

## **IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO LITORAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SUDESTE DO BRASIL)**

Celia Regina de Gouveia Souza

Instituto Geológico-SMA/SP; Departamento de Geografia Física-FFLCH-USP  
celia@igeologico.sp.gov.br / celiagouveia@gmail.com

### **Introdução**

As mudanças climáticas fazem parte da história evolutiva da Terra. Referem-se à variação do clima ao longo do tempo (décadas a milhões de anos), em escala global ou regional, caracterizada por mudanças em relação à temperatura, precipitação, nebulosidade e outros fenômenos climáticos, como variações nas concentrações de gases na atmosfera.

Independente das causas, há um consenso mundial de que o planeta está atravessando uma fase de rápida mudança climática, que deverá se tornar ainda mais severa nas próximas décadas. E as zonas costeiras de todo o planeta, por seu caráter de interação complexa entre processos atmosféricos, terrestres e marinhos, são as áreas mais afetadas por essas mudanças, que modificam indistintamente seus três alicerces: a geodiversidade, a biodiversidade e a “antropodiversidade”.

O presente trabalho apresenta um panorama dos principais impactos em curso e dos reflexos futuros das mudanças climáticas nesses três alicerces, para o litoral do Estado de São Paulo (região Sudeste do Brasil). Para tanto, é apresentada uma abordagem sistêmica e multivariada dos diversos elementos que interagem sinergicamente nos diferentes espaços naturais e antrópicos dessa região.

### **As Mudanças Climáticas no Mundo**

Os estudos apresentados no último relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) e muitos outros que se seguiram, apontam para o aumento global das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) e da temperatura média do ar nos últimos dois séculos (0,6° C). Estes fenômenos, por sua vez, estão induzindo o derretimento e recuo de geleiras e permafrosts, a diminuição da espessura e da extensão das calotas polares (no Ártico a camada de gelo está 40% mais fina e a retração é de 2,7% por década), o aumento global da temperatura da superfície do mar, a expansão termal dos oceanos e a elevação progressiva do nível relativo do mar

(NM). Esta última apresentou média de 1,8 mm/ano entre 1961 e 2003, mas de 3,1 mm/ano entre 1993 e 2003.

Conseqüentemente estão mudando os padrões de precipitação em todo o mundo, com aumento de volume em várias regiões (por exemplo, 5 a 10% no Hemisfério Norte) e diminuição em outras (oeste da África e Mediterrâneo), assim como aumento de eventos hidrometeorológicos extremos em todo o planeta. Da mesma forma, a ocorrência do fenômeno *El Niño* também ganhou expressão, com aumento em frequência, intensidade e permanência. Dias e noites mais quentes e ondas de calor se tornaram mais frequentes, enquanto diminuiu a ocorrência de dias e noites frias e de dias com geada em todos os continentes.

Os impactos de todas essas alterações são diretamente sentidos na biodiversidade e na geodiversidade do planeta, sendo mais drásticos quando se somam às complexas modificações ambientais causadas por intervenções antrópicas.

Na biodiversidade as modificações se refletem diretamente em plantas e animais, se expandindo ao nível dos ecossistemas continentais terrestres e aquáticos e dos biomas, e também dos ambientes marinhos neríticos e até pelágicos. Migrações, reduções, explosões, invasões, oportunismos, adaptações, hibridização, extinções de espécies e até aparecimento de novas espécies são alguns dos processos biológicos que já estão em curso em várias áreas do planeta (e.g. Richardson *et al.*, 2009).

Em relação à geodiversidade, destaca-se o aumento considerável, em todos os continentes, da ocorrência de perigos e desastres causados pela dinâmica externa do planeta.

Segundo o IPCC (2007), os cenários climáticos projetados para o século XXI indicam a continuidade dos processos já em curso, porém com maior velocidade e impacto. A temperatura média do planeta continuará subindo, com tendências entre 1,8 e 4°C de elevação, dependendo do grau de emissão de GEE. A elevação do NM deverá ser mais intensa, com taxa de até 0,59m. Outros estudos, no entanto, sugerem que essa taxa será muito maior, atingindo até 1,6m em 2100 (e.g. Rohling *et al.*, 2007).

### **As Mudanças Climáticas no Brasil**

A despeito dos poucos estudos e das curtas séries temporais disponíveis para análises e modelagens, Marengo (2007) apresenta uma ampla revisão sobre as variações climáticas ocorridas no Brasil e na América do Sul no século XX.

