2000 disponibilizada pelo IBGE e da base corrigida. Fonte: Lins-de-Barros, F.M. (2010, p. 147)

Tabela 3: Critério para classificação dos setores quanto ao risco de contaminação do lençol freático

Exposição e risco de contaminação do lençol freático		Abastecimento de água por poço ou nascente (% de domicílios)							
		Acima de 75%		Entre 50 e 75%		Entre 25 e 50%		Até 25%	
		Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa
Destino do esgoto por fossa rudimentar ou séptica (% de domicílios)	Acima de 75%								
	Entre 50 e 75%								
Destino do esgoto por fossa rudimentar (% de domicílios)	Entre 25 e 50%								
	Até 25%								

menos crítico mais crítico

Fonte: Lins-de-Barros, F.M. (2010, p. 152)

5. Resultados

A classificação do litoral quanto à exposição à transposição do cordão litorâneo por ondas resultou em 13 segmentos do litoral com exposição elevada, sendo que, destes, 6 possuem residências localizadas imediatamente à retaguarda da praia (figura 4). Em toda a orla entre Maricá e Arraial do Cabo, a elevada exposição às ondulações do quadrante sul contribui para a elevada exposição à transposição por ondas. Apenas em algumas praias protegidas por ilhas (praia do Francês) ou com a presença de dunas frontais ou cordão litorâneo mais elevado, como em Praia Seca e Massambaba, a exposição apresenta-se baixa ou moderada. Em Itaipuaçu a situação já pode ser considerada grave, visto que as transposições são relativamente frequentes e o gradiente topográfico à retaguarda da praia é muito elevado, facilitando o escoamento da água em direção à depressão, com inundação das partes mais baixas. Em Cabo Frio e ao sul de Búzios (praia de Tucuns e Geribá), as ondulações de sudeste e leste também atingem este litoral com ondas relativamente elevadas. Somado a isso, a baixa altitude do pós-praia em alguns segmentos, como ao sul da Praia do Forte, agrava a exposição à transposição. Ao norte de Búzios, onde a exposição às ondulações é relativamente menor, a praia com maior exposição é a de Unamar, no distrito de Tamoiós, Cabo Frio. Tal praia apresenta a menor altitude do pós-praia de toda a região estudada, com menos de 3 metros de altura. Além destes trechos da linha de costa identificados como

vulneráveis, os registros de inundação e alagamento ocorridos entre os anos de 2000 e 2007 permitiram identificar outras regiões consideradas com elevada vulnerabilidade à inundação. Nota-se na figura 4 uma concentração de alagamentos registrados na margem norte da Laguna de Araruama, atingindo os municípios de Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia e Cabo Frio. Saquarema é o município com o maior número de inundações ou alagamentos registrados (12), sendo dois deles associados à transposição por ondas (inundação litorânea). No município de Araruama, dos 8 desastres registrados, 4 estavam associados a enchentes de pequenos córregos que deságuam na Laguna de Araruama. Em trabalho de campo foram observadas ainda inundações em Itaipuaçu, no município de Maricá (figura 5a), e na praia do Perú, em Cabo Frio (figura 5b).

Quanto à identificação do processo de erosão costeira, os resultados das análises das fotografias aéreas e dos monitoramentos identificaram seis praias com forte processo de recuo da linha de costa. Em Barra de Maricá, uma tempestade ocorrida em maio de 2001 provocou um recuo de aproximadamente 10 metros (Lins-de-Barros 2005). Recuo de igual magnitude foi observado na praia da Massambaba (Muehe 2001). Nas praias da Tartaruga e do Abricó, em Rio das Ostras, os monitoramentos realizados entre 1999 e 2008 e a comparação de fotografias aéreas revelaram recuos de aproximadamente 8 e 12 metros, respectivamente (Muehe *et al.* 2010, Lins-de-Barros 2010).

