

REGIÃO

METROPOLITANA

DO

Vulnerabilidades
das Megacidades
Brasileiras
às Mudanças
Climáticas:

RIO

DE JANEIRO

DE

RIO



EXPEDIENTE

PROJETO MEGACIDADES,VULNERABILIDADES E MUDANÇAS CLIMÁTICAS Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais CST/INPE Núcleo de Estudos de População da Universidade Estadual de Campinas NEPO/ UNICAMP	COORDENAÇÃO GERAL PROJETO MEGACIDADES, VULNERABILIDADES E MUDANÇAS CLIMÁTICAS Carlos Nobre INPE Daniel Joseph Hogan (in memorian) NEPO / UNICAMP
RELATÓRIO REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro SMAC/PCRJ Instituto Pereira Passos IPP/ PCRJ Fundação GeoRio GeoRio/ PCRJ Companhia Municipal de Limpeza Urbana Comlurb/ PCRJ Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro IGEO/ UFRJ Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro COPPE / UFRJ Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro Poli/ UFRJ Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro IB/UFRJ Faculdade de Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro FAOC/ UERJ Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca da Fundação Instituto Oswaldo Cruz FIOCRUZ	COORDENAÇÃO RELATÓRIO RMRJ Paulo P.de Gusmão LAGET/ IGEO/ UFRJ EQUIPE TÉCNICA Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro Nelson Moreira Franco Gerente de Mudanças Climáticas Secretaria Municipal de Meio Ambiente SMAC/PCRJ Sergio Besserman Vianna Presidente da Câmara Técnica de Desenvolvimento Sustentável/ PCRJ Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos IPP/PCRJ Luiz Roberto Arueira da Silva e Felipe Cerbella Mandarino Fundação GeoRio PCRJ Ricardo D'Orsi Cia.Municipal de Limpeza Urbana COMLURB/PCRJ José Henrique Penido Monteiro Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ Instituto de Geociências IGEO Cláudio A.G. Egler, Paulo P.de Gusmão, Dieter Muehe, André Avelar, Ana Luiza Coelho Neto (Geografia) Claudine P. Dereczynski, Maria Gertrudes A.Justi da Silva, Isimar de Azevedo Santos (Meteorologia) Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia COPPE Paulo C.C.Rosman (Programa de Engenharia Oceânica - PENO), José Paulo Soares de Azevedo (Programa de Engenharia Civil - PEC), Giovannini Luigi (Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente - LIMA), Lázaro Costa Fernandes (Programa de Engenharia Civil - PEC, Doutorando) Escola Politécnica POLI Marcelo Gomes Miguez (Programa de Engenharia Ambiental – PEA, Programa de Engenharia Urbana – PEU), Isaac Volschan Jr (Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) Instituto de Biologia IB Alex Enrich-Prast e Luiz Fernando Jardim Bento (Laboratório de Biogeoquímica, Departamento de Ecologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE José A.Marengo (Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CST) Universidade do Estado do Rio de Janeiro UERJ Mário Luiz Gomes Soares, Paula Maria Moura de Almeida,Viviane Fernandez Cavalcanti, Gustavo Calderucio Duque Estrada, Daniel Medina Corrêa Santos (Núcleo de Estudos em Manguezais) Fundação Instituto Oswaldo Cruz FIOCRUZ Ulisses E.C.Confalonieri (Centro de Pesquisa René Rachou), Diana P.Marinho (Escola Nacional de Saúde Pública) e Martha Barata (Instituto Oswaldo Cruz) PROJETO GRÁFICO Ana Tereza Barrocas IPP/ PCRJ

ÍNDICE

Apresentação **Pág. 4**

Contexto **Pág. 5**

PARTE 1 Impactos sobre o meio físico **Pág. 8**

PARTE 2 Vulnerabilidades dos sistemas naturais **Pág. 15**

PARTE 3 Vulnerabilidades sócio-econômicas **Pág. 22**

Adaptação **Pág. 31**



APRESENTAÇÃO

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e o Estado, de um modo geral, têm sido castigados por eventos de chuvas intensas que geram tragédias e grandes transtornos à população. Os exemplos mais recentes e também mais dramáticos ocorreram em 2010 e 2011.

No início de abril de 2010, a RMRJ foi atingida por sistemas de tempestades associados ao deslocamento de uma frente fria. Os totais pluviométricos atingiram 323 mm em 24 horas, provocando deslizamentos que causaram 167 mortes em Niterói e 66 no Rio de Janeiro, deixando mais de 3 mil desabrigados e 11 mil desalojados. Enchentes, quedas de árvores, problemas de transmissão de energia elétrica e ressacas com ondas de até 5 metros paralisaram a RMRJ.

Em janeiro de 2011, a região serrana do Estado foi devastada por chuvas intensas ocasionadas pela chegada de um sistema frontal. Em apenas 12 horas, foram registrados 222 mm de precipitação. De acordo com o Banco de Dados Internacional de Desastres, com sede na Bélgica, foi o desastre natural mais severo da história do país, com cerca de 900 mortes (em Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim, sendo as duas primeiras as cidades com maior número de vítimas), mais de 9.000 desabrigados e mais de 11.000 desalojados. As fortes chuvas deflagraram avalanches e enchentes que removeram solo, rochas e árvores, gerando um cenário de destruição nos locais afetados.

Não dá para afirmar que as mudanças climáticas desencadeadas pelo aquecimento global são responsáveis por essas tragédias. Eventos extremos sempre ocorreram. Além disso, a ocupação histórica de áreas de risco, aliada à falta de um sistema de alerta de enchentes e de treinamento das populações para lidar com essas situações, oferece um ambiente propenso a tragédias. Mas essas catástrofes dão um vislumbre do que poderemos enfrentar com cada vez maior frequência ao longo do século se nada for feito para diminuir as situações de risco. A análise de séries históricas na capital mostra que as chuvas intensas estão mais frequentes e os totais pluviométricos anuais estão em elevação. Os dias e as noites quentes também estão mais frequentes, ao contrário dos mais frios, o que consiste com um cenário de aquecimento global.

Os modelos climáticos futuros indicam que essa tendência deve se seguir, com o clima no Rio de Janeiro ficando mais quente até o final do século 21. As projeções indicam aumento da maior temperatura máxima anual e da frequência de ocorrência de dias e noites quentes, redução de dias e noites frios e aumento da duração das ondas de calor. Não foram feitas modelagens para as precipitações, mas se espera maior frequência e intensidade nas chuvas.

Como área costeira, a RMRJ é particularmente vulnerável a dois aspectos interligados: a elevação do nível do mar e a ocorrência de eventos extremos, como ventos intensos, ondas de tempestade, chuvas torrenciais e períodos de seca mais prolongados. Combinados, eles podem produzir efeitos devastadores na zona costeira, com impactos sociais, econômicos, de infraestrutura e ecológicos.

Vale lembrar que a inundação é um processo natural e necessário para o funcionamento do sistema fluvial. O que o transforma em calamidade pública são as profundas alterações resultantes da retirada da vegetação ripária, da impermeabilização do solo na área drenada, do assoreamento das calhas dos sistemas de drenagem e do estreitamento deles face à ocupação de suas margens por construções entre o rio e sua planície de inundação.

Além da preocupação com a elevação do nível do mar, a cidade do Rio de Janeiro tem experimentado uma maior vulnerabilidade decorrente das chamadas marés meteorológicas, que provocam aumento do nível do mar e aproximação de grandes ondas e de ressacas, produzidas por ciclones no Atlântico Sul. Este cenário somado a eventos de chuvas extremas causará inundações ainda mais difíceis de escoar. ■

CONTEXTO

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro é a maior aglomeração urbana da costa brasileira, com uma população de cerca de 11,5 milhões de habitantes em 2010. Sua importância na escala nacional também está associada ao seu papel econômico e logístico. O complexo portuário formado pelos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí é fundamental para o comércio exterior brasileiro pela movimentação de minério de ferro e carvão siderúrgico e pelo embarque e desembarque de contêineres e veículos leves de carga. Destaque especial deve também ser dado ao papel dos terminais e dutos situados na orla da Baía de Guanabara que movimentam petróleo, gás natural e derivados.

A RMRJ compreende os municípios de Rio de Janeiro, Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Japeri, Magé, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica, Tanguá e Itaguaí. O presente trabalho considerou também o município de Mangaratiba porque, além de ele assim constar da delimitação usada pelo IBGE em pesquisas demográficas e econômicas, seu território está sendo afetado pela expansão metropolitana na orla da Baía de Sepetiba, um dos vetores dinâmicos mais importantes da RMRJ. Trata-se de um “município-fronteira”, objeto de disputa entre a expansão urbano-industrial-portuária e as atividades de turismo e pesca historicamente associadas ao patrimônio natural que ainda abriga.

Para analisar as vulnerabilidades da RMRJ, é preciso considerar os cenários de elevação do nível do mar. Os valores modelados na escala global são controversos na própria comunidade científica, variando entre aumentos modestos, em torno de 20 cm, como no cenário otimista do 4º relatório de avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), de 2007, até valores superiores a 1 metro, considerando o comportamento não linear do degelo das calotas polares, segundo estudo de Tad Pfeffer e colegas publicado na revista *Science*, em 2008. Esses cená-

rios demandam cuidado, porque se há incertezas em relação a eles, maiores ainda são as incertezas sobre a dimensão e *timing* dos efeitos e impactos que podem gerar.

Na falta de bases de dados e diante de uma cartografia de baixa resolução, consideramos as chamadas zonas costeiras de baixa elevação (LECZ, na sigla em inglês) como as de maior vulnerabilidade, tanto à própria elevação do nível dos oceanos, quanto à ocorrência de eventos extremos, principalmente inundações.

Essas áreas correspondem principalmente às planícies de inundação dos rios que deságuam nas baías da Guanabara e Sepetiba e ao entorno das lagoas costeiras das baixadas de Jacarepaguá e de Maricá (veja mapa 5 na pág. 14). São locais que foram profundamente alterados por obras de canalização e drenagem desde a primeira metade do século 20. Suas margens são altamente urbanizadas e servem para o esgotamento de resíduos urbanos lançados nos rios sem tratamento. Alterações no sistema rio-planície de inundação combinadas com a elevação do nível do mar e a possibilidade de chuvas torrenciais nas encostas da Serra do Mar conferem a essas áreas um elevado grau de vulnerabilidade às mudanças climáticas, principalmente considerando sua elevada densidade demográfica e produtiva.

DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL

Segundo os resultados do censo de 2010, 75% dos habitantes do Estado vivem na RMRJ. Entre 2000 e 2010, a velocidade do crescimento dos municípios não-metropolitanos foi superior à apresentada pela RMRJ pela primeira vez desde 1940, apontando para a emergência de um novo padrão demográfico no Estado.

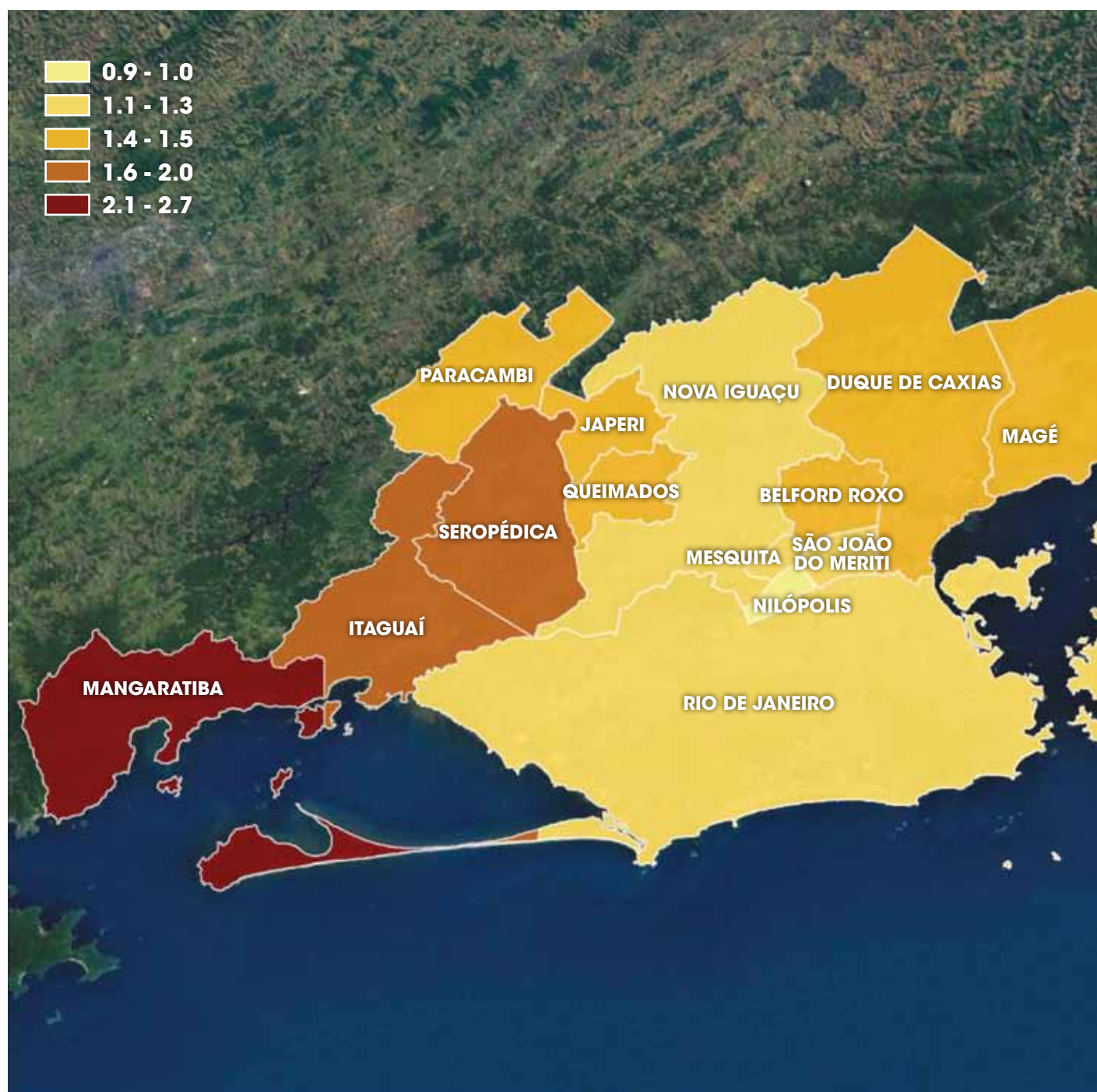
Há uma redistribuição espacial da população, destacando-se o crescimento em algumas áreas da capital, como a zona oeste, a região da Barra da Tijuca e Jacarepaguá, a estabilização na zona suburbana e uma redução na população residente nas zonas central, sul e norte. ➡

E apesar de municípios da borda da RMRJ apresentarem taxas de crescimento mais aceleradas, como Itaguaí ou Maricá, a população continua se expandindo nos municípios do entorno da Baía de Guanabara, como Duque de Caxias, Nova Iguaçu

e São Gonçalo. Essas áreas se tornam especialmente vulneráveis por conta da carência de serviços coletivos, principalmente saneamento básico, oferecidos à população.