As evidências observacionais indicam que em quase todo o país a temperatura média aumentou 0,75°C no último século, com aumento das mínimas em até 1,4°C por

década, e das máximas e médias em até 0,6°C e 0,4-0,6°C por década, respectivamente. Os eventos extremos de temperatura também sofreram alterações em todo o Brasil. No Estado de São Paulo, o número de dias e noites quentes, que eram de 5% na década de 1950, passaram a quase 35% no início do século XXI; em contrapartida, a frequência de dias frios diminuiu de 25-30% nos anos de 1970, para 5-10% no início deste século. Durante o último verão (2009-2010), que estava sob influência de *El Niño*, a região Sudeste foi atingida por várias ondas de calor, cujas temperaturas ultrapassaram os recordes históricos.

Em relação às precipitações, os estudos parecem apontar para variações interdecadais na maior parte do país. Apesar disso, nos últimos 40 anos foi observado aumento das chuvas nas regiões Sul e Sudeste e ligeira diminuição no norte da Amazônia. Essas tendências podem ser explicadas pelo aumento na frequência e intensidade de atividade do Jato de Baixos Níveis na América do Sul ao leste do Andes, responsável por incursões de ar tropical úmido da Amazônia para o sul do país durante o verão. Este fenômeno, associado à intensidade e à manutenção da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a qual é regulada pelas anomalias de temperatura superficial do Atlântico Sul, explica o aumento na intensidade de episódios e na frequência de dias com chuva intensa e fortes rajadas de vento (estacionariedade de frentes frias x calor e umidade), bem como de chuvas muito intensas concentradas em curto período, observados na região Sudeste.

Observações pessoais sugerem que na última década o número e a intensidade de ressacas afetando as praias paulistas se elevaram. Somente em 2006 ocorreram cerca de seis eventos fortes entre os meses de julho e dezembro, quando o normal é um evento entre o final de abril e o início de agosto.

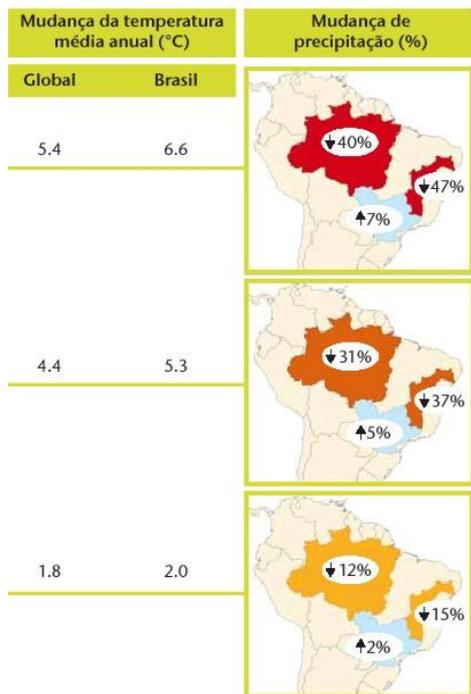
Em referência à atuação de episódios do fenômeno ENOS (*El Niño* e Oscilação Sul e *La Niña*), os estudos observacionais das últimas décadas não mostraram tendências muito específicas para o Brasil, dado o caráter oscilatório e irregular desses fenômenos e a continentalidade do país, com impactos diferenciados para cada região. No Sudeste, os eventos de *El Niño* são marcados por verões e invernos chuvosos, enquanto durante a *La Niña* os verões são frios e os invernos mais secos.

Quanto à elevação do NM no Brasil, as séries históricas mais completas refletem apenas os últimos 50 anos, mostrando taxa bem maior do que a média mundial, com 40 mm/século (Mesquista, 2003).

Para o século XXI, os 21 modelos gerados para o IPCC indicam que no Brasil haverá aumento de temperatura em praticamente todo o país, em torno de 2°C a 6°C

(Marengo, 2007; Sampaio *et al.*, 2008). Os cenários para as precipitações sugerem aumentos e diminuições de volumes. As regiões mais afetadas serão a Amazônia e o Nordeste, em processos relacionados principalmente com a intensidade e posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Modelagens mais recentes desenvolvidas pelo INPE e o MOHC (*Met Office Hadley*



*Centre* - Reino Unido) e apresentadas na COP 15 (Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, Copenhague, dezembro/2009) apontam que haverá uma tropicalização do clima em parte do Brasil, com duas estações marcantes, sendo que a primavera poderá se tornar tão ou mais quente que o verão (Figura 1).

Figura 1. Mudanças climáticas projetadas para o Brasil até 2080 (relativas a 1961–1990) e associadas a níveis diferentes de aquecimento global. De cima para baixo, os cenários de emissões são A1FI (mais otimista), A1B e B1 (mais pessimista) do IPCC ([www.inpr.br](http://www.inpr.br) - dezembro/2009).