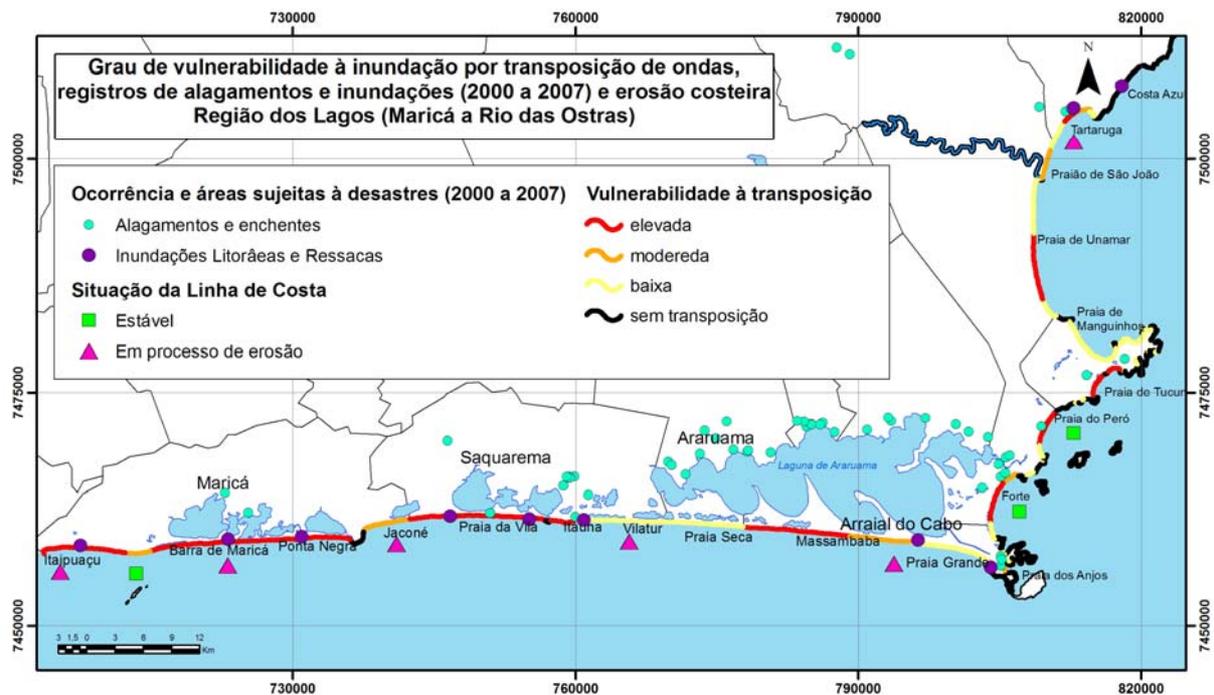


Figura 4: Vulnerabilidade costeira à transposição por ondas, erosão costeira e alagamentos



Figura 5: (a) Transposição e inundação à retaguarda; (b) Inundação por elevação do freático à da Praia de Itaipuaçu (julho de 2007) retaguarda das dunas frontais da Praia do Perú (março de 2008)

A classificação da linha de costa e da zona costeira como um todo à erosão costeira e à inundação contribuíram para a classificação dos setores quanto ao tipo de vulnerabilidade a que estão expostos (figura 6). O cruzamento da

população urbana e da renda média mensal, obtido para estes setores a partir dos dados censitários do ano 2000, permitiu identificar e avaliar as áreas de maior ou menor risco e vulnerabilidade social.