Entre 1990 e 2010, a baixada de Sepetiba (zona oeste do município do Rio de Janeiro, Itaguaí, Seropédica, Japeri, Queimados e a porção de Nova Iguaçu que drena para Sepetiba) foi a principal área de incorporação de novas terras ao tecido metropolitano. Também é relevante a expansão na orla oriental da Baía de Guanabara, onde estão sendo

MAPA 1: TAXA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL 1991-2010 DOS MUNICÍPIOS DA RMRJ
FONTE: IBGE



abertos loteamentos em Magé, Guapimirim, Itaboraí e São Gonçalo em áreas com risco de inundações.

Parte significativa dessa expansão é estimulada pela implantação do Arco Rodoviário Metropolitano, que interliga a orla oriental da Baía da Guanabara, onde está sendo implantado o Comperj (Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro), o entorno da Reduc (refinaria de Duque de Caxias), onde é grande a concentração da indústria petroquímica e gás-química, o porto de Itaguaí e as grandes implantações minero-

-siderúrgicas da Baía de Sepetiba.

Essa infraestrutura pesada nas vizinhanças de LECZ reforça as tendências de litoralização da economia fluminense e estimula a expansão metropolitana para zonas de maior vulnerabilidade à elevação do nível do mar e à ocorrência de eventos climáticos extremos, assim como à combinação desses efeitos.

Há também uma série de investimentos em curso, como projetos dos PACs 1 e 2, programas como Minha Casa Minha Vida e Morar Carioca e implantação/ampliação das redes de drenagem e esgotamento sanitário na zona oeste e na Baixada de Jacarepaguá, no Rio de Janeiro. É preciso avaliar se esses investimentos estão considerando as hipóteses associadas às mudanças climáticas e desde já iniciar um processo contínuo e sistemático de monitoramento das condições oceânicas e meteorológicas na busca de medidas de adaptação pró-ativa e mitigação dos seus impactos.

Alguns municípios, que já podem se encontrar em condições bastante precárias em termos de infraestrutura e serviços, tenderão a experimentar mais dificuldades que outros para promover a adaptação às mudanças climáticas. Dependendo das novas pressões que recebam em consequência da elevação do nível do mar combinada aos eventos climáticos extremos, é admissível uma evolução cada vez mais desequilibrada da equação pressões x capacidade de resposta.

Atenção especial para os municípios localizados na parte leste da bacia da Baía de Guanabara já que eles combinam, simultaneamente: áreas significativas situadas na zona de risco de alagamentos (abaixo de 10 m em relação ao nível médio atual do mar); taxas de crescimento econômico e populacional acima da média dos municípios metropolitanos; e o fato de abrigar o maior investimento realizado na RMRJ (o Comperj, que tem um orçamento da ordem de US\$ 8,7 bilhões). ■



PARTE 1

IMPACTOS
SOBRE O MEIO
FÍSICO

O aquecimento global pode mudar o clima da RMRJ, promovendo impactos na orla e redefinindo a linha da costa. A expectativa é que a região se torne mais quente e úmida até o final do século. As praias podem perder areia e as zonas costeiras de baixa elevação podem sofrer ainda mais com inundações.

MUDANÇAS NO CLIMA

A partir da análise de séries históricas de variáveis meteorológicas das estações Alto da Boa Vista (de janeiro de 1967 a dezembro de 2007) e Santa Cruz (de janeiro de 1964 a dezembro de 2009) do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), pudemos observar como já vem mudando o clima do Rio

Mesmo sendo apenas duas estações, como elas estão localizadas em ambientes distintos, foi possível comparar condições urbanas extremas: um ambiente florestado, com menor expansão e adensamento urbano (Alto da Boa Vista); e uma área de alto crescimento da malha urbana (Santa Cruz, na zona oeste). Com os dados diários, indicadores de extremos climáticos associados com precipitação e com as temperaturas máxima e mínima do ar foram calculados com o programa RClimDex, desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Canadense.

Pelas análises, percebe-se que o clima no município do Rio de Janeiro está se tornando mais úmido, principalmente na região florestada. Os totais pluviométricos anuais estão em elevação (7,8 mm/ano no Alto da Boa Vista e 2,5 mm/ano em Santa Cruz), assim como o número de dias com precipitação maior ou igual a 30 mm e 50 mm tem ocorrido com maior frequência. As tendências na precipitação são mais marcantes no Alto da Boa Vista do que em Santa Cruz. Essa diferença pode estar associada tanto com uma mudança na circulação em escala sinótica, quanto com a circulação local devido

ao efeito de ilha de calor urbana. O aquecimento extra gerado pela ilha de calor no Rio de Janeiro possivelmente altera a direção e intensidade das brisas marítima e terrestre, que por sua vez podem alterar os padrões de transporte de umidade no município.

Com relação à temperatura do ar, as análises mostram que o clima está se tornando mais quente na capital fluminense e provavelmente também na RMRJ. O número de dias no ano em que a temperatura máxima é superior a 25 °C exibe forte elevação no Alto da Boa Vista, com aumento de 1,5 dia/ano, enquanto os dias mais frios estão menos frequentes. Já o índice que mostra o número de dias no ano quando a temperatura mínima é superior a 20 °C exibe tendência de elevação, com elevação de 0,9 dia/ano para a estação de Santa Cruz, mas não para a estação do Alto da Boa Vista, enquanto as noites

frias estão em declínio. Uma explicação para as alterações mais pronunciadas na temperatura mínima em Santa Cruz poderia ser pelo fato de a região urbana ser mais fortemente influenciada pelo efeito da ilha de calor urbano. Outro indicador mostra que as ondas de calor, ou seja, os períodos com temperatura máxima elevada, estão se tornando mais longos.

De forma geral, no município do Rio de Janeiro as chuvas intensas estão mais frequentes e os totais pluviométricos anuais estão em elevação. Há mais dias e noites quentes, enquanto os dias e noites frios estão ocorrendo em menor frequência, o que consiste com um cenário de aquecimento global. A tabela 1 (ao lado) apresenta um sumário das tendências observadas para os indicadores de extremos climáticos relacionados a chuva, temperatura máxima e temperatura mínima.

Projeções das mudanças climáticas futuras

As projeções das mudanças climáticas futuras para o Rio de Janeiro foram analisadas com o Modelo Regional Eta/CPTEC, que tem sido usado no INPE para realizar previsões de tempo e climáticas sazonais desde 1996. A versão climática foi adaptada para realizar integrações em escalas decadais, com foco nos cenários de mudanças climáticas relacionadas com diferentes níveis de concentração de CO₂.

Para estudos do clima presente (1961-1990) considerou-se a concentração do CO₂ igual a 330 ppm e para o clima futuro (2011-2099) foi considerado o cenário A1B de emissões de CO₂ do Special Report on Emissions Scenarios (SRES) do IPCC. Apesar dos elevados níveis atuais de CO₂ (391,76 ppm em fevereiro de 2011), no cenário A1B a concentração do gás inicia com 371 ppm em 2011, sobe para 413 ppm até 2040, para 525 ppm até 2070 e finalmente para 680 ppm até 2100.

Infelizmente, a maior parte dos indicadores climáticos associados à precipitação não é representada adequadamente pelo modelo Eta no clima presente. Assim, apenas as tendências futuras relacionadas com a temperatura do ar (máxima e mínima) serão apresentadas.

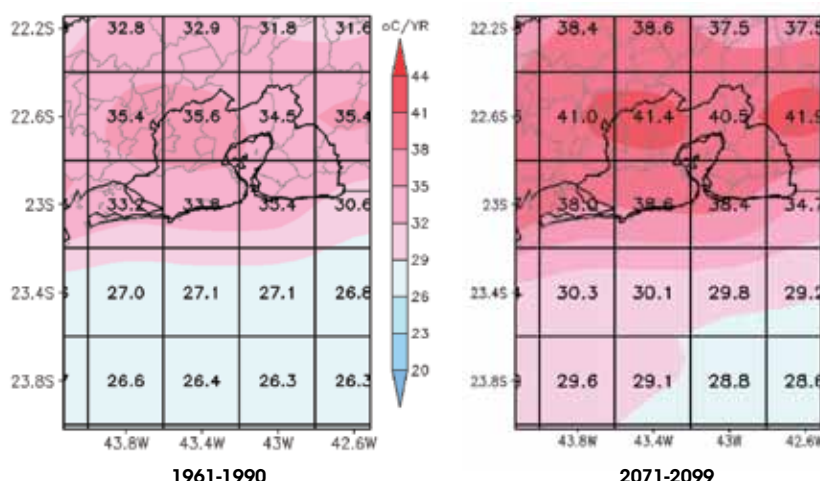
O índice de maior temperatura máxima diária começa com 33,8 °C no período de 1961-1990, passa para 35,5 °C no período 2011-2040, para 37 °C em 2041-2070, chegando a 38,6 °C em 2071-2099. Isso significa um aumento da temperatura máxima de 4,8°C até o final do século 21. Os mapas 2 e 3 na página seguinte mostram um padrão diferenciado para a área continental e a marítima, com maiores valores de temperatura máxima nas áreas continentais, contudo se elevando até o final do século para toda a região apresentada. ➡

TABELA 1: TENDÊNCIAS OBSERVADAS DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS A PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÁXIMA E TEMPERATURA MÍNIMA DO AR NO ALTO DA BOA VISTA E EM SANTA CRUZ

Indicador	Alto da Boa Vista	Santa Cruz
CHUVA TOTAL NO ANO	➡ +7,6 mm/ano	➡ +2,5 mm/ano
DIAS MUITO ÚMIDOS	➡ +11,8 mm/ano	Sem tendência
DIAS EXTREMAMENTE ÚMIDOS	➡ +3,4 mm/ano	Sem tendência
INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO	➡ +0,07 (mm/dia)/ano	➡ +0,01 (mm/dia)/ano
DIAS C/ PRECIP. >= 30 MM	➡ +0,07 mm/ano	➡ +0,03 mm/ano
DIAS C/ PRECIP. >= 50 MM	➡ +0,1 mm/ano	Sem tendência
PRECIP. MÁXIMA EM 1 DIA	➡ +1,0 mm/ano	➡ -0,9 mm/ano
PRECIP. MÁXIMA EM 5 DIAS	➡ +1,5 mm/ano	➡ -0,5 mm/ano
DIAS SECOS CONSECUTIVOS	Sem tendência	Sem tendência
DIAS ÚMIDOS CONSECUTIVOS	Sem tendência	Sem tendência
Nº DIAS TEMP. MÁXIMA É > 25 °C	➡ +1,5 dia/ano	➡ +0,4 dia/ano
DIAS QUENTES	➡ +1,5% dia/ano	➡ +1,5% dia/ano
DIAS FRIOS	➡ +0,2% dia/ano	➡ +0,1% dia/ano
MAIOR TEMP. MÁX. DIÁRIA	➡ +0,01°C /ano	➡ +0,01°C /ano
DURAÇÃO DE ONDAS DE CALOR	➡ +0,19 dia/ano	➡ +0,04 dia/ano
DIAS NO ANO TEMP. MIN. > 20 °C	➡ +0,9 dia/ano	➡ +0,3 dia/ano
NOITES QUENTES	➡ +0,03 dia/ano	➡ +0,17 dia/ano
NOITES FRIAS	➡ -0,03% dia/ano	➡ -0,06% dia/ano

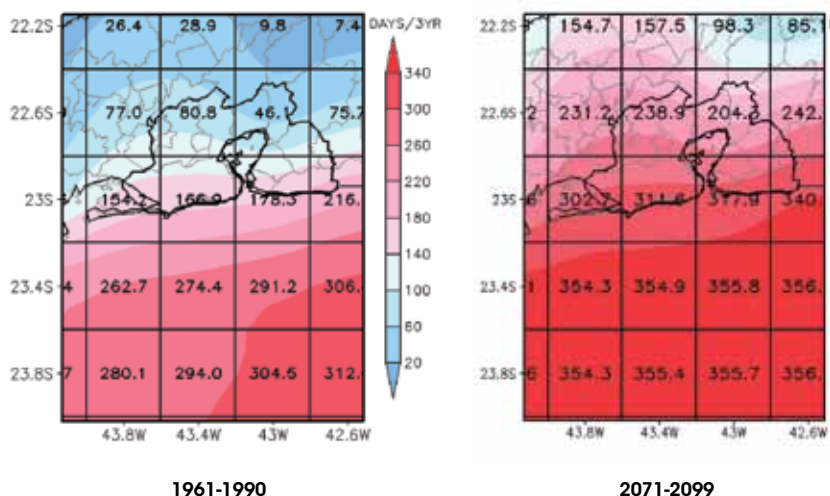
Em relação à temperatura mínima (número de dias no ano com mínima superior a 20 °C), o modelo aponta 166,9 dias ao ano no clima presente; 237,6 dias em 2011-2040; 276,7 dias em 2041-2070 e finalmente 311,6 dias em 2071-2099. Isso representa um aumento de quase 87% em relação ao clima presente. Como esperado, os valores são maiores sobre o oceano do que sobre o continente. Por outro lado, o aquecimento até o final do século é menor sobre os oceanos devido a sua maior capacidade térmica.