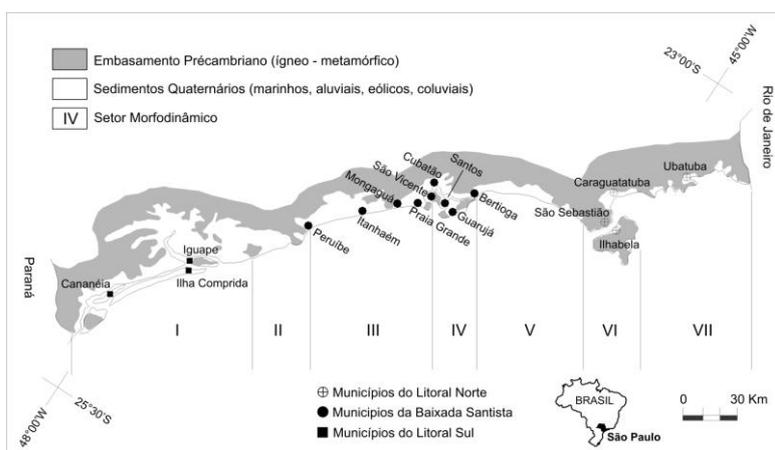
O modelo prevê que o aquecimento no Brasil poderá ser até 20% maior do que a média mundial, e que haverá diminuição das chuvas em grande parte do país, pois devido às águas mais quentes nos oceanos Atlântico e Pacífico, haverá mudanças nos padrões de vento e umidade em toda a América do Sul. Por outro lado, o modelo sugere também que a região Sudeste tenderá a um aumento da precipitação da ordem de 2 a 7%.

Assim, pode-se esperar que outros fenômenos relacionados, como a elevação do NM, os eventos extremos e os ciclos de *El Niño* e *La Niña* sejam também intensificados.

Em relação aos grandes biomas brasileiros, Nobre *et al.* (2007) estabeleceram modelos (Modelo de Vegetação Potencial) em função dos cenários do IPCC, concluindo que, de maneira geral, haverá processos de “savanização” em grande parte do território brasileiro hoje ocupado pela Floresta Amazônica, que sofrerá recuo para NW, e pela Caatinga, que recuará e sofrerá desertificação. A Floresta Tropical localizada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (na qual se inclui a Mata Atlântica e ecossistemas associados), aparentemente sofrerá pouca modificação pelas mudanças climáticas.

## O Litoral de São Paulo

O litoral do Estado de São Paulo (Figura 2) é formado por planícies costeiras bordejadas pelo escarpamento do Planalto Atlântico (Serra do Mar), cuja distância da linha de costa diminui gradativamente de sul para o norte, onde adentra o mar. Isso imprimiu uma distribuição espacial diferenciada de tipos de ambientes de sedimentação (idades pleistocênicas, holocênicas e atuais) e, conseqüentemente, da



vegetação nativa a eles associada. A descrição detalhada desses ambientes é encontrada em Souza *et al.* (2008, 2009) e Souza & Luna (2008).

Figura 4. Litoral do Estado de São Paulo.

O clima na região é considerado como de transição entre o sub-tropical e o tropical (Nimer, 1979), com o Trópico de Capricórnio passando no município de Ubatuba. Essa borda continental é favorável a regimes pluviométricos abundantes em chuva e sem período seco bem definido, havendo constante presença de sistemas frontais, brisas marítimas, ZCAS principalmente no verão, e ainda precipitação local provocada por efeito orográfico (Sant'Anna Neto, 2005). Nesse litoral encontra-se a região que mais chove no Brasil (Bertioga), com volume pluviométrico anual que ultrapassa 3000 mm/ano.

Cerca de 5% da população do Estado de São Paulo vivem nesse litoral, totalizando quase 2 milhões de habitantes, número que se duplica nas férias e feriados prolongados (Souza & Luna, 2008). Nas últimas décadas, a maioria dos 16 municípios tem apresentado taxas de crescimento demográfico muito acima da média estadual, destacando-se Bertioga (4,62%), Ilha Comprida (4,17%), Ilhabela (3,29%) e Mongaguá (3,04%). A Região Metropolitana da Baixada Santista, onde se insere o Porto de Santos e o pólo industrial de Cubatão, é a mais populosa e apresenta alta densidade de urbanização, excetos em Bertioga, Itanhaém e Peruíbe. No Litoral Sul a urbanização é rarefeita, se concentrando nos pequenos núcleos urbanos dos municípios. O Porto de

Iguape, apesar de muito antigo, opera com pouco tráfego de embarcações, em geral de pesca, que é a principal atividade econômica. No Litoral Norte o padrão de urbanização é essencialmente ligado à segunda residência e ao setor hoteleiro, e atual expansão das atividades náuticas. Ali se localiza o Porto de São Sebastião e um terminal petrolífero (Tebar), cuja expansão futura deverá acomodar as demandas da Petrobras para a exploração do pré-sal na Bacia de Santos.