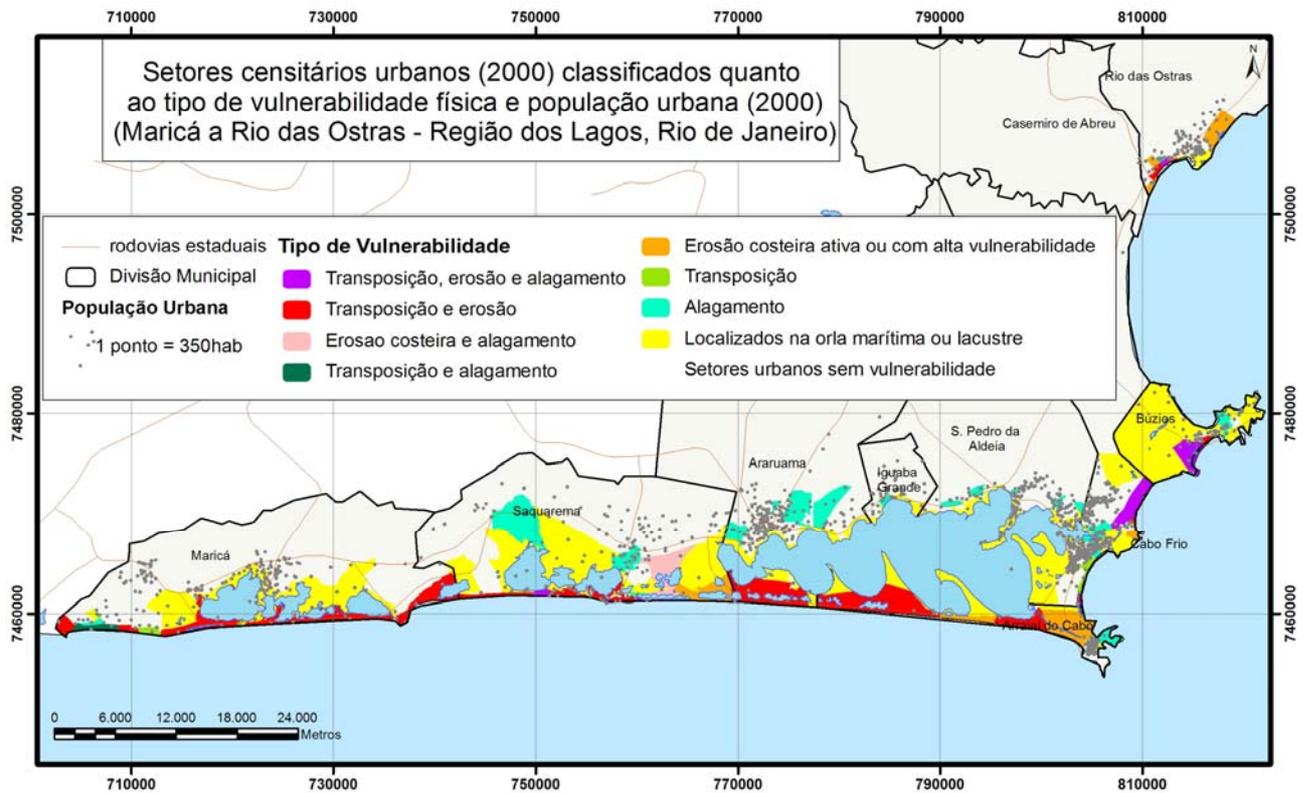


Figura 6: Setores censitários urbanos (2000) em áreas vulneráveis à inundação, por tipo de vulnerabilidade, e população urbana (2000)

Considerando todos os setores censitários urbanos classificados com algum tipo de vulnerabilidade, tem-se que mais de 143 mil pessoas vivem nestas localidades. Desconsiderando os setores classificados apenas como localizados na

orla marítima ou lacustre, somam-se aproximadamente 79 mil pessoas, o que equivale a quase 20% de toda a Região dos Lagos.

Nos municípios de Saquarema, Cabo Frio, Búzios e Rio das Ostras, foram identificados setores com a

presença de todos os tipos de vulnerabilidade física, ou seja, transposição por ondas, erosão costeira e alagamento, representando assim localidades com o mais alto potencial de riscos. Segundo os dados censitários do ano 2000 (IBGE), o número total de habitantes nestes setores era de pouco mais de 2 mil pessoas, estando quase metade destas concentrada em um mesmo setor no município de Búzios, próximo às praias de Tucuns e Geribá. A renda média mensal da população neste setor no ano 2000 era de R\$ 120,00, o que significa baixa capacidade de recuperação destes habitantes em caso de desastres. Assim como nos setores com esta mesma classificação nos municípios de Cabo Frio e Saquarema, esta localidade é caracterizada também pela predominância da atividade turística, com casas ou condomínios de veraneio e grande número de população flutuante em épocas de férias. Tal característica aumenta o risco de prejuízos e impacto na economia turística local.