MAPA 2: VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE MAIOR TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA



As projeções indicam que o número de dias no ano com temperatura máxima superior a 25 °C poderá se elevar a uma taxa de 1 dia/ano até o final do século. A porcentagem de dias quentes no ano apresenta tendência de aumento, com taxa de 0,19%/dia/ano. A porcentagem de dias frios apresenta-se em declínio a uma taxa de -0,08%/dia/ano. A maior temperatura máxima anual também poderá aumentar até o final do século a uma taxa de 0,04 °C/ano.

MAPA 3: VARIAÇÃO DE DIAS NO ANO COM TEMPERATURA MÍNIMA SUPERIOR A 20 °C



As ondas de calor, ou seja, o número de dias consecutivos no ano com temperaturas máximas acima do percentil 90, também exibem forte tendência de elevação, em torno de 0,24 dia/ano. Os índices relacionados com a temperatura mínima indicam: provável aumento das noites tropicais com temperatura mínima superior a 20 °C, a uma taxa de 1,33%/dia/ano; aumento da frequência de ocorrência de noites quentes a uma taxa de 0,28%/dia/ano e redução na frequência de ocorrência de noites frias a uma taxa de -0,09%/dia/ano.

Conclui-se que o clima no Rio de Janeiro deverá ficar mais quente até o final do século 21, seguindo o padrão já observado no clima presente. Projeta-se aumento da maior temperatura máxima anual, da ocorrência de dias e noites quentes e da duração das ondas de calor e redução na ocorrência de dias e noites frios.

IMPACTOS NA ORLA COSTEIRA

A vulnerabilidade física da zona costeira da capital e da RMRJ a uma elevação do nível do mar se caracteriza, em geral, pelos riscos de erosão e de inundação intensificados pela recorrência de ressacas, ventos fortes e chuvas intensas.

Os principais efeitos esperados com as mudanças climáticas em zonas costeiras são a elevação do nível médio do mar (NMM); aumento de extremos climáticos (períodos de secas mais prolongados e eventos de tempestades com mais ventos e chuvas mais fortes) e possível mudança na direção de propagação das ondas devido a alterações

na circulação atmosférica, semelhante ao que já acontece com o El Niño. Esses efeitos ocorrem em sinergia, gerando consequências cumulativas.

Consequências da elevação do nível médio do mar¹

- ▶ T-Tendência de translação das praias e cordões de dunas em direção a terra.
- ▶ Praias limitadas por muros, calçadões, avenidas e outras construções ficam impedidas de se ajustar por meio de retrogradação (reco da barreira arenosa) e tenderão a perder areia, com risco de as ondas atingirem diretamente as benfeitorias públicas.
- ▶ Recuo das linhas de orla em regiões de baixadas de lagoas costeiras e baías, em função da subida do nível médio relativo do mar que, nestes locais, é provável que seja superior à média, visto que se trata de regiões sedimentares geologicamente recentes, cujos terrenos tendem a sofrer subsidências.
- ▶ Problemas de macrodrenagem em águas interiores, especialmente em zonas urbanas situadas em baixadas de baías e lagoas costeiras, aumentando a tendência de alagamentos. Com a subida do nível médio



relativo, reduzem-se os desníveis e a velocidade dos escoamentos, por consequência.

- ▶ Aumento da profundidade média de lagoas costeiras e baías. Isso representa um efeito de rejuvenescimento, em contraposição ao envelhecimento representado pelo assoreamento.
- ▶ Aumento da intrusão salina em zonas estuarinas levando ao aumento ou à diminuição de manguezais; mais para montante, potencial problema de captação de água salobra em locais que hoje captam água doce.

Consequências do aumento de extremos climáticos²

- ▶ Com tempestades mais intensas no mar, as ondas ficam mais altas e as marés meteorológicas mais elevadas. Portanto, onde houver ruas e avenidas após a praia haverá sérios problemas de erosão e possível destruição de muros, ruas e avenidas devido à diminuição das faixas de areia.
- ▶ Mais secas causam diminuição da vazão dos rios. Este efeito associado à subida do nível médio relativo do mar e eventualmente somado a efeitos de marés meteorológicas mais altas tende a aumentar a intrusão salina em regiões estuarinas, causando incremento de manguezais e potencial problema de captação de água salobra em locais que hoje captam água doce.
- ▶ Frequentemente marés meteorológicas estão associadas às passagens de frentes frias, que por vezes trazem chuvas intensas. A soma dessas situações com os efeitos de subida do nível médio relativo do mar irá ocasionar sérios problemas de macrodrenagem em zonas urbanas situadas em baixadas de baías e lagoas costeiras, com alagamentos e inundações crescentes.

Consequências das mudanças no clima de ondas³

- ▶ Tendência de realinhamento de linhas de praia em busca de novos arcos de equilíbrio diante das novas direções dominantes de propagação das ondas que atingem a praia.
- ▶ Por se tratarem de efeitos persistentes, esse novo alinhamento poderá trazer sérios problemas em arcos de praia em zonas urbanas, como as praias oceânicas do Rio de Janeiro, Niterói e adjacências. ➡

¹ OS AS ESTIMATIVAS ATUAIS PARA A TAXA MÉDIA DE SUBIDA DO NÍVEL DO MAR, EM TERMOS GLOBAIS, SÃO DA ORDEM DE 0,5 M EM RELAÇÃO AO NMM ATUAL ATÉ O FINAL DO SÉCULO. MAS PARA AÇÕES DE ENGENHARIA, É IMPORTANTE CONSIDERAR A VARIAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO RELATIVO DO MAR, QUE RESULTA DA SOMA DAS TAXAS DE VARIAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR E DE VARIAÇÃO DO NÍVEL DO TERRENO. POR EXEMPLO, EM UMA REGIÃO ESTIVER COM ABAIXAMENTO DO TERRENO NA TAXA DE 0,5 CM/ANO, A TAXA DE SUBIDA DO NÍVEL MÉDIO RELATIVO DO MAR NA REGIÃO SERIA DE 1,0 CM/ANO.

² SECAS MAIS LONGAS E OCORRÊNCIAS DE CHUVAS DE TEMPESTADE MAIS INTENSAS E FREQUENTES.

³ ALTERAÇÃO DAS ESTATÍSTICAS PERTINENTES À DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO, AO PERÍODO E À ALTURA DAS ONDAS INCIDENTES.

Essas alterações são particularmente importantes por afetarem diretamente o alinhamento natural das praias – formações sedimentares muito dinâmicas que continuamente se realinham de acordo com o clima de ondas que as atinge. Conforme as praias ao longo de um arco (por exemplo, Arpoador-Ipanema-Leblon) são atingidas por ondas típicas de bom tempo ou por ondas de ressacas, a areia vai sendo transportada de um lado para o outro, de modo que às vezes uma ponta fica com mais sedimento do que outra, e vice-versa. Ao longo dos anos, porém, tende a haver um equilíbrio nesse volume transportado.

Veja por outra, no entanto, fenômenos naturais causam um forte desequilíbrio, como em anos de El Niño forte, quando a circulação atmosférica alterada muda os ventos e o clima de ondas. Ainda no exemplo da praia do Arpoador-Ipanema-Leblon, nessas ocasiões o balanço do transporte de sedimentos se desequilibra, levando a um grande acúmulo no Leblon e déficit no Arpoador. Com as mudanças climáticas, espera-se que efeitos assim tornem-se persistentes.

As consequências podem ser graves, visto que as praias são as melhores estruturas para proteção do litoral. Tanto a turbulência na arrebentação das ondas, causada pelas profundidades decrescentes em direção ao litoral, quanto a existência de grande quantidade de areia para ser transportada pelas correntes, são muito eficientes para dissipar a energia das ondas de uma ressaca. Isso acaba se o estoque de areia for limitado, e as ondas começarem a atingir estruturas na retro-praia.

Ações de engenharia para prevenção e remediação

Basicamente dois grupos de intervenções de engenharia são primordiais para prevenir, mitigar e remediar as consequências das mudanças climáticas em zonas costeiras urbanizadas:

- ▶ Em praias oceânicas em áreas urbanas ou com estruturas na retro-praia, a melhor solução é aumentar o estoque de areia – fazer o engordamento

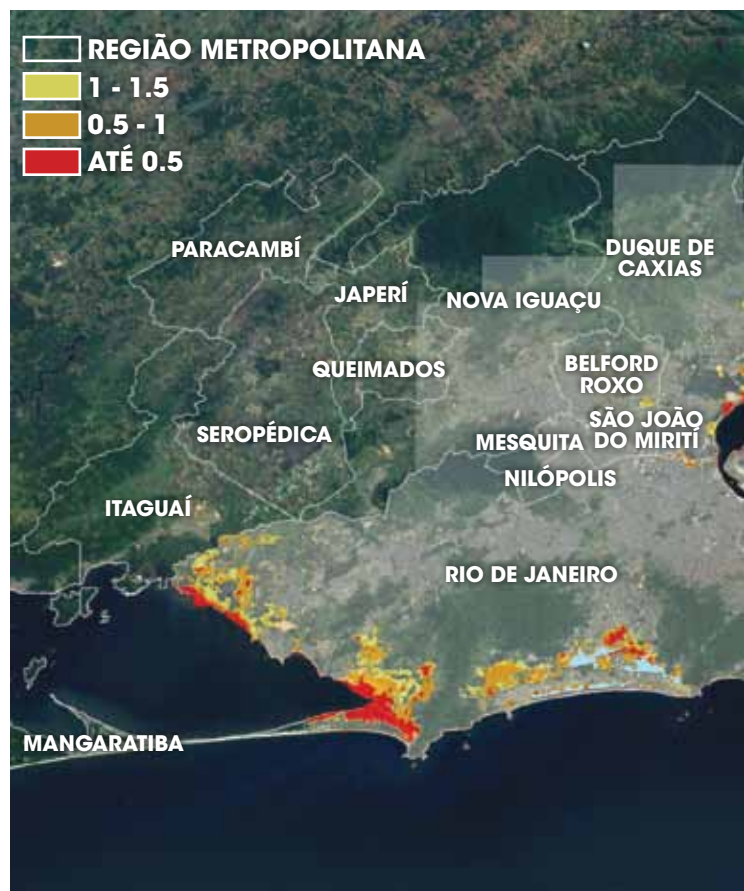
da praia. Se nada for feito, as consequências de elevação do NMM, em sinergia com as ressacas e marés meteorológicas mais intensas (que tendem a reduzir ainda mais o estoque de areia), acarretará em episódios de destruição de calçadas e avenidas de forma crescente, chegando a inviabilizar áreas residenciais em frente às praias.

- ▶ Em praias com urbanização leve, provavelmente será mais econômico retroceder as benfeitorias públicas, como estradas, do que engordar as praias. Já em zonas costeiras que vierem a ser urbanizadas no futuro, é imperativo respeitar uma maior distância em relação à linha de orla e, em nenhuma hipótese, ocupar ou aprisionar a primeira linha de dunas sob avenidas ou calçadas. Basicamente, este é o erro em quase todas as cidades costeiras. Nas praias do município do Rio de Janeiro, avenidas e calçadas foram construídas desse modo, retirando a areia das dunas do estoque estratégico para proteção da praia e do litoral.

- ▶ Ações em áreas rebaixadas de baías e sistemas lagunares. Essas são as intervenções mais complexas social e politicamente, por envolverem a transferência das pessoas para outras áreas e o desmanche

da urbanização nas áreas de depressões naturais, mais vulneráveis a alagamentos ou que passarão a ter crescentes problemas de inundação. Na sequência, as áreas desocupadas devem ser rapidamente transformadas em parques ou áreas de recreação para uso da população. O objetivo vai além do lazer. Em situações de marés altas e chuvas intensas, essas áreas funcionariam como

MAPA 4: ÁREAS VULNERÁVEIS A REDEFINIÇÃO DA LINHA DE COSTA PELA ELEVÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR



zonas estratégicas de amortecimento e acumulação de água (potenciais piscinões naturais), de modo a mitigar efeitos que de outra forma ocorreriam mais intensamente em áreas vizinhas.

Para as regiões propensas a alagamentos crescentes, mas em que é muito difícil transferir a população e desfazer a urbanização, a sugestão é que se projetem sistemas de diques e comportas. Mas a alternativa deve ser restrita a casos excepcionais, uma vez que envolve alto custo e dificuldades operacionais.

Para lidar melhor com as regiões mais vulneráveis a alagamentos e inundações, é importante fazer sua demarcação precisa, com levantamentos topográficos com altimetria detalhada, pelo menos entre as cotas do NMM e de 2,5m acima. Nesta faixa, as linhas de nível devem ser definidas no mínimo a cada 0,5m.