Apesar desse quadro, a zona costeira de São Paulo ainda guarda grande diversidade de ambientes naturais, com extensos maciços bem preservados de Mata Atlântica e fragmentos de seus ecossistemas associados (manguezais e demais sub-biomas de planície costeira e baixa-média encosta da Serra do Mar) (Souza & Luna; 2008; Souza *et al.*, 2008, 2009). Os remanescentes totalizam 13,24% da cobertura original do Estado, dos quais 12,11% correspondem à Floresta Ombrófila Densa, 1,02% à vegetação de planície costeira e baixa encosta e 0,11% aos manguezais (SOSMA/INPE 2008).

### Impactos das Mudanças Climáticas e Reflexos Futuros no Litoral Paulista

Os principais eventos globais e regionais relacionados às mudanças climáticas (em curso e futuros), destacados nos capítulos anteriores, e os diferentes tipos de ecossistemas e níveis de antropização existentes no litoral paulista foram analisados e hierarquizados segundo o consagrado modelo Forçante-Pressão-Mudança-Impacto-Resposta (F-P-M-I-R) (Figura 5), como se segue.

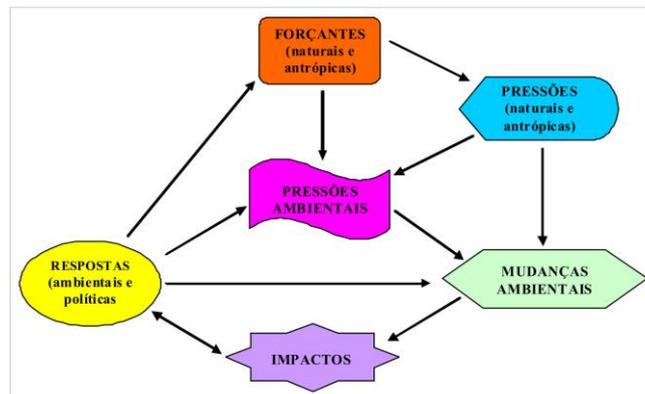


Figura 5. Modelo F-P-M-I-R (modificado de Souza & Suguio, 2003).

É importante ressaltar que todos esses eventos agem em sinergia, sob o chamado efeito “dominó” ou “cascata”. Nesta proposta a hierarquização tenta seguir a ordem cronológica dos processos e fenômenos e também a ordem escalar espacial, aonde as grandezas vão de globais até locais.

### **(1) Forçantes**

As forçantes correspondem ao aumento da concentração de GEE e ao aquecimento global. Inúmeros eventos e processos físicos, biológicos e antrópicos decorrem dessas forçantes. Obviamente, os níveis atingidos pelo Brasil e o Estado de São Paulo também interferirão nos efeitos dessas forçantes sobre os espaços costeiros.

### **(2) Pressões e Mudanças do Estado Ambiental**

As forçantes levam à ocorrência de fenômenos ambientais específicos que, em determinada escala, podem ser estresses ou pressões ambientais, mas em outra, podem se tornar fatores de mudanças ambientais permanentes e condicionantes de outras mudanças e impactos na sucessão dos fenômenos ambientais (sinergias).

É importante destacar que os processos antrópicos sempre interagem com esses processos naturais, e na maioria das vezes ampliam seus efeitos.

Neste grupo estão os processos hidroclimatológicos. Os primeiros efeitos das mudanças climáticas globais são a elevação do NM e o aumento local/regional da temperatura do ar e da superfície do mar (pressões).

Em decorrência desses processos ocorre uma sucessão de outros fenômenos associados aos ciclos hidrológicos que se intensificam (mudanças), causando: aumento da precipitação; aumento da frequência e magnitude de eventos atmosféricos extremos; aumento da ocorrência de ressacas (marés meteorológicas e ondas de tempestade); modificação e provável aumento de intensidade e frequência do ENSO (verões e invernos mais quentes); maior frequência de ondas de calor; aquecimento das águas costeiras superficiais, doces, mixohalinas e marinhas; modificação dos ciclos biogeoquímicos nos ambientes terrestres e marinhos; acidificação do oceano.

A maioria desses processos já foi anteriormente discutida e está em curso na região Sudeste do Brasil, portanto também em São Paulo.