Os municípios com maior número de pessoas em áreas vulneráveis em função da exposição à transposição e alagamentos são Saquarema e Araruama, com 5.440 e 4.400 habitantes vivendo nestas áreas, respectivamente. Na figura 6, observa-se que os setores vulneráveis à transposição por ondas em sua grande maioria são muito pouco habitados, com exceção dos setores das praias de Itaipuaçu e Barra de Maricá, em Maricá, e Itaúna, em Saquarema, que se apresentam relativamente mais populosos. No entanto, é importante observar que as áreas atualmente pouco habitadas podem representar risco potencial em função da expansão da área urbana, do crescimento populacional ou da instalação de empreendimentos e indústrias. Na praia do Perú, por exemplo, a área considerada vulnerável à transposição e alagamentos encontra-se atualmente pouco urbanizada, porém um projeto já licenciado pelos órgãos ambientais estaduais prevê nesta praia a implantação de um conjunto de hotéis de alto padrão. A praia de Jaconé, no município de Saquarema, também apresenta risco potencial, visto que esta localidade vem sofrendo forte valorização imobiliária nos últimos anos. Já na praia da Massambaba, no município de Arraial do Cabo, onde se observam as áreas menos habitadas, o risco potencial é menor em função das unidades de conservação lá existentes, que tendem a controlar ou proibir a ocupação urbana. A concentração de pontos de alagamentos no norte da

laguna de Araruama, como observado na figura 6, coincide com as áreas mais populosas dos setores, o que aumenta o risco de danos e impactos.

Tais áreas vulneráveis à inundação podem sofrer não apenas impactos diretos com a destruição dos imóveis, como também impactos indiretos associados à poluição da água do lençol freático por lançamento de esgoto doméstico e intrusão salina. Atualmente, a rede geral de esgoto e de água é muito deficiente em todos os municípios da região, e tal problema já se expressa na poluição das lagunas costeiras e na falta de água, principalmente nos períodos de férias e feriados, com a chegada de turistas. Os gráficos da figura 7 revelam a diferença por município entre a capacidade de abastecimento de água e de coleta de esgoto e a estimativa da demanda por água e por tratamento de esgoto, baseados no número de habitantes e na previsão do número de turistas, esta última, por sua vez, com base na quantidade de casas de veraneio e de leitos em hotéis. Nota-se que os municípios de Maricá, Saquarema e Cabo Frio apresentam deficiência no abastecimento de água para a população residente, o que se agrava muito com o acréscimo de consumo da população flutuante. Araruama, São Pedro da Aldeia e Saquarema destacam-se pela grande diferença entre a produção de esgoto sanitário domiciliar e a capacidade de seu tratamento. Os gráficos revelam que o acréscimo da população flutuante significa, em todos os municípios, importante aumento da deficiência, tanto de abastecimento de água, como de tratamento do esgoto sanitário.

O problema explicitado tem como consequência a busca por alternativas de abastecimento e de descarte de esgotamento sanitário, as quais quase sempre causam problemas de sobre-exploração e de contaminação do lençol freático. As áreas vulneráveis à inundação contribuem para o aumento do risco de contaminação deste por intrusão salina, principalmente onde ocorre transposição por ondas. Desta forma, o cruzamento dos setores quanto ao destino do esgoto sanitário, forma de acesso à água e densidade populacional, com as áreas classificadas como vulneráveis à inundação, aponta para os setores com diferentes graus de risco de contaminação da água por esgoto doméstico, e indica áreas com maior risco de déficit potencial de água doce para consumo (figura 8).