Nessas regiões, também há que se considerar o potencial problema de captação de água salobra, decorrente da maior intrusão salina devido à subida persistente do NMM e na sinergia com as marés meteorológicas, para o qual deve-se prever a realocação dos pontos de captação.

REDEFINIÇÃO DA LINHA DE COSTA

Mapeamento feito pelo Instituto Pereira Passos projetou como será redefinida a linha de costa no município do Rio de Janeiro e de toda a orla da Baía de Guanabara a partir de três diferentes cenários de elevação do NMM (0,5 metro, 1 m e 1,5 m). Foram avaliadas apenas as áreas com base cartográfica disponível e de qualidade satisfatória com escala de no mínimo 1:10.000

Também foram mapeadas as LECZ, definidas

como áreas contíguas à linha de costa que tenham altitude menor do que 10 metros acima do nível do mar em toda RMRJ.

O mapa 4 (abaixo) mostra as possíveis consequências da elevação do NMM para a linha de costa da RMRJ. É possível notar que três áreas se destacam como mais vulneráveis a alterações: o litoral do município do Rio de Janeiro voltado para a Baía de Sepetiba; a Baixada e o Sistema Lagunar de Jacarepaguá, também no município do Rio; e a porção nordeste da linha de costa da Baía de Guanabara, onde se localiza a APA (Área de Proteção Ambiental) de Guapimirim,

conhecida por sua extensa vegetação de mangue.

Nos três cenários, Rio de Janeiro, São Gonçalo e Guapimirim aparecem como os municípios mais afetados. No cenário mais pessimista, o Rio pode ter mais de 10% de sua área total atingida, São Gonçalo, 8%, e Guapimirim, 6%.

O caso que pode ser considerado o mais crítico na capital é o da Baixada de Jacarepaguá, onde o sistema lagunar de mesmo nome pode ver seu espelho d'água se expandir e atingir muitas áreas ocupadas que estão em sua faixa marginal, como o bairro do Itanhangá, a comunidade de Rio das Pedras e as áreas já inundáveis da região das Vargens. Também na capital, seriam afetadas áreas adjacentes à Baía de Sepetiba, compostas, ao sul, por vegetação preservada de man- ➔

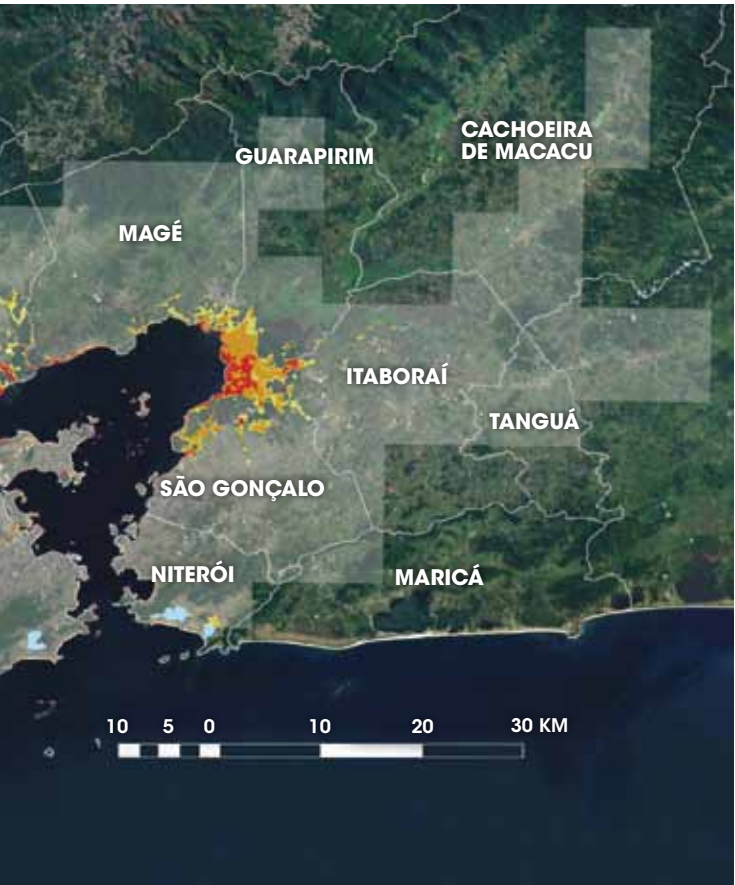


TABELA 2: ÁREA ATINGIDA POR MUNICÍPIO PARA CADA CENÁRIO DE ELEVÇÃO DO NMM E QUANTO ISSO REPRESENTA DE SUA ÁREA TOTAL

MUNICÍPIOS	ÁREA ATINGIDA ACUMULADA (KM²)			ÁREA ATINGIDA RELATIVA (%) ATÉ 1,5M
	ATÉ 0,5M	ATÉ 1,0M	ATÉ 1,5M	
BELFORT ROOX	0,0005	0,37	0,72	0,9%
DUQUE DE CAXIAS	2,01	3,38	10,50	2,2%
GUAPIMIRIM	2,48	14,73	21,37	5,9%
ITABORAÍ	3,36	10,52	15,33	3,6%
MAGÉ	0,84	3,09	8,63	2,2%
NITERÓI	0,29	0,80	1,98	1,5%
RIO DE JANEIRO	29,66	83,02	124,67	10,3%
SÃO GONÇALO	3,17	12,77	20,27	8,1%
S. JOÃO DE MERITI	0,00	0,0029	0,03	0,1%

gue e de restinga, que são protegidas por unidades de conservação (Reserva Biológica e Arqueológica de Guaratiba e APA da Orla da Baía de Sepetiba).

Fora do município sede metropolitano, a região que mais se destaca no mapeamento é a dos manguezais de Guapimirim, abrangendo os municípios de Guapimirim, São Gonçalo, Itaboraí e Magé. Parte desta área tem algumas semelhanças com Guaratiba, como o fato de ser protegida por uma unidade de conservação (APA de Guapimirim). Mas algumas áreas de Magé e São Gonçalo apresentam ocupação, gerando potenciais impactos na população local.

Quanto às LECZ, os novos cálculos mostraram que elas representam 18% da área da RMRJ, ou seja, 1202 km² se enquadram nessa categoria. Em todo o mundo, quase dois terços dos assentamentos urbanos com mais de 5 milhões de pessoas estão total ou parcialmente inseridos em LECZ. Estimativa para o ano 2000 era de que essas zonas ocupariam 2% da superfície terrestre e conteriam 10% da população mundial. Assentamentos urbanos localizados nessas regiões configuram um cenário de risco.

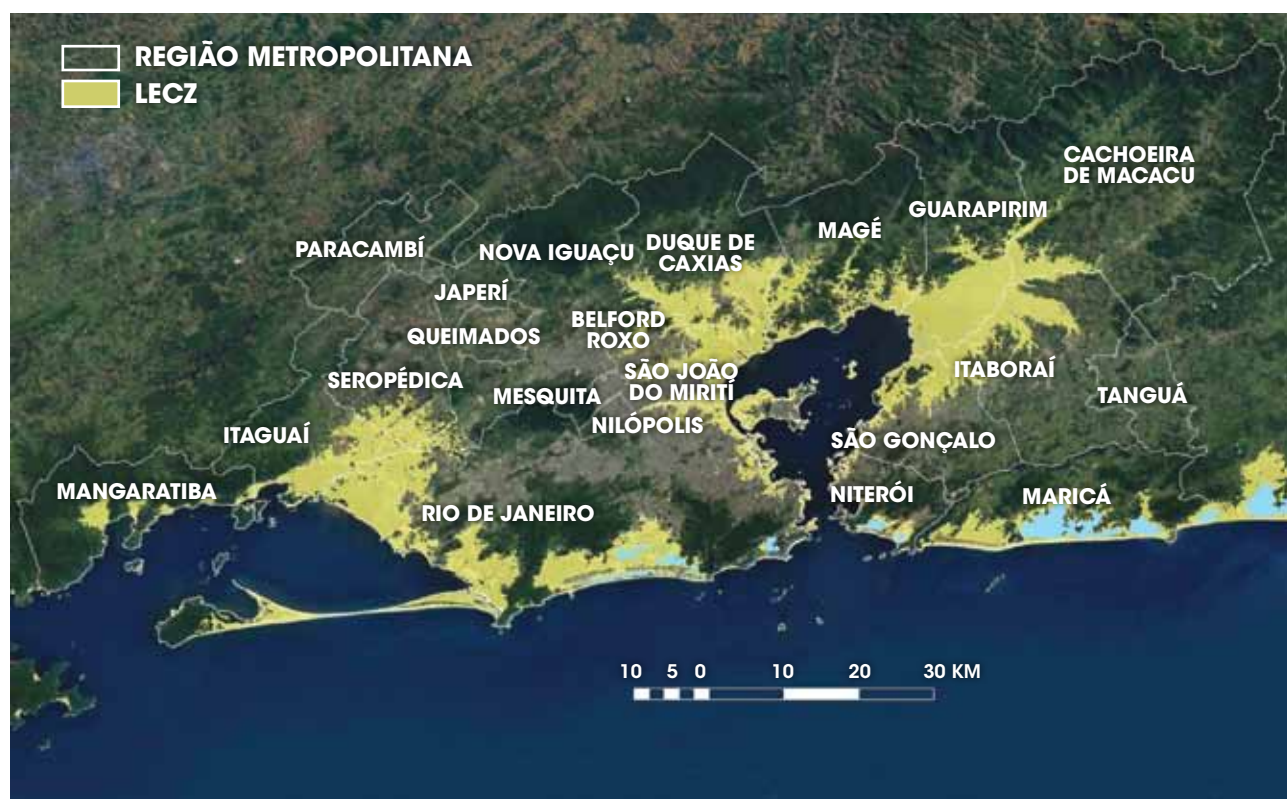
Neste mapeamento mais abrangente, destacam-se como áreas vulneráveis o município de Maricá, princi-

palmente em sua parte sudoeste, a região oceânica de Niterói, a porção sul dos municípios de Seropédica e Itaguaí e algumas baixadas confinadas pela Serra do Mar em Mangaratiba, além das regiões de Caju, Maré, Ilha do Fundão e Ilha do Governador no município do Rio. No noroeste da Baía de Guanabara, as obras das futuras instalações do Comperj também têm parte de sua área inserida nas LECZs.

É importante considerar esses dados diante das taxas de crescimento populacional, como mostrado no mapa 1 (págs. 6 e 7).

As altas taxas de crescimento populacional dos municípios de Maricá e Mangaratiba chamam a atenção, visto que os dois locais apresentam extensas áreas vulneráveis, de acordo com o mapeamento das LECZ. Itaboraí também merece destaque, já que seu relevante crescimento populacional deve se intensificar com as obras e a entrada em operação do Comperj. Por situação semelhante passam Itaguaí e a região do Distrito Industrial de Santa Cruz, na capital, que são alvo de grandes investimentos e passam por crescimento populacional, em uma área costeira com uso portuário que os dois mapeamentos destacam como vulnerável. ■

MAPA 5: ZONAS COSTEIRAS DE BAIXA ELEVÇÃO (LECZ) NA RMRJ
FONTE DOS DADOS BÁSICOS: IMAGENS SRTM



VULNERABILIDADES DOS SISTEMAS NATURAIS

A biodiversidade da Mata Atlântica, os manguezais e as lagoas do Rio de Janeiro já estão bastante impactados por atividades antrópicas. Com as mudanças climáticas, aumenta o risco de extinção de espécies, os mangues têm sua integridade ambiental ameaçada e as lagoas podem sofrer com o aumento do nível do mar.

IMPACTOS NA BIODIVERSIDADE

A RMRJ está inserida em um dos setores do bioma Mata Atlântica mais ricos em biodiversidade, o que se deve, em grande parte, à variedade de paisagens naturais que ocorrem desde o nível do mar até as maiores elevações (cerca de 2.000 m) da serra dos Órgãos, a norte. A conservação dessa diversidade já vem sendo severamente afetada por atividades antrópicas diversas, o que reflete no crescente número de espécies da fauna e flora vulneráveis ou criticamente ameaçadas de extinção. E os impactos das mudanças climáticas devem aumentar as chances de extinção, particularmente de espécies com reduzida ou ausente capacidade de locomoção, associadas a espaços geográficos muito restritos e particulares ou incapazes de efetuar ajustamentos fisiológicos aos novos padrões climáticos.

O conhecimento acumulado, até o momento, sobre os impactos das mudanças climáticas na biodiversidade brasileira é bastante limitado, a despeito de o país deter a maior biodiversidade do planeta. Restringe-se a apontamentos gerais sobre os efeitos nos principais biomas, para os

quais são indicados cenários de perda de espécies da fauna e flora em níveis sem precedentes, ainda para este século.

Na RMRJ, o aumento da frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos e alterações na temperatura e precipitação promoverão a perda de habitats e alterações na composição geral das espécies. Nos ecossistemas terrestres, as áreas mais afeta-

das serão as encostas das serras e dos maciços litorâneos, onde são observados os remanescentes de vegetação nativa mais significativos, em extensão e qualidade. Modelagem feita por Alexandre F. Colombo, da Unicamp, em 2007, com 38 espécies de árvores da Mata Atlântica, projetou uma redução de área de ocorrência de 25%, no cenário otimista, e de 50%, no pessimista⁴, para o conjunto das espécies.

Há, também, claras evidências de que nas latitudes mais quen- ➔

4 PARA O CENÁRIO OTIMISTA, FOI PREVISTO UM AUMENTO ANUAL DE 0,5% NA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ E AUMENTO MÉDIO DA TEMPERATURA DE ATÉ 2 °C. NO CENÁRIO PESSIMISTA, O AUMENTO MÉDIO NA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO SERIA DE 1%, COM ELEVÇÃO DE 4 °C NA TEMPERATURA ATÉ 2050 (COLOMBO, 2007).

tes as florestas tropicais de altitude poderão se tornar mais secas e serem invadidas por espécies de altitudes mais baixas, conforme sugere o artigo publicado por J. Alan Pounds e colegas na revista *Nature*, em 1999. No caso da RMRJ, as regiões mais elevadas poderão ser progressivamente ocupadas por elementos típicos de paisagens abertas de biomas vizinhos, como o Cerrado.