Todos os elementos biogeoquimicamente ativos existentes na natureza (água, carbono, nitrogênio, metano, fósforo, compostos orgânicos voláteis, entre outros) são regulados por trocas entre a superfície terrestre e a atmosfera (Ometto e Martinelli, 2008). Assim, as modificações nas concentrações desses elementos na atmosfera e na hidrosfera, bem como mudanças nas condições ambientais que regulam essas trocas (por ex., aumento da temperatura do ar e do mar), provocam alterações no balanço desses elementos e nas suas ciclagens nos ecossistemas terrestres e marinhos. A própria acidificação do oceano é um exemplo dessas alterações, como resposta ao

aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na água do mar induzindo o aumento da produção do ácido carbônico (Berchez *et al.*, 2008).

### **(3) Impactos**

Os impactos, que são efeitos e consequências dos fenômenos listados anteriormente, ocorrerão nos ambientes terrestres, marinhos e transicionais, sendo de ordem física, biológica e antrópica.

Nos ambientes marinhos, o aquecimento das águas e sua acidificação causam: (a) mortalidade de algas calcárias e de comunidades de zoantídios (corais moles) muito comuns nos costões rochosos (Ubatuba); (b) mudanças nos processos metabólicos, fisiológicos e comportamentais de muitos organismos (planctônicos e bentônicos, em especial dos ambientes neríticos), influenciando no crescimento, na sobrevivência, na taxa de reprodução, na fenologia e no sucesso do recrutamento dos mesmos; (c) contrações e expansões dos limites de distribuição geográfica de várias espécies, muitas das quais poderão migrar para regiões com temperaturas mais amenas (sul); (d) desaparecimento e introdução de novas espécies oriundas de outras regiões; (e) comprometimento da sobrevivência de animais calcificados como moluscos, corais, crustáceos, foraminíferos e outros; (f) redução dos substratos consolidados como os extensos bancos de algas calcárias presentes na plataforma continental; e (g) empobrecimento dos ecossistemas recifais, trazendo sérias implicações ecológicas e econômicas para a pesca ( Berchez *et al.*, 2008).

Em ambientes mixohalinos como os estuários e lagunas, certamente ocorrerão os mesmos impactos apontados nos itens (b), (c) e (d) descritos acima.

Os manguezais (planícies de maré) sofrerão dois processos: destruição parcial ou total em áreas antropizadas; migração paulatina para montante dos rios, invadindo terrenos fluviais e antigas depressões paleolagunares-estuarinas formadas durante o último evento transgressivo-regressivo do mar no Holoceno (Suguio & Martin, 1976) e colmatadas por sedimentos continentais. Com isso, áreas hoje ocupadas por sub-biomas formados por Brejo de Restinga/Depósitos Aluviais holocênicos a atuais, Floresta Paludosa e Floresta Alta de Restinga Úmida, ambas sobre as citadas depressões (Souza & Luna, 2008; Souza *et al.*, 2008, 2009), poderão ser inundadas e repovoadas por manguezais, florestas paludosas ou mesmo formarem novos ambientes lacustres e pantanosos.

Nos ambientes não estritamente marinhos, a intensificação dos ciclos hidrológicos e a elevação do NM provocarão aumento dos perigos e desastres naturais, já bastante

ativos no litoral paulista, destacando-se: (a) erosão costeira (Souza, 2009a), incluindo erosão praial e erosão em costões rochosos; (b) erosão lateral em canais fluviais, estuarinos e lagunares; (c) inundações/enchentes e alagamentos (Souza, 2009b); (d) movimentos gravitacionais (Tominaga *et al.*, 2004). Atualmente, mais de 50% das praias paulistas estão em risco muito alto e alto de erosão costeira, causada por processos antrópicos e naturais como a elevação do NM (Souza, 2009a). No período de 2000 a 2008, 50% dos atendimentos da Defesa Civil foram devidos a enchentes/inundações e 19% a movimentos gravitacionais, e o número de eventos e de pessoas afetadas vem crescendo progressivamente nas últimas décadas (CEDEC, 2009).

Da mesma forma, dada a alta produção de sedimentos, poderão se intensificar os processos de assoreamento, afetando as áreas portuárias, em especial a do Porto de Santos, incluindo também o Pólo Industrial de Cubatão. Por outro lado, a disponibilidade de sedimentos poderá favorecer os ambientes transicionais, diminuindo sua erosão potencial e contribuindo para a acumulação em planícies de inundação, barras de pontal, planícies de maré (manguezais), terraços lagunares, praias e outras feições costeiras.

Portanto, o sistema de drenagem e o balanço sedimentar costeiro serão afetados, havendo maior transporte de carga sólida e líquida (incluindo nutrientes e poluentes).