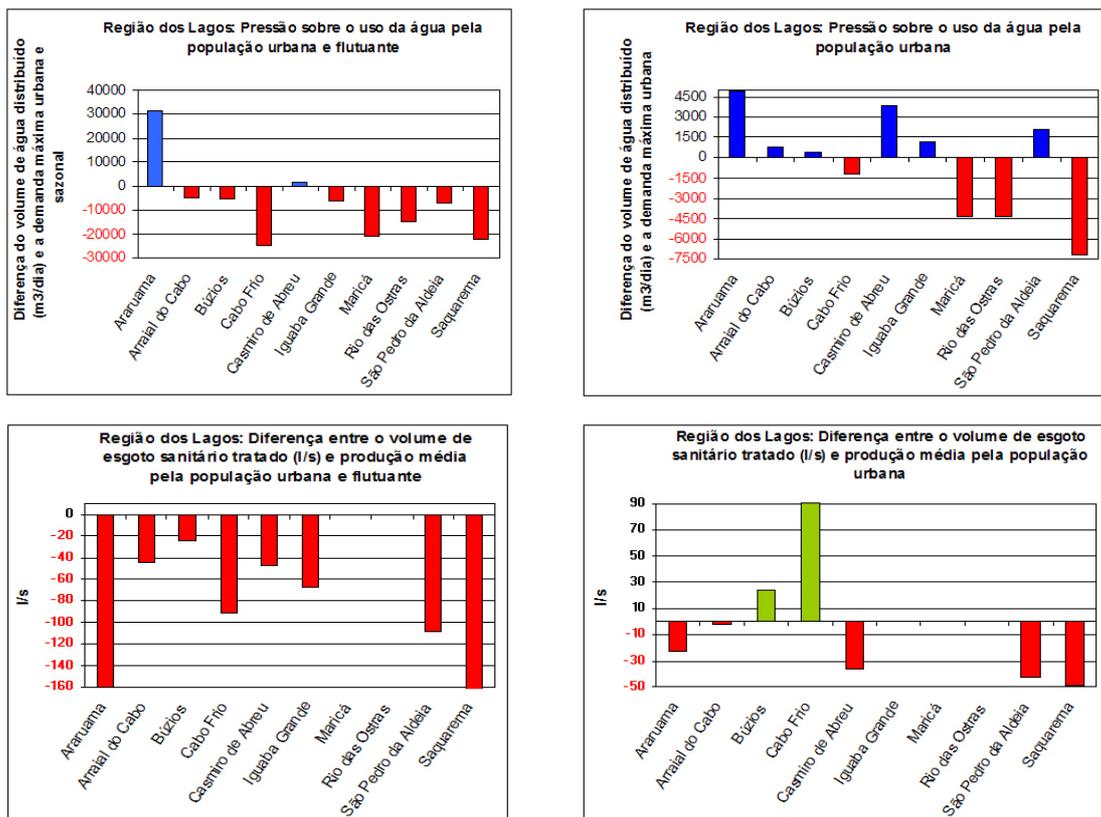


Figura 7: Diferença entre o volume de água e de esgoto e a demanda ou produção urbana e turística. Os valores iguais a zero correspondem à falta de dados disponíveis para aquele município.