As mudanças climáticas apresentam, também, o potencial de interferir na distribuição, na abundância e nos impactos causados por espécies invasoras. A dispersão desses organismos pode ser potencializada pela retração de área de vida das espécies nativas que competem pelos mesmos recursos naturais e tendem a sucumbir às novas condições climáticas. Este pode ser o caso específico de um grupo de símios da família Callithrycidae encontrado no Parque Nacional (Parna) da Serra dos Órgãos. O sagui-de-tufos-brancos (*Callithrix jacchus*) e o sagui-de-tufos-pretos (*Callithrix penicillata*), típicos representantes da Caatinga e do Cerrado, respectivamente, vêm ocupando, progressivamente, a área de vida do sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*), espécie endêmica e ameaçada que habita as matas úmidas dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.

Os ecossistemas aquáticos continentais, por seu turno, sofrerão com sucessivos períodos de déficits hídricos, em cenários climáticos de redução progressiva da precipitação. A qualidade da água também poderá ser afetada, em função dos processos erosivos a montante, que determinariam alterações na quantidade e qualidade da matéria orgânica que aporta a esses ecossistemas, interferindo na biomassa total, produtividade e composição de espécies, promovendo rupturas nas teias tróficas.

Com relação à fauna, algumas espécies de peixes continentais endêmicos da bacia drenante a Baía de Guanabara podem ser particularmente prejudicadas por alterações em seus habitats, como é o caso dos peixes-das-nuvens (*Leptolebias spp.*). Sete das nove espécies do gênero habitam brejos sazonais das restingas de Maricá e florestas densas do médio curso de pequenos rios que descem da região serrana. Devido a drásticas alterações antrópicas no ambiente natural desses peixes, duas espécies podem já estar extintas, sendo que as demais encontram-se altamente ameaçadas de extinção. O grupo é, portanto, extremamente vulnerável a mudanças no regime hídrico de pequenos rios e brejos que possam se manifestar no longo prazo, e por fenômenos hidro-

meteorológicos extremos, já no curto prazo.

Savanização da vegetação

Modelagens feitas por Carlos Nobre e colegas do INPE-CPTEC e publicadas em 2008 sugeriram que, até o final deste século, o clima da Região das Baixadas Litorâneas será compatível com uma vegetação de "savana", com redução no porte e densidade das plantas. Savanas



também ocuparão a porção norte do Estado, substituindo a escassa e altamente fragmentada floresta estacional remanescente. Nas regiões Centro-sul e Médio Paraíba, a floresta ombrófila cederia espaço para uma vegetação estacional.

As implicações desses resultados para a vegetação do Rio de Janeiro são perturbadoras. Muito embora a resolução espacial do modelo não permita determinar alterações na vegetação com a precisão necessária para avaliar as reais consequências na biodiversidade, as mudanças apontadas com relação à distribuição espacial das duas principais fitofisionomias – as florestas ombrófila e estacional – apontam para o potencial recrudescimento quali-quantitativo do universo de espécies da fauna e flora.

Atualmente, a Floresta Ombrófila Densa, por ação antrópica (queimadas, abertura de estradas, ocupação irregular de áreas de risco, expansão da malha urbana e da agricultura e, até mesmo, poluição) está reduzida a uma coleção de fragmentos pulverizados no espaço, dos quais somente cerca de 2,3% possuem mais de 100 hectares. A fragmentação da vegetação nativa é um dos principais vetores de extinção de espécies, que, em sinergia com eventos meteorológicos extremos, pode causar danos irreparáveis aos ecossistemas. De fato, cicatrizes erosivas no manto florestal das encostas potencializam o efeito de borda, sujeitando a vegetação adjacente a aumentos dos níveis de insolação, temperatura, ventos e redução da umidade do ar. Além disso, rupturas mal “cicatrizadas” podem induzir novos processos de deslizamento de massa em áreas adjacentes, potencializando a perda de habitats em décadas. Alguns dos grandes deslizamentos ocorridos em 1996 no maciço da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, manifestaram-se em áreas contíguas a clareiras originadas das chuvas intensas de 1988.

Diante desse quadro e da precariedade material, técnica e humana das unidades de conservação do Estado, o futuro não é muito promissor para a biodiversidade regional. Os hiatos entre os remanescentes de vegetação nativa que, hoje, já restringem deslocamentos da fauna e dispersão de espécies da flora, no futuro representarão barreiras geográficas intransponíveis para espécies que, eventualmente, poderiam se deslocar livremente para se adaptarem as novas condições de clima. Premidas de sua área de vida ou de corredores de deslocamento e dispersão, espécies “criticamente ameaçadas” poderão ser extintas, ao passo que as “ameaçadas” ou “vulneráveis” serão mais raras ou também desaparecerão, nas próximas décadas.

VULNERABILIDADE DOS MANGUEZAIS

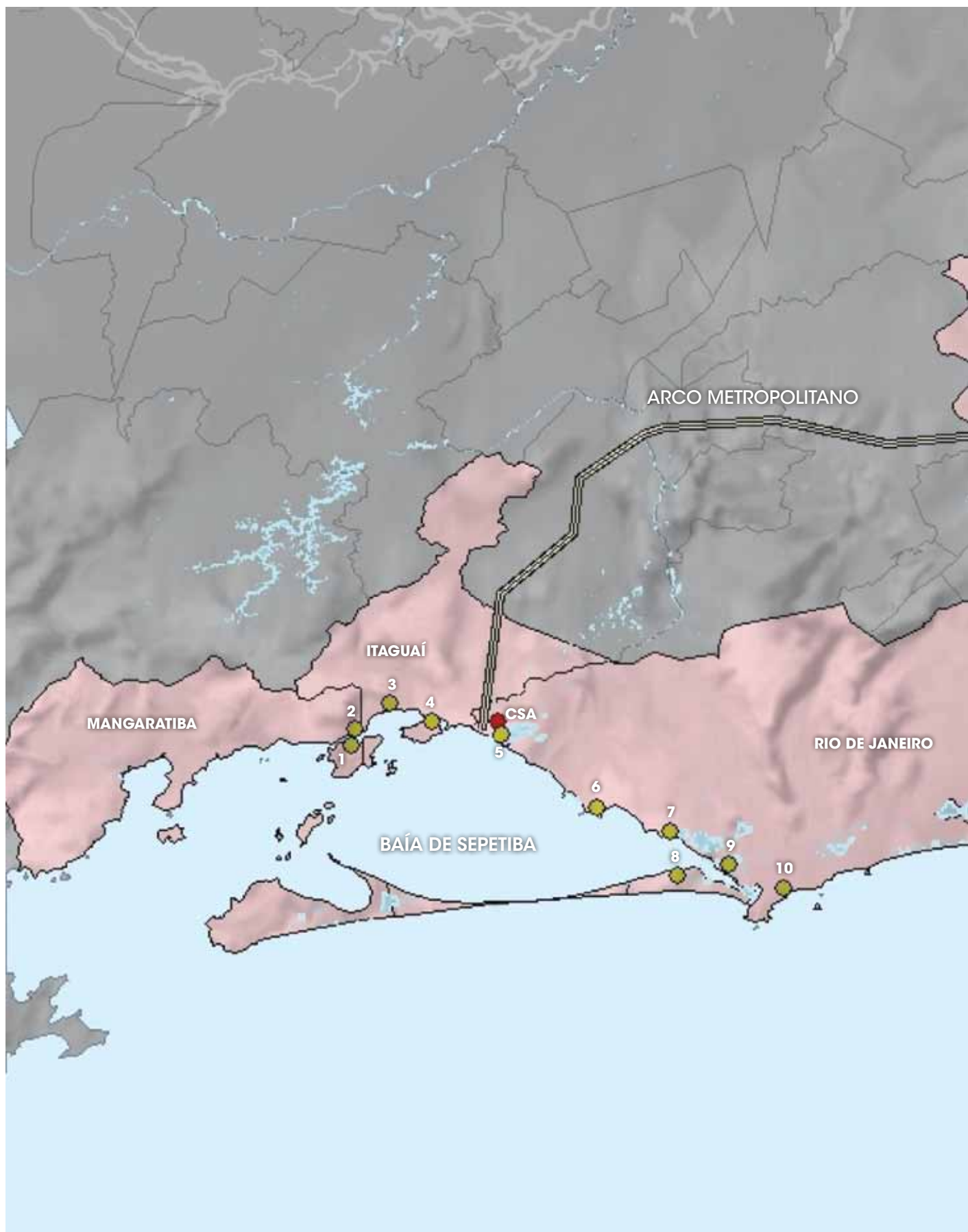
Um ecossistema que merece uma atenção especial em relação aos impactos das mudanças climáticas são os manguezais, conjunto de vegetação que ocupa as áreas entremarés. De um modo geral eles são vitais na manutenção da integridade ambiental, social e econômica das regiões costeiras. Talvez sua função mais conhecida seja a de área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, límnicas e terrestres. Mas os manguezais também são fonte de matéria orgânica para as águas costeiras adjacentes, constituindo a base da cadeia trófica de espécies de importância econômica e/ou ecológica. Eles ainda: atuam na proteção da linha de costa, evitando sua erosão e o assoreamento dos corpos d’água adjacentes; controlam a vazão, previnem contra inundações e protegem contra tempestades; absorvem produtos químicos, servindo como filtro de poluentes e sedimentos, além de tratarem de esgotos em seus diferentes níveis.

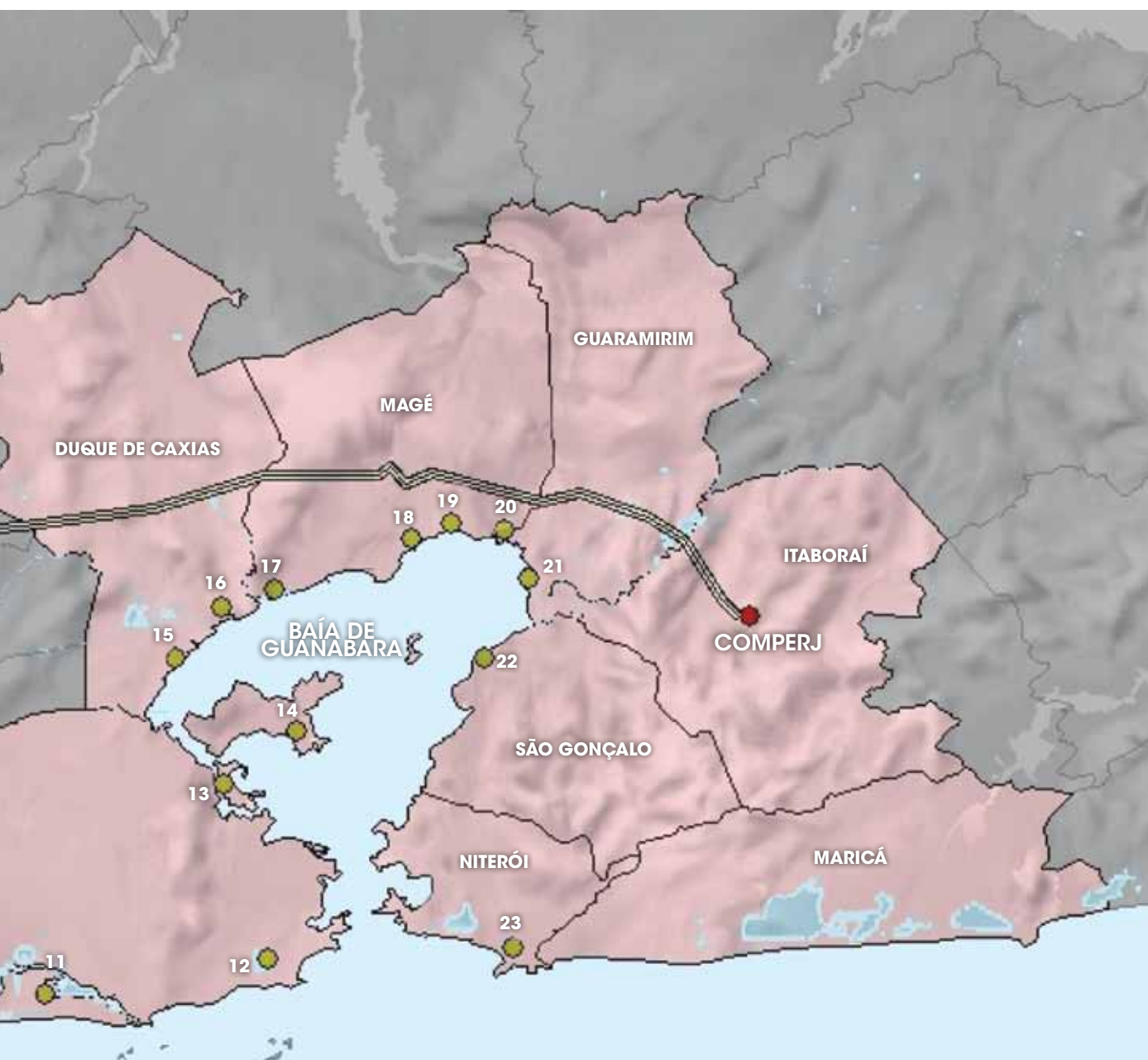
O Núcleo de Estudos em Manguezais da Faculdade de Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (NEMA/UERJ) tem monitorado essas florestas desde 1996, possuindo uma singular série temporal de sua dinâmica. A partir dessa base de dados, analisamos como os manguezais devem se comportar diante de uma elevação do nível relativo do mar.