Tudo isso, somado ao aquecimento das águas superficiais, poderá levar ao aumento da concentração de nutrientes (fontes naturais e antrópicas) e da turbidez nos corpos d'água doce, acarretando sua eutrofização. Este fenômeno leva à simplificação estrutural da comunidade aquática, aumento da produtividade, crescimento não controlado de macrófitas aquáticas e floração de cianobactérias, algumas tóxicas (Bicudo & Bicudo, 2008). Esses metabólitos atuam nos mamíferos, afetando o fígado, as sinapses nervosas e o trato intestinal, podendo levar à morte. Consequentemente comprometem os ecossistemas aquáticos e terrestres próximos.

A ampliação vertical e lateral da intrusão da cunha salina na planície costeira e a elevação do nível do lençol freático (já bastante raso nessas planícies costeiras - Souza *et al.*, 2008, 2009), ambos devidos à elevação do NM e ao aumento da precipitação e de eventos extremos, também contribuem para os processos de eutrofização.

Outro ambiente importante e complexo é o sistema barreira-laguna formado pela Ilha Comprida/Mar de Dentro e a Ilha de Cananéia/Mar de Cananéia, no Litoral Sul, que representam paisagens singulares e ainda bastante preservadas. A migração natural da ilha barreira - Ilha Comprida - rumo ao continente deverá ocorrer associada

à continuidade da forte erosão praias em curso e da redistribuição dos ambientes na parte interna da laguna. A Ilha de Cananéia, mais antiga e interna, deverá ter sua área reduzida ainda mais por erosão lateral. Mais ao sul, outra extensa barreira arenosa (Ararapira) ancorada ao norte da Ilha do Cardoso e que se prolonga até a divisa com o Estado do Paraná, deverá sofrer aceleração dos processos erosivos em curso e o rompimento de seu terço sul (Enseada da Baleia), o que trará implicações político-administrativas para os dois estados.

Em relação à Mata Atlântica e aos ecossistemas associados, os impactos em áreas úmidas já foram comentados acima. Os ambientes secos são formados por depósitos marinhos de várias gerações (pleistocênicos e holocênicos) sobre os quais estão as Florestas Baixa e Alta de Restinga e a Vegetação de Entrecordões, e por terraços fluviais elevados (pleistocênicos a holocênicos) recobertos por Floresta Aluvial (Souza & Luna, 2008; Souza et al., 2008, 2009). Nesses sub-biomas, além das modificações no nível de plantas e animais, os processos erosivos irão atuar apenas nas bordas dos canais (erosão lateral) e junto à praia (ressacas e progressão da erosão costeira). Neste sentido, as dunas inativas que ocorrem apenas no Litoral Sul e já sofrem muita erosão, bem como o *escrube* (vegetação que ocorre nos primeiros cordões litorâneos em praias não erosivas), estarão bastante ameaçados, e poderão até desaparecer.

Mas as mudanças climáticas em si poderão resultar também em vários impactos no nível das plantas e animais que habitam o interior desses diferentes sub-biomas que formam a Mata Atlântica.

Como resposta aos aumentos progressivos de CO<sub>2</sub> e de temperatura (até certo limiar), a fisiologia e o crescimento das plantas poderão ser afetadas nos seguintes processos: fotossíntese líquida e respiração; condutância estomática e a eficiência do uso da água; alocação de carbono e crescimento; estrutura da planta e fenologia; e concentração de nutrientes (Buckeridge *et al.*, 2008). Apesar dos poucos estudos disponíveis, os autores afirmam que haverá impactos positivos, com o chamado efeito fertilizante, levando a maiores taxas fotossintéticas, crescimento mais rápido das plantas e acumulação de reservas. No entanto, para que esse efeito funcione, é preciso haver disponibilidade de outros nutrientes essenciais às plantas, como o nitrogênio e o fósforo (Souza *et al.*, 2008). Então, seriam necessárias alterações na fertilidade do solo, entrando em ação a microfauna, composta de fungos e bactérias. Os fungos micorrízicos (micorrizas) presentes no manto das raízes, que nessas florestas da planície costeira e baixa encosta da Serra do Mar ocorrem sempre nos primeiros 20 cm do solo (Moreira, 2007), são muito importantes para a ciclagem do fósforo, pois

produzem fosfatase. Segundo Ometto & Martinelli (2008), numa atmosfera com maior disponibilidade de carbono e possível alocação desse elemento como matéria orgânica para o solo, pode haver uma retroalimentação e assim aumento da disponibilidade de fósforo para o meio.

Nas florestas tropicais há uma categoria especial de plantas, as epífitas, que são importantes na hidrologia e na ciclagem de nutrientes e responsáveis por grande parte da biodiversidade que faz dessas florestas o mais complexo de todos os ecossistemas terrestres mundiais (Mercier & Freschi, 2008). Desequilíbrios nos ciclos dessas plantas causados, por exemplo, pela competição de espaço com árvores (projeções de explosão de crescimento), ou ainda pela fragmentação da floresta, poderão levar à derrocada das epífitas e conseqüentemente de toda a floresta.