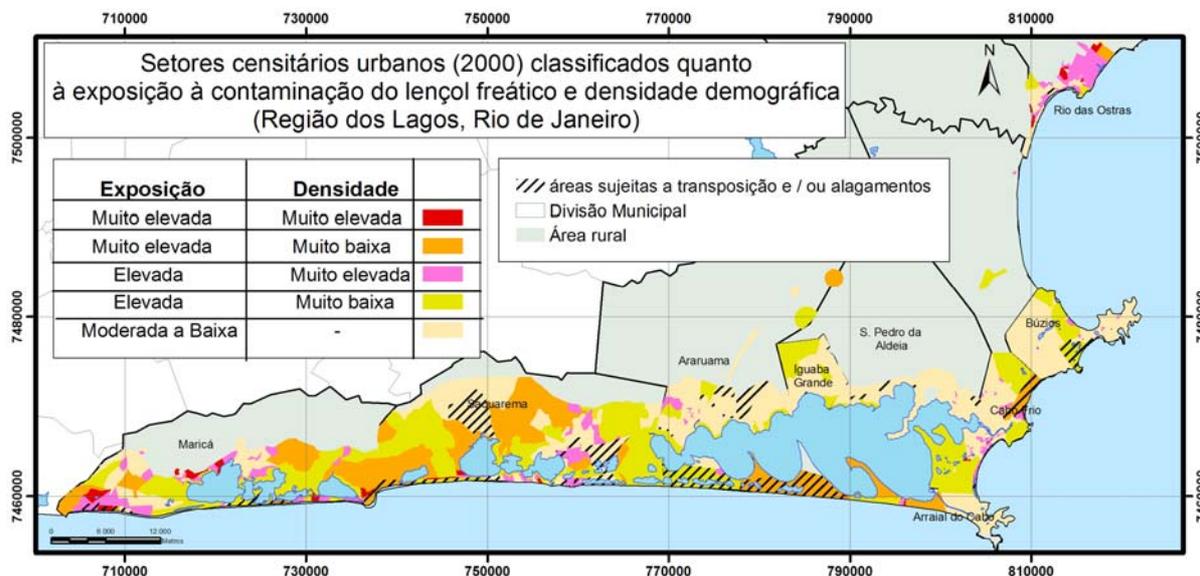


Figura 8: Risco potencial de contaminação do lençol freático

A população total dos setores com deficiência sanitária muito elevada, intenso uso da água de poço ou nascente e elevada densidade populacional é de aproximadamente 14 mil pessoas. Deste total, quase 1.500 pessoas encontram-se nas áreas muito vulneráveis à inundação. O município de Maricá se

destaca por concentrar mais de 5 mil pessoas em setores com exposição à contaminação muito elevada e alta densidade populacional, sendo que destas 16% habitam setores localizados em áreas vulneráveis à inundação, assim como sob forte processo de erosão costeira. Nota-se, no entanto,

que grande parte dos setores, apesar de apresentarem exposição à contaminação elevada ou muito elevada, tem baixa densidade populacional. Tal constatação aponta novamente para uma preocupação relativa ao risco potencial e revela a urgência da gestão das áreas com maior vulnerabilidade, visando à melhoria de condições sanitárias e de infraestruturas em áreas de expansão urbana, assim como a criação de zonas restritas à ocupação.

6. Considerações Finais

Os resultados apresentados demonstraram a importância da avaliação em escala local da vulnerabilidade e riscos da zona costeira, à medida que permitiram discriminar em detalhe as áreas intramunicipais mais vulneráveis à inundação, estimar a população em risco e ainda apontar os impactos potenciais relacionados à contaminação do lençol freático. Acredita-se que o uso dos dados por setores censitários urbanos associados aos dados físicos da paisagem permite retratar de forma muito precisa a atual problemática da vulnerabilidade à inundação que envolve as cidades costeiras. Trata-se, portanto, de uma metodologia eficaz para subsidiar a formulação de políticas urbanas e ambientais. No entanto, as dificuldades encontradas na organização dos dados cartográficos disponíveis pelo IBGE, assim como a ausência de um modelo digital de terreno oficial e em boa resolução, são ainda gargalos que precisam ser resolvidos. Ressalta-se também que o cruzamento de qualquer unidade censitária, por menor que seja, com unidades físico-ambientais, sempre incorpora extrapolações, visto que os dados socioeconômicos não poderão ser representados em recortes diferentes daqueles de sua origem. Buscando resolver este problema, Faber *et al.* (2004) e Lins-de-Barros & Faber (2007) apresentam uma metodologia para estimar o número de habitantes a partir de sensoriamento remoto. Tendo em vista que os resultados ora apresentados fazem parte de uma pesquisa ainda em andamento, pretende-se apresentar em trabalhos futuros a comparação entre estes diferentes métodos de estimativa do número de pessoas, assim como aprimorar a classificação da vulnerabilidade da linha de costa a partir da incorporação de outras variáveis físico-ambientais, da comparação de um número mais expressivo de fotografias aéreas e da modelagem da refração das ondas, que permite um melhor diagnóstico da exposição do litoral. Além disso, as respostas políticas e sociais, tais como a criação de unidades de conservação e o investimento em infraestrutura sanitária, deverão ser incluídas na avaliação dos riscos atuais e potenciais visto que tais repostas influenciam nas condições habitacionais e no crescimento das áreas urbanizadas.

Agradecimentos:

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão da Bolsa de Doutorado do Programa Nota 10 para Flavia Moraes Lins-de-Barros entre o ano de 2008 e 2010, e ao CNPq pela concessão da Bolsa de Produtividade em Pesquisa, vinculada ao projeto “Avaliação da vulnerabilidade e sustentabilidade física e sócio-econômica na Região dos Lagos (RJ), Brasil” (n.º do projeto: 306.870/2006-1).