Foram avaliados os municípios da RMRJ que possuem fronteira com ambientes marinho ou estuarino: Itaguaí, Rio de Janeiro, Duque de Caxias, São Gonçalo, Itaboraí, Magé, Guapimirim, Niterói e Maricá, distribuí-



MAPA 6: REMANESCENTES DE MANGUEZAL NA RMRJ





- 1** Ilha Itacuruçá
- 2** Itacuruçá
- 3** Coroa Grande
- 4** Ilha da Madeira
- 5** Sepetiba Oeste)
- 6** Sepetiba (leste)
- 7** Pedra de...
- 8** Restinga da Marambaia
- 9** Guaratiba
- 10** Grumari
- 11** Sistema Lagunar Jacarepaguá
- Barra da Tijuca

- 12** Lagoa Rodrigo de Freitas
- 13** Ilha do Fundão
- 14** Jequiá (Ilha do Governador)
- 15** Duque de Caxias
- 16** REDUC
- 17** Mauá
- 18** Rio Suruí
- 19** Rio Iri
- 20** Piedade
- 21** Área de Proteção Ambiental Guapimirim
/ Estação Ecológica Guanabara
- 22** Itaóca
- 23** Lagoa de Itaipu

dos em dois sistemas principais – baías de Sepetiba e Guanabara. Neles foram identificados todos os remanescentes de manguezais, com base no conhecimento prévio da região e na análise de imagens de satélites.

A principal resposta esperada para os manguezais da RMRJ é a acomodação, através de retração em direção à planície costeira em regiões onde houver área que possibilite essa migração. Todavia, a manutenção dessas florestas no novo cenário dependerá da ocupação urbana nas áreas vizinhas. Os manguezais foram classificados quanto a sua vulnerabilidade à elevação do nível médio do mar, considerando taxas de 0,5 metro, 1 m e 1,5 m até o final do século.

As florestas classificadas como de alta vulnerabilidade foram aquelas localizadas em regiões sem área disponível para sua acomodação/retração, como aquelas próximas a montanhas ou associadas a planícies altamente urbanizadas ou ainda com algum tipo de obstáculo a sua retração em direção ao continente (como estradas e vias urbanas). Destaca-se nessa categoria grande parte dos remanescentes localizados na Baía de Guanabara (Duque de Caxias, REDUC, Jequiá, Fundão e Itaóca), na Baía de Sepetiba (Coroa Grande, leste da Ilha da Madeira, oeste de Sepetiba e Pedra de Guaratiba), além dos sistemas lagunares de Jacarepaguá, Rodrigo de Freitas e Itaipu.

Merece atenção o caso da faixa de mangue que se estende ao longo da orla que vai de Sepetiba ao limite dos municípios do Rio de Janeiro e Itaguaí. Em 2008, a região foi considerada de baixa vulnerabilidade. Passados dois anos, a porção oeste dessa faixa foi inserida na categoria de alta vulnerabilidade pela perda de sua área de acomodação devido à instalação da Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA).

Esse é um exemplo de como o planejamento inadequado pode comprometer os ecossistemas. Também reforça a necessidade urgente de se internalizar nos processos de planejamento urbano e de licenciamento ambiental as variáveis relacionadas às mudanças climáticas, incluindo os aspectos associados às adaptações a tais mudanças.

Foram considerados com baixa vulnerabilidade os poucos manguezais associados a uma planície costeira não urbanizada ou com baixa urbanização, caracterizando uma possível área para acomodação/retração frente à elevação do nível do mar. É o caso da região de Guaratiba, onde a presença de planícies hipersalinas associadas às florestas de mangue, bem como de uma planície costeira quaternária, já permite que os manguezais migrem progressivamente em direção ao continente.

Contudo, dependendo da taxa de elevação do nível médio relativo do mar, poderá haver no futuro um problema para a ma-

nutenção dessas florestas, pela duplicação da avenida das Américas, que pode se tornar uma barreira à migração do sistema em direção ao continente, e a expansão urbana nessa direção, que inclui a construção do túnel da Grota Funda.

Os manguezais encontrados na porção central da APA Guapimirim e da Estação Ecológica Guanabara, entre os rios Guapi e Guaxindiba, se encontram em uma situação semelhante. Apesar de também atualmente classificados como de baixa vulnerabilidade, podem ter esse status alterado com a instalação do Comperj e a construção do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.

As atividades do complexo petroquímico podem afetar o vigor e a integridade dos manguezais dessas duas UCs, aumentando sua vulnerabilidade à elevação do nível do mar. O empreendimento e o Arco Metropolitano representam vetores de crescimento local por atrair outras empresas, que também representam risco de contaminação desses manguezais, e catalisar a ocupação e expansão urbana sobre essa que é a última

área com baixa ocupação no entorno da Baía de Guanabara.

VULNERABILIDADE DAS LAGOAS

Os ecossistemas aquáticos continentais da RMRJ também podem ser impactados pela elevação no nível do mar. Do ponto de vista ecossistêmico, as mudanças globais podem causar alterações nas lagoas costeiras, como: substituição das comunidades animais e vegetais; extinção de espécies (e perda de diversidade); aumento da concentração total de sais; aumento das concentrações de nutrientes; aumento dos níveis de poluição; assoreamento; aumento de sua área total; mudança da fisionomia e descaracterização do ecossistema; aumento da produção de gases tóxicos (gás sulfídrico e outros); perda de uso contemplativo e recreativo; aumento da possibilidade da proliferação de algas tóxicas; e alteração da biodisponibilidade de metais pesados. Veja a seguir as projeções para os três principais sistemas:



Lagoa Rodrigo de Freitas

Por possuir maior cota altimétrica na sua área de entorno, ela não deve apresentar grande expansão em área nem mesmo no cenário de maior elevação do nível do mar (1,5 m). Pontos no seu entorno que atualmente sofrem com alagamentos durante períodos de chuvas extremas, como o Parque dos Patins, porém, podem ter uma incidência maior de inundações, visto que se espera a ocorrência, com maior frequência, de eventos combinados de mais chuva e marés de sizígia (as mais altas, que ocorrem nas luas nova e cheia).

Complexo lagunar Piratininga-Itaipu

Apesar de a área de entorno apresentar uma cota altimétrica relativamente alta, projetos que visam uma conexão fixa da lagoa com o mar podem trazer consequências diretas para a população em um cenário de elevação do nível do mar. Além disso, o forte assoreamento tanto do complexo quanto dos rios que fazem parte da sua bacia de drenagem, que já causou repetidos eventos de alagamento de regiões próximas, podem se tornar cada vez mais comuns com um nível do mar mais elevado. A maior ocorrência de eventos de fortes chuvas pode também aumentar a frequência de episódios de mortandade de

peixes muito comuns na região devido ao já avançado processo de eutrofização.

Baixada de Jacarepaguá

As lagoas dessa região são as mais vulneráveis à elevação do nível do mar. Um dos resultados imediatos seria o aumento em área de seu espelho d'água e a criação de novas áreas alagadas pela entrada de água marinha e também devido à elevação do nível do lençol freático. A amplitude desses novos pontos alagados será determinada pelo nível da

elevação e topografia local. Os maiores aumentos de área lacustre são esperados para o complexo da Barra da Tijuca, mesmo no cenário mais otimista de elevação do nível do mar, se expandindo para os bairros Recreio dos Bandeirantes e Vargem Grande. Como a ocupação das margens dessas lagoas ocorreu de forma desordenada, também se pode esperar que a inundação de moradias seja mais regular, principalmente em períodos de chuvas intensas ou de elevadas marés. A qualidade da água dessas lagoas já é de forma geral baixa, e a expectativa é que piore com a maior ocorrência de eventos extremos, tornando-se um problema de saúde pública. ■■

PARTE 3

VULNERABILIDADES
SÓCIO-
ECONÔMICAS

As alterações esperadas para o clima nas próximas décadas podem agravar os problemas decorrentes de uma urbanização desorganizada e causar sérios impactos na infraestrutura de serviços públicos das cidades, em especial sobre os sistemas de drenagem urbana, o saneamento básico e a gestão dos resíduos sólidos.

INFRAESTRUTURA DE DRENAGEM URBANA

Os registros de perdas econômicas decorrentes de inundações e outras catástrofes climáticas em áreas urbanas ao longo das últimas décadas mostram uma tendência de aumento dos prejuízos associados a eles. De forma simples, pode-se dizer que a origem das cheias está relacionada com as chuvas intensas. Uma parcela desta precipitação fica retida na copa vegetal e em depressões do terreno; parte se evapora.

A urbanização, porém, atrapalha esse processo, uma vez que ocorre com remoção de vegetação nativa, aumento de impermeabilização do terreno e ocupação de áreas ribeirinhas. Além disso, a implantação de uma rede de drenagem artificial acaba aumentando de forma significativa a velocidade de escoamento e dos picos de vazões de cheia. Sem contar a obstrução de bocas de lobo, galerias e o assoreamento de canais.

As cheias urbanas estão diretamente associadas a falhas nas várias

etapas dos sistemas de drenagem⁵, seja por erro de concepção, por falta de manutenção, por obsolescência ou pelo crescimento urbano desordenado. Com as mudanças climáticas, e o provável aumento de ocorrência de fenômenos extremos, é de se esperar que os atuais sistemas fiquem sobrecarregados e falhem com mais frequência, uma vez que maiores precipitações aumentarão as vazões geradas pelo ambiente urbano impermeabilizado. Em cidades costeiras, a elevação do nível médio do mar poderá restringir a descarga do sistema de drenagem.

O aumento da intensidade das chuvas extremas demanda ampliação da rede de drenagem. O aumento do nível do mar, por sua vez, gera uma restrição de descarga na foz, afetando a capacidade de escoamento e fazendo o sistema de drenagem perder eficiência.

Os efeitos gerados pela nova configuração dos eventos hidrológicos para o futuro podem alterar fortemente a abrangência espacial de alagamentos, fazendo-os chegar a locais antes não alagáveis. A população fica mais vulnerável e ➔

⁵ EM GERAL, ESSES SISTEMAS SÃO FORMADOS POR DOIS SUB-SISTEMAS PRINCIPAIS: A MICRODRENAGEM, COMPOSTA PELOS PAVIMENTOS DAS RUAS, SARJETAS, BOCAS DE LOBO, GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS E CANAIS DE PEQUENAS DIMENSÕES; E A MACRODRENAGEM, CONSTITUÍDA POR CANAIS DE MAIORES DIMENSÕES, QUE RECEBEM AS CONTRIBUIÇÕES DA MICRODRENAGEM E AS LANÇAM NO CORPO RECEPTOR



aumentam os prejuízos materiais e perdas de vidas.

Considerando a extensão do município do Rio de Janeiro e a complexidade dos problemas de drenagem urbana, para os quais não existe uma solução-padrão, é necessário analisar caso a caso quais medidas estruturais e não estruturais podem ser adotadas. A seguir, são apresentados prognósticos para as bacias do rio Acari e Joana, localizados na zona norte da cidade. Essas bacias foram selecionadas por serem áreas fortemente urbanizadas e sujeitas a alagamentos e por disporem de uma base de modelagem computacional desenvolvida em estudos contratados anteriormente pela Subsecretaria de Águas Municipais do Rio de Janeiro⁶.

Bacia do rio Acari

A bacia do rio Acari possui uma área de drenagem de cerca de 107 km² e é composta por diversos bairros densamente povoados, como Jardim América, Acari, Parque Colúmbia, Coelho Neto, Barros Filho e Pavuna. A região apresenta grande quantidade de pessoas carentes, bem como serviços de saneamento ambiental inadequados ou ineficientes, com diversas áreas de urbanização irregular.

O rio Acari se encontra com o rio Pavuna para formar o rio São João de Meriti, que

deságua na Baía de Guanabara. Importantes vias de tráfego atravessam a bacia, como, por exemplo, as avenidas Brasil e Martin Luther King; a rodovia Presidente Dutra e a linha Vermelha. Durante a ocorrência de grandes tempestades, observam-se lâminas de alagamento variando entre 0,20 m e 2 m.

Atualmente já existem pontos críticos de alagamento na bacia. No bairro Acari, na margem esquerda do rio, o alagamento passa de 0,75 m de altura. Próximo à avenida Brasil, na altura de Barros Filho e na comunidade Parque Bela Vista, a situação atual também é crítica. As alturas de alagamento são superiores a 1 m.

Considerando um aumento de 10% na precipitação máxima e três cenários de elevação do nível do mar (0,5 metro, 1 m e 1,5 m), a região da foz do rio e a margem direita na altura do bairro Acari são as mais afetadas. Na foz do rio Acari, locais em que hoje a altura da água é de até 0,15 m, podem passar a ter alagamento de até 1,50 m no pior caso. Já no bairro Acari, a margem direita, que já registra alturas da ordem de 0,30 m, aparece no pior cenário com cotas de até 1 m. Apesar deste rio não desaguar diretamente na Baía de Guanabara, a elevação de 1,5 m no nível médio do mar restringiria os escoamentos e comprometeria o sistema

de drenagem, favorecendo grandes extravasamentos da calha do rio.

Bacia do Rio Joana

Esta bacia possui uma área de drenagem de cerca de 11 km². É densamente urbanizada e composta pelos bairros do Grajaú, Andaraí, Vila Isabel, Tijuca e Maracanã, boa parte deles de classe média. A bacia é atravessada por importantes vias de acesso ao centro do município e à região de Jacarepaguá, como a rua São Francisco Xavier e as avenidas Radial Oeste e Maracanã.

O rio Joana está totalmente canalizado e segue boa parte de sua trajetória paralelo à rua Maxwell, seguindo em direção à UERJ e ao Maracanã. Na sequência, atravessa a avenida Radial Oeste até confluir para o rio Maracanã e desaguar no Canal do Mangue, para chegar à Baía de Guanabara. Também faz parte da bacia o rio Trapicheiro, que passa por baixo da Praça da Bandeira, um dos locais mais emblemáticos na cidade em alagamentos,

por afetar seriamente a ligação viária entre as zonas sul, norte e o centro em eventos chuvosos mais severos.

As regiões de Andaraí e Maracanã, próximo à foz, são os locais que já apresentam maiores alagamentos, com a água alcançando altura de 0,75 m. Nas projeções futuras, porém, as lâminas de alagamento da bacia quase não se alteraram nos diferentes cenários de mudanças da precipitação e maré.

Dois motivos podem explicar essa pequena alteração, mesmo com uma elevação de 1,50 m no nível do mar: a distância da foz à Baía da Guanabara e a presença de grandes áreas alagadas junto à foz do rio, bem como da foz até o deságue na bacia, incluindo a região da Praça da Bandeira. Essas áreas funcionam, indesejavelmente, como reservatórios e permitem um grande armazenamento da água de chuva na forma de alagamen-

⁶ FORAM USADOS OS MODELOS MODCEL (MIGUEZ, 2001; MASCARENHAS & MIGUEZ, 2005) PARA A ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA BACIA E DE INTERVENÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS QUE PERMITE MAPEAR MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA TODA A REGIÃO MODELADA, E O SISTEMA HIDROFLU (MAGALHÃES ET AL., 2005), QUE INTEGRA E AUTOMATIZA UMA SÉRIE DE ESTUDOS HIDROLÓGICOS APLICÁVEIS A BACIAS DE PEQUENO E MÉDIO PORTE.

tos. Analisando a cota de alagamento da Praça da Bandeira, a água chega hoje a uma altura máxima de 1,20 m. Nos cenários futuros, ocorre um acréscimo de até 0,50 m.

Diante dessas previsões, e do cenário atual de inundações no município, é preciso adotar medidas estruturais e não estruturais. As primeiras, que modificam a paisagem da bacia com intervenções dentro e fora da rede de drenagem, são particularmente necessárias em locais de urbanização intensa em que os problemas de cheia já ocorrem. As obras podem minimizar os impactos de enchentes e permitir a reordenação dos escoamentos no tempo e no espaço. As medidas não-estruturais buscam estabelecer condições de convívio harmonioso com a ocorrência de enchentes e são importantes no planejamento a médio e longo prazo. Podem estar associadas ao zoneamento de cheias, ao estabelecimento de limites de impermeabilização, à confecção de planos diretores de manejo de águas pluviais e a ações de educação ambiental.

Tendo em vista as mudanças climáticas, é preciso pensar também em medidas mais sustentáveis que visem resgatar a capacidade de armazenagem e infiltração da bacia. Assim é possível diminuir a dependência do sistema de drenagem em relação às dimensões da rede e da capacidade de descarga no exutório, passando a ter uma prevenção contra os efeitos de possíveis mudanças climáticas. Essas medidas focam a causa do processo, ou seja, a própria geração de escoamentos.

O agravamento do problema de cheias em áreas muito baixas e

próximas ao mar, porém, pode demandar medidas mais drásticas, como a proposição de polders para a proteção das áreas urbanizadas. Esta solução, de caráter corretivo tradicional, combinaria o uso de diques, controlando a saída da rede de drenagem para o mar através de comportas. Só que isso gera a necessidade de grandes áreas de armazenamento temporário de volumes de água, agravando o risco de acidentes pela possibilidade de ruptura de uma dessas estruturas.

É recomendável, também, adotar um sistema de alerta e um plano de contingência no caso de eventos excepcionais. E criar um plano diretor de drenagem urbana que considere os cenários futuros de mudanças climáticas e prepare a cidade para lidar com este problema, buscando uma interação mais harmônica com o ambiente.

SANEAMENTO AMBIENTAL

São várias as formas como as mudanças climáticas poderão afetar a disponibilidade hídrica e a prestação dos serviços de abastecimento d'água e esgotamento sanitário. Dentre elas vale destacar:

- ▶ modificações na sazonalidade, na distribuição espacial e nos regimes das chuvas influenciarão na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos e podem levar a disputas pelo uso da água.
- ▶ prolongadas e frequentes estiagens também podem comprometer a qualidade de mananciais superficiais e subterrâneos - com menos chuvas, diminui a diluição de poluentes provenientes de esgotos sanitários e efluentes industriais não tratados. ➡



- ▶ mais chuvas intensas e menor permeabilidade do solo decorrente de longos períodos de seca farão com que a recarga dos aquíferos subterrâneos seja insuficiente.
- ▶ em áreas costeiras, a elevação do nível do mar sujeitará os cursos d'água de planície e aquíferos à influência das águas salgadas.
- ▶ a elevação da temperatura poderá significar o aumento da perda física de água pelos sistemas através da evaporação em reservatórios.
- ▶ a elevação do nível do mar poderá impor o reassentamento de populações e talvez a necessidade de recorrer a novos mananciais e infraestrutura para a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.
- ▶ a elevação da temperatura poderá fazer o consumo de água crescer em até 20%, o que demandará a extração de maiores quantidades de água de mananciais que eventualmente já poderão apresentar sinais de esgotamento.
- ▶ em corpos d'água poluídos, o aumento da temperatura poderá acelerar a velocidade das reações de decomposição de poluentes e de solubilidade de gases, afetando ainda mais a qualidade da água.
- ▶ com o aumento das chuvas intensas e do escoamento, as águas dos mananciais superficiais tendem a apresentar sobre-elevação da *turbidez*, da contaminação fecal e de outros parâmetros físico-químicos, requerendo um esforço maior nas Estações de Tratamento de Águas para chegar ao padrão de potabilidade, o que tende a elevar os custos dos serviços e as tarifas cobradas aos usuários.
- ▶ o aumento das inundações devidas ao escoamento instantâneo do volume de água represado também ameaça a segurança estrutural das barragens de nível.
- ▶ da mesma forma, poderão estar sujeitas aos mesmos efeitos as indústrias localizadas próximas a estuários que captam água diretamente nos rios.
- ▶ a elevação do nível do mar poderá impedir o escoamento hidráulico em superfície livre que usualmente rege o lançamento de efluentes tratados de estações de tratamento de esgotos em corpos d'água receptores.
- ▶ sempre que ocorrerem inundações de áreas urbanas pela elevação do nível do mar, as estações de tratamento de esgoto (ETEs) poderão ser fisicamente afetadas pelo fato de usualmente serem localizadas próximas aos corpos d'água receptores.
- ▶ o incremento da frequência e da intensidade de chuvas também tenderá a promover a elevação do lençol freático subterrâneo e a saturação do solo, comprometendo o funcionamento de poços absorventes de esgotos tratados – do tipo “sumidouros”.
- ▶ áreas urbanas desprovidas de rede coletora de esgotos e de galerias de águas pluviais e que hoje em dia ainda contam com valas negras para o escoamento conjunto de águas pluviais e esgotos sanitários, estarão em situação sanitária-ambiental ainda mais adversa no caso de chuvas mais intensas e frequentes

GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo o Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos de 2009 organizado por Abrelpe (Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública) e Secretaria Estadual do Ambiente, são gerados cerca de 18.800 toneladas/dia de resíduos no Estado, sendo 75% deles na RMRJ. Do total coletado, 33% ainda são dispostos em aterros controlados e lixões. Além da disposição inadequada, os serviços de coleta não são universalizados. Onde eles não chegam, é comum o descarte dos resíduos em encostas, logradouros, rios e canais, o que causa danos ao meio ambiente, à saúde pública e aos sistemas de micro e macro drenagem, além de provocar deslizamentos que comprometem vidas e destroem bens materiais.

Tanto o governo estadual quanto os municipais da maioria das cidades da RMRJ estão se mobilizando para gerir melhor os resíduos, com a construção de aterros sanitários mais seguros e o desenvolvimento de programas de adequação, recuperação e encerramento das uni-

dades existentes. É preciso, no entanto, implementar mecanismos que permitam a sustentabilidade econômica dos novos aterros para impedir que eventuais dificuldades financeiras das prefeituras transformem-nos em lixões, o que ocorre com frequência no país. E num cenário de mudanças climáticas, é recomendável pensar em todas as etapas da cadeia do lixo:

► O acondicionamento precário dos resíduos e a irregularidade nos serviços de coleta, ou mesmo sua inexistência em alguns lugares, já são um problema quando ocorrem fortes precipitações, uma vez que os resíduos são carregados para os sistemas de drenagem de águas pluviais, obstruindo galerias e canais e causando grandes alagamentos nas cidades. Com o aumento previsto da intensidade e da ocorrência de grandes tempestades, este mau comportamento da população e um precário serviço público em comunidades situadas em encostas poderão aumentar ainda mais os riscos de deslizamentos em função da provável obstrução dos canais de drenagem. Nas áreas de baixadas, que são suscetíveis a inundações por intensas precipitações ou pelo aumento no nível de oceanos e baías, o sistema de acondicionamento de lixo deverá ser obje-

to de estudos específicos das prefeituras, que deverão criar pontos para armazenamento em cotas topográficas mais elevadas. O aumento de episódios de tempestades também pode piorar o já existente cenário de lixo sendo arrastado pelas chuvas para logradouros, rios, lagoas e baías, contribuindo ainda mais para seu assoreamento, a redução da qualidade da limpeza e a poluição ambiental de corpos hídricos.

► O aumento da frequência e da intensidade de rajadas de ventos e chuvas também irá alterar bastante os serviços de varrição de ruas e áreas públicas das cidades. Rajadas de ventos e ciclones causam o desfolhamento prematuro de árvores, aumentando a quantidade de resíduos a serem varridos. Nas cidades mais arborizadas, os fortes ventos associados a tempestades já têm causado o entupimento dos sistemas de drenagens pelas folhas e pelos resíduos não varridos, aumentando os alagamentos. Rios e canais que não estiverem com seus leitos limpos e desobstruídos não ➡



suportarão a vazão excedente das tempestades e transbordarão, alagando as faixas marginais e destruindo habitações irregulares construídas em áreas não edificantes. Nas orlas das cidades a maior frequência de ressacas marítimas aumentará a quantidade de resíduos trazidos para as areias das praias, e as vias ao redor das orlas deverão ser tomadas por areia, obrigando as prefeituras a realizarem dispendiosas e constantes operações de limpeza.

- Os processos de tratamento de lixo poderão ser afetados de forma indireta pelas mudanças climáticas. O aumento da temperatura ambiente, as variações na umidade relativa do ar e as alterações na intensidade dos ventos poderão alterar as características físicas do lixo e os parâmetros de implantação de instalações de tratamento de resíduos sólidos. Mudanças no clima poderão, por exemplo, alterar o teor de umidade dos resíduos orgânicos, obrigando a adequação de usinas de incineração e de compostagem. Usinas de compostagem poderão, também, ter seus pátios de bioestabilização alagados por tempestades não suportáveis pelos sistemas de drenagem das unidades. O alagamento de pátios de compostagem inviabilizará a produção de composto orgânico em processos aeróbios.
- Os principais problemas causados pelas mudanças climáticas ocorrerão nos aterros sanitários situados em encostas e áreas potencialmente alagáveis ao lado de rios de grande porte e de baías (veja

mapa 7 na pág. ao lado). A elevação do nível do mar poderá causar alagamento parcial ou total dos aterros Itaóca, em São Gonçalo, e o de Jardim Gramacho, em Duque de Caxias (a principal unidade de destinação final de resíduos sólidos da RMRJ, que recebe 70% dos resíduos coletados na capital), ambos situados às margens da Baía de Guanabara.

- O pior cenário será o de combinação de fortes tempestades com marés de sizígia. Nessa situação, a elevação do nível da Baía de Guanabara e a expansão do espelho d'água impedirá que os atuais sistemas de drenagem de águas pluviais funcionem adequadamente, retendo o chorume e a água de chuva nos aterros. Essa retenção poderá causar erosões nos taludes acabados, infiltração de água nos maciços de lixo, desestabilização dos taludes e finalmente, a ruptura dos aterros, com o chorume sendo carregado em grandes quantidades para a Baía de Guanabara. No Aterro de Gramacho, a situação é ainda mais crítica, pois ele está localizado próximo à foz dos rios Iguaçu e Sarapuí. Uma ruptura do aterro com o consequente assoreamento do leito desses rios poderá ocasionar o alagamento de grandes áreas na Baixada Fluminense, com prejuízos humanos e materiais incalculáveis. Em aterros situados em encostas como, por exemplo, o aterro do Morro do Céu em Niterói, a situação é também muito grave, pois tempestades mais intensas poderão provocar deslizamentos de terra e lixo, com o soterramento de grandes áreas. O principal aterro para resíduos industriais perigosos do Estado, localizado em Belford Roxo, também fica às margens do Rio Sarapuí, em área potencialmente alagável.

Grandes tempestades também poderão provocar a interdição de aterros sanitários, com o alagamento das células preparadas para receber os resíduos. Isso deixaria o sistema de coleta sem alternativas para dispor o lixo. Isso foi observado em janeiro de 2011 com as fortes chuvas que atingiram a região Serrana do Estado. Por estarem situados próximos a encostas, os aterros de Petrópolis, Nova Friburgo e Teresópolis sofreram com deslizamentos de terra, alagamentos de células e frentes de trabalho e rupturas de sistemas de drenagem de chorume e de águas pluviais. O aterro de Teresópolis foi o mais atingido, tendo sido interditado temporariamente para recebimento de resíduos coletados na cidade.

É oportuno destacar que os problemas causados pelas mudanças climáticas persistirão mesmo após o encerramento da operação desses aterros sanitários.

MAPA 7: UNIDADES DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS SENSÍVEIS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS



SAÚDE PÚBLICA

O AR4 do IPCC, de 2007, reconheceu três mecanismos pelos quais as mudanças climáticas podem afetar a saúde humana: efeitos diretos (como reações fisiológicas a ondas de calor ou acidentes decorrentes de inundações ou deslizamentos de terra); efeitos sobre o ambiente, afetando a produção de alimentos, a oferta e a qualidade de água e a ecologia de vetores de doenças infecciosas; e efeitos sobre processos sociais, como migrações provocadas por secas prolongadas. Em especial para países europeus, há vários trabalhos sobre impactos já observados das mudanças climáticas na saúde.

No Brasil, trabalho organizado por Ulisses Confalonieri, da Fiocruz, e publicado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos em 2009, fez uma revisão da situação da saúde no Brasil em situações de mudanças do clima. Mas os registros epidemiológicos referem-se a observações de impactos à variabilidade natural do clima e

não à mudança climática global. Mesmo assim são evidências de que diante de aumentos extremos de precipitação, a ocorrência de surtos de doenças como leptospirose, por exemplo, cresce também.

Especificamente para o município do Rio de Janeiro, foram consideradas suas vulnerabilidades com base em estudos de caso e conhecimento histórico sobre as relações entre variabilidade climática e saúde no país:

Epidemias de leptospirose

A doença transmitida por uma bactéria que vive em roedores tem ocorrido frequentemente na RMRJ na época mais chuvosa do ano. A água de inundações normalmente é contaminada pela urina desses animais, chegando assim até o ser humano. A maior epidemia foi registrada em 1996, com 1790 casos e 49 mortes em menos de três meses – o que faz com que esta seja uma das maiores do mundo. Essa situação confere à região uma vulnerabilidade importante em um cenário de mudanças climáticas, considerando o modelo regionalizado de 2007 desenvolvido por José Marengo e colegas do Inpe, que aponta para uma provável elevação dos eventos climáticos extremos nas regiões Sul e Sudeste do país.

Precipitação e acidentes

A relação entre chuvas intensas de verão e acidentes com risco de morte é também bastante conhecida do habitante do Rio de Janeiro e de outros municípios do Estado, como se pôde observar na região Serana no início de 2011. As principais ocorrências são de deslizamentos, quedas de árvores, afogamentos em estruturas de drenagem, eletrocussão e acidentes de trânsito. É de se esperar que todos eles piorem em eventos climáticos extremos. ➡

Dengue

Introduzida no Rio de Janeiro em 1986, é desde então a principal epidemia prevalente da cidade. O número de casos aumenta naturalmente no verão, uma vez que as altas temperaturas e maior precipitação favorecem o ciclo de vida do mosquito *Aedes aegypti*, que transmite o vírus. Por ora, o que pode ser dito é que se o aquecimento global estender as condições de temperatura e umidade típicos de verão para o período de outono, há a possibilidade de aumento do número de dias e meses por ano mais favoráveis à ocorrência de dengue.

Espera-se que as mudanças climáticas tragam um estresse adicional sobre situações-problema já existentes, podendo aumentar sua intensidade, gravidade, duração ou ampliar a sua distribuição no espaço geográfico. Além dos itens mencionados acima, para o município do Rio de Janeiro pode-se esperar impactos adicionais em relação aos seguintes agravos: estresse pós-traumático devido a eventos extremos ou perda de patrimônio e possível aumento de distúrbios respiratórios pela maior concentração de poluentes atmosféricos, principalmente o ozônio, cuja formação é catalisada pela temperatura do ar.

O aumento do nível do mar também traria consequências para a saúde pública através dos seguintes mecanismos: salinização de depósitos naturais de água no solo, com perda da qualidade para consumo trazendo problemas para o abastecimento; redução na produção de alimentos em zonas agricultáveis costeiras, com aumento na insegurança alimentar; danos à infra-

estrutura de saneamento, como tubulações de esgotamento sanitário, resultando em contaminação ambiental.

Outro impacto que a cidade pode sofrer é a retomada de alguns fluxos migratórios dos chamados “refugiados ambientais” de outras regiões do país, em especial Norte e Nordeste. Os modelos regionais de clima apontam para ambas um cenário de aumento de temperatura e redução da precipitação. Segundo o estudo “Mudanças Climáticas, Migrações e Saúde: 2000 – 2050”, de 2008, conduzido por Alisson Flávio Barbieri, da CEDEPLAR, e Ulisses Confalonieri, da FIOCRUZ, o Nordeste deve experimentar uma piora da aridez, com extrema dificuldade de acesso à água e redução na produção de alimentos, afetando milhões de pessoas no interior da região, que podem migrar para pólos urbanos de outras regiões, além de novos destinos em sua própria região. Essa população pode levar consigo doenças endêmicas crônicas (esquistossomose, leishmaniose visceral, doença de Chagas) e, assim, potencialmente promover uma sobrecarga de demanda sobre serviços de saúde que já se encontram em situação vulnerável.

Diante desse cenário, é necessário interferir nas situações que deixam a população mais vulnerável. Ineficiências na infraestrutura habitacional e de transporte, nos serviços de saneamento, educação e médico-hospitalar são determinantes históricos de danos à saúde humana na cidade do Rio de Janeiro. O Planejamento Estratégico (2009-12) estabelecido para a cidade pretende reverter esta situação. Caso medidas de prevenção não sejam adotadas, o advento das mudanças climáticas deverá exacerbar os efeitos sobre a saúde humana e os serviços médicos em grandes cidades. O custo de estabilizar o clima é significativo, mas controlável. A demora pode ser danosa e mais cara nos aspectos de saúde, econômico, social e ambiental. ■■



ADAPTAÇÃO

Não restam dúvidas de que a combinação sinérgica da elevação do nível do mar com os eventos climáticos extremos tende a agravar os já corriqueiros problemas de inundações, alagamentos e escorregamentos de encostas, assim como as também conhecidas consequências em termos de vidas e patrimônios desperdiçados, de degradação das condições sanitárias/ambientais, assim como de deterioração da infraestrutura urbana. As dúvidas quanto ao *timing* e as dimensões desses efeitos não interferem no fato de que vivemos na condição de uma metrópole em risco.

O fato de partirmos de um nível de incerteza e nos defrontarmos com efeitos sinérgicos ainda não devidamente dimensionados aumentam a necessidade de combinar prevenção e agilidade em termos de reação, o que não se faz sem conhecimento. As respostas dependerão de bases de dados consistentes e de instrumentos de previsão e monitoramento em tempo real, em suma, da produção de conhecimento e metodologias que permitam aumentar a previsibilidade dos fenômenos e seus efeitos.

É fundamental acompanhar o comportamento do nível do mar, não apenas quanto ao seu nível de base, mas também quanto às marés e ondas de tempestade, bem como – considerando a diversidade de situações climáticas presentes no sítio metropolitano – monitorar permanente e detalhadamente as variações nos indicadores de temperatura e pluviosidade. Planos de contingência deverão ser elaborados considerando riscos de inundações e deslizamentos que não devem restringir-se aos limites desse ou aquele município, mas mobilizar todos os recursos em escala metropolitana visando minimizar os danos à população, ao patrimônio natural e construído e às atividades produtivas.

A adaptação aos efeitos das mudanças climáticas exigirá, assim, ações integradas e coordenadas envolvendo diferentes escalas e temas. Elas contemplarão ações no âmbito metropolitano, das bacias hidrográ-

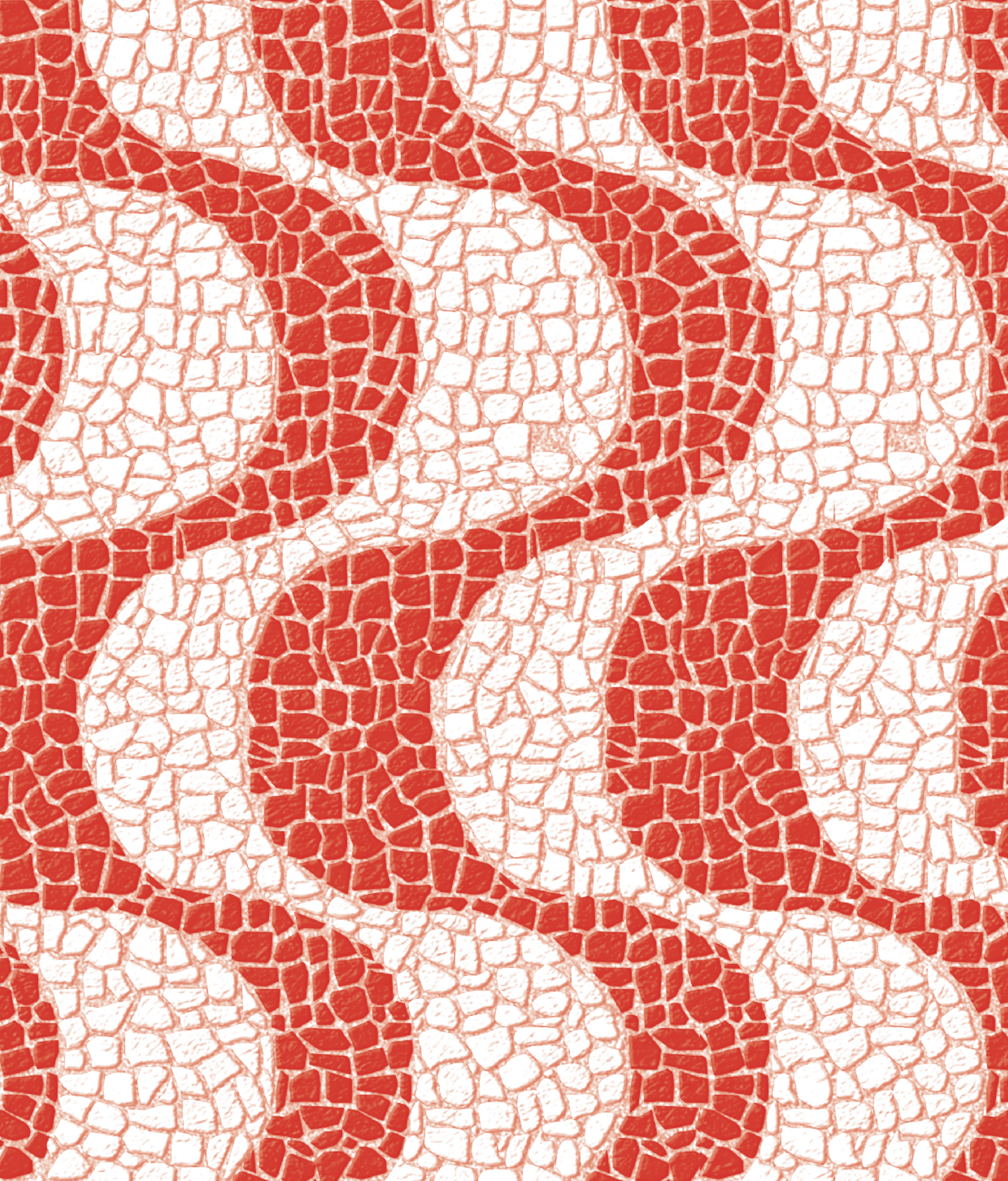
ficas e dos territórios municipais, até alcançar a escala de áreas específicas (encostas, lagoas, manguezais etc) identificadas, por exemplo, segundo seus respectivos graus de vulnerabilidade.

Mas também é preciso ter em mente que o espaço não será atingido nem terá como responder de modo homogêneo às mudanças climáticas e seus efeitos-impactos. A RMRJ comporta elementos (relevo, cobertura vegetal, infraestruturas, atividades produtivas etc), fluxos (de pessoas, veículos, cargas, serviços etc) e vulnerabilidades (propensão a deslizamentos de encostas, disponibilidade/qualidade das águas e riscos associados a complexos industriais etc) que se combinam de forma diferente conforme a parcela do espaço metropolitano que se analise.

As condições político-institucionais atuais da RMRJ não se coadunam, entretanto, com tais requisitos. Cada território municipal é tratado como se pudesse ser considerado um caso diferente e isolado. Será necessário haver cooperação e coordenação entre municípios seja por força da insuficiência dos recursos disponíveis ou pelo fato de compartilharem uma mesma oportunidade/ameaça.

A gestão ambiental urbana se ressent, ainda, de uma maior cooperação e coordenação entre os agentes “reguladores” (que exercem o poder de polícia tais como urbanismo e meio ambiente) e os “empreendedores” (que realizam intervenções concretas como obras, habitação, transporte etc), setores que estarão envolvidos diretamente com as medidas de adaptação às mudanças climáticas em qualquer metrópole. O distanciamento entre eles cria um clima que conspira contra a ideia de que os diversos elementos da cidade compõem um mesmo objeto de gestão e intervenção. A formulação das políticas públicas deve ser entendida numa perspectiva matricial em que desenvolvimento urbano, meio ambiente e saúde pública sejam vistos como objetos de políticas transversais.

Após tantos e tão graves acidentes, especialmente os que se repetem a cada grande chuva, a expectativa generalizada é de que a vida na metrópole deva se afastar da incompetência administrativa e das soluções emergenciais populistas. A prevenção custa menos que a remediação, até porque perdas de vidas não são remediáveis. Além do conhecimento científico e da tecnologia, é preciso mobilizar a vontade política necessária à concretização das ações consideradas necessárias. ■■



REALIZAÇÃO



APOIO



Embaixada Britânica
Brasília



UNICAMP