Outro aspecto importante nesses sub-biomas de planície costeira e baixa encosta é a sua fragmentação, muito comum no litoral paulista, e que nos remete aos efeitos de borda. Os principais impactos desses efeitos em florestas são alterações do ciclo reprodutivos das plantas, que incluem os ciclos vegetativos, a produção de flores e frutos e o ritmo fenológico de crescimento e reprodução (Morellato, 2008).

Neste contexto de impactos positivos para as florestas prevê-se que, de maneira geral, os efeitos sobre os animais também seriam positivos. No caso dos mamíferos de Vivo (2008) conclui que, para aumentos da temperatura e da precipitação poderia haver os seguintes efeitos: (a) aumento da população de várias espécies (antecipação e extensão do período reprodutivo); (b) mudanças na distribuição geográfica, sendo as espécies florestais beneficiadas e as de áreas abertas prejudicadas; (c) os animais generalistas seriam os menos afetados, enquanto as espécies endêmicas e aquelas com preferências estritas por habitats seriam as mais ameaçadas; (d) poderia haver extinção de populações de espécies em determinadas áreas (principalmente nos enclaves) e até extinção de espécies (aquelas com distribuição geográfica pequena).

Para os anfíbios (Haddad *et al.*, 2008) as mudanças de temperatura e precipitação teriam impactos indiretos em relação a: (a) disponibilidade de habitats e alimento; (b) alterações na fenologia de reprodução; (c) aumento da vulnerabilidade imunológica; (d) interações biológicas de diversas ordens (alterações na competição entre espécies de anfíbios, na abundância de predadores e nas condições ótimas para ação de agentes infecciosos). Os efeitos poderiam levar à extinção local de populações de espécies de ampla distribuição geográfica, extinção de espécies dependentes de determinada formação vegetal, e extinção de espécies com modos de vida específicos e especializados.

Em relação aos insetos, que habitam tanto os ambientes naturais quanto os antropizados, sabe-se que os aumentos de temperatura e precipitação em geral desencadeiam aumento nas taxas de reprodução. Para o homem, os mais preocupantes são os mosquitos, especialmente aqueles responsáveis pela proliferação de patógenos e doenças como dengue, febre tifóide e febre amarela.

Também são motivo de grande preocupação a grande proliferação de vírus, fungos e bactérias, com previsões futuras ainda mais assustadoras. As causas estão principalmente relacionadas à falta de qualidade do ar e das águas (consumo e balneabilidade). Esses organismos são veiculadores de alergias e inúmeras doenças infecto-contagiosas.

Todos os impactos assinalados acima acarretam, em diversos níveis, o aumento generalizado das vulnerabilidades, dos danos potenciais e dos riscos não somente das populações e seus bens, mas também dos ecossistemas e, portanto, dos serviços ambientais e ecológicos.

Cabe ressaltar que esses serviços podem ser afetados de duas maneiras pelas mudanças climáticas: diretamente, através de modificações abióticas nos processos dos ecossistemas; e indiretamente, através dos impactos causados na biodiversidade (funcionalidade dos ecossistemas) (Lavorel *et al.*, 2009).

### **(5) Respostas**

Neste grupo se encaixam as modificações efetivas nos ecossistemas naturais e antrópicos resultantes de todas as modificações apresentadas anteriormente.

De maneira geral podem ser esperadas as seguintes respostas ambientais: (a) perda de terrenos nos ecossistemas - praias, restingas, ilhas arenosas, costões rochosos, recifes, dunas, manguezais, apicuns, marismas, brejos, ecossistemas de planície costeira e baixa encosta, floresta ombrófila densa; (b) perda de propriedades e bens devido aos perigos e desastres naturais; (c) redução de espaços habitáveis; (c) migração vertical de ecossistemas (incluindo espécies animais e vegetais) dependentes dos ciclos de maré; (d) expansão paulatina de alguns ecossistemas, principalmente áreas úmidas e alagadas; (e) inundação das depressões paleolagunares e transformação de sub-biomas em outros; (f) redistribuição geográfica de espécies animais e vegetais; (g) migração e extinção de populações e extinção de espécies vegetais e animais; (h) redução do potencial genético de alguns ecossistemas; (i) diminuição dos recursos pesqueiros; (j) perda de solos férteis, com lixiviação de macro e micronutrientes; (k) alterações na fertilidade dos solos e ciclagem de nutrientes; (l)

modificação dos processos pedogenéticos; (m) alterações físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas e comprometimento de sua qualidade (aumento da poluição, eutrofização); (n) diminuição da disponibilidade de recursos hídricos; (o) comprometimento dos sistemas de abastecimento de água (aumento da eutrofização e da proliferação de patógenos); (p) comprometimento dos sistemas de saneamento (redes de esgoto necessitarão ser redimensionadas devido à elevação do nível do mar); (q) interferências em atividades portuárias/retroportuárias, industriais, turísticas, agropecuárias, de fornecimento de serviços (água, saneamento básico, energia); (r) desconforto térmico; (s) comprometimento do bem-estar das populações (saúde física e mental, lazer, aspectos culturais, religiosos e estéticos); (t) aumento de doenças respiratórias, cardiovasculares, alérgicas, câncer de pele, dengue, gripes e resfriados, hepatite, cólera, distúrbios gastrointestinais etc.; (u) problemas relacionados à aplicação da legislação ambiental vigente, especialmente a incidente sobre áreas de preservação permanente; (v) perda do potencial turístico e cênico das paisagens costeiras; (w) provável aumento das populações migratórias do Nordeste e Norte do Brasil, devido aos impactos esperados das mudanças climáticas nessas regiões; (x) aumento das vulnerabilidades e riscos; (y) altos custos sócio-econômicos devidos a perdas, recuperações, mitigações e adaptações; (z) perda da qualidade de vida geral das populações costeiras e gerações futuras.

### **Considerações Finais**

Os efeitos das mudanças climáticas nos ambientes costeiros são diversos e extremamente complexos, dadas as grandes geodiversidade, biodiversidade e “antropodiversidade”.

Este trabalho é uma tentativa de resumir a gama de processos e fenômenos envolvidos e a complexa sinergia que existe entre eles, estando longe de abraçar todas as variáveis e realidades existentes no litoral paulista.

Ele vem ao encontro da nova Política Estadual de Mudanças Climáticas (Lei nº 13.798 de novembro de 2009), cujo objetivo maior é a obtenção de níveis adequados de sustentabilidade ambiental e dos setores econômicos e sociais, e a criação de medidas de adaptação às mudanças climáticas, devendo então nortear os rumos da gestão costeira paulista.

## Referências

- Berchez, F.A.; Cabral Filho, E.; Amâncio, C.E. & Ghilardi, N.P. 2008. Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas Globais nas Comunidades de Organismos Marinhos Bentônicos da Costa Brasileira. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p. 167-180.
- Bicudo, C.E.M & Bicudo, D. 2008. Mudanças Climáticas Globais: Efeitos sobre as Águas Continentais Superficiais. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p.151-165.
- Buckeridge, M.S.; Aidar, M.P.M.; Martinez, C.A. & Silva, E.A. 2008. Respostas das Plantas às Mudanças Climáticas globais. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p. 77-91.
- CEDEC – Coordenadoria Estadual de defesa Civil. 2009. *Banco de Dados de Atendimentos – Período de 2000 a 2008*. ([http:// www.defesacivil.sp.gov.br/](http://www.defesacivil.sp.gov.br/)).
- Haddad, C.F.B.; Giovanelli, J.G.R. & Alexandrino, J. 2008. O Aquecimento Global e seus efeitos na Distribuição e Declínio dos Anfíbios. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p. 195-206.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Summary for Policymakers. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, 18p. (<http://www.ipcc.ch>).
- Lavorel, S.; Sarthou, J-P. & Thuiller, W. 2009. How biodiversity response to changing climate feeds on to ecosystem processes underlying ecosystem services. *International Scientific Congress on Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 6, 302002, Copenhagen. (<http://climatecongress.ku.dk/abstractbook>).
- Marengo, J.A. 2007. *Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade. Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI*. MMA-SBioF-DCBio, Brasília, 2ª edição, p. 29-77. ([http://www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas)).

- Mercier, H. & Freschi, L. 2008. Flora Epifítica e Florestas Tropicais: uma Análise Fisiológica sobre Possíveis Impactos Causados pelas Mudanças Climáticas. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p. 93-100.
- Mesquita, A.R. 2003. Sea-level variations along the Brazilian coast: a short review. *Journal of Coastal Research*, SI35: 21-31.
- Moreira, M;G. 2007. *Associações entre os Solos, os Ambientes Sedimentares Quaternários e as Fitofisionomias de Planície Costeira e Baixa Encosta nas Bacias dos Rios Itagararé e Guaratuba (Bertioga-SP)*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica-SMA, São Paulo, 157 p.
- Morellato, L.P.C. 2008. Fenologia de Plantas e os Efeitos das Mudanças Climáticas. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p. 181-191.
- Nimer, E. 1979. *Climatologia