6. Referências

- Adger W.N., Brooks N., Entham G., Agnew M., Eriksen S. 2004. New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Tyndall Centre for Climate Change Research. Technical Report 7. Final Project Report. 122p. Disponível em: http://www.tyndall.ac.uk/publications/tech_reports/tech_reports.shtml. Acessado em: maio de 2007.
- Center for International Earth Science Information Network – CIESIN Gridded Population of the World. 2005. Disponível em: www.ciesin.columbia.edu/ acessado em: junho de 2008.
- Coe Neto R. 1984. Algumas considerações sobre a origem do sistema lagunar de Araruama. In: Lacerda L.D., Araujo D.S.D. de, Cerqueira R.E., Turcq B. (org.) Restingas: origem, estrutura, processos. Anais do Simpósio sobre Restingas Brasileiras. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 61-63p.
- Faber O.A., Reis R.B., Rocha E.M.F. 2004. Uso do Sensoriamento Remoto para ponderar a distribuição da população no município do Rio de Janeiro. In: VI Congresso Brasileiro de Geógrafos. Anais do VI Congresso Brasileiro de Geógrafos. Goiânia (CD).
- Klein R.J.T. 2003. Coastal Vulnerability, Resilience and Adaptation to climate change: an interdisciplinary perspective. Cumulative Dissertation, p.40. Disponível em: <http://www.pik-potsdam.de/~richardk/part1.pdf>. Acessado em maio / 04.
- Lamego A.R. 1945. Ciclo Evolutivo das Lagunas Fluminenses. Ministério da Agricultura /DNPM / Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, 48p.
- Lins-de-Barros F.M. 2005. Risco e vulnerabilidade à erosão costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 147f.
- Lins-de-Barros F.M. 2010. Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 289f.
- Lins-de-Barros F.M., Faber O.A. 2007. Utilização do sensoriamento remoto para estimativa da população urbana e sua distribuição espacial em ambientes costeiros: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. In: Anais do XVIII Congresso da Associação Brasileira do Quaternário – ABEQUA. CD-ROM.
- IBGE 2000. Censo demográfico 2000. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acessado em janeiro de 2005.
- IPCC 2007. Summary for Policymakers. Disponível em <http://www.ipcc.ch/>. Acessado em setembro de 2007.
- McFadden L. 2007. Vulnerability Analysis: A Useful Concept for Coastal Management? In: McFadden L., Nicholls R., Penning-Rowsell (Ed.). Managing Coastal Vulnerability. Oxford: Elsevier. 15-28p.
- MMA 2007. Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Baía Marítima de Santos. Douglas, F.M. Gherardi; Alexandre, P. Cabral (coordenadores). Brasília: MMA, SMCQ. 116p.
- Muehe D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de

- gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia*, v. 2, n. 1, p. 35-44.
- Muehe D. 1979. Sedimentology and topography of a high energy coastal environment between Rio de Janeiro and Cabo Frio, Brazil. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, 51(3):473-481.
- Muehe D., Corrêa C.H. 1989. Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na restinga da Maçambaba. RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, 19(3):387-392.
- Muehe D., Valentini E. 1998. O Litoral do Estado do Rio de Janeiro: uma caracterização físico-ambiental. (Ed.): FEMAR. Rio de Janeiro, 99 p.
- Muehe D., Lima C.F., Lins-de-Barros F.M. 2006. Rio de Janeiro. In: Ministério do Meio Ambiente, MMA/Brasília. Programa de Geologia e Geofísica Marinha - PGGM (eds). *Erosão e Progradação do litoral brasileiro*. Dieter Muehe (organizador). Brasília, 256-296p.
- Muehe D., Neves C.F. 2008. Vulnerabilidades físicas da orla. In (Org.) Gusmão P.P., Carmo P.S. do, Vianna S.B. *Rio próximos 100 anos: o aquecimento global e a cidade*. p. 59-77.
- Muehe D., Fernandez G.B., Bulhões E.M.R., Azevedo I.F. de. 2010. Avaliação da vulnerabilidade física da orla costeira em nível local tomando como exemplo o arco praial entre Rio das Ostras e o Cabo Búzios – RJ. Submetido para publicação. *Revista Brasileira de Geomorfologia*.
- Neves C.F., Muehe D. 2008. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias Estratégicas*, 27:1-360.
- Tessler M. 2008. Potencial de Risco Natural. In: MMA (ed.) *Macro Diagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. (Ed.) Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 93-120p.

Recebido 04 de maio de 2009

Aceito 20 de maio de 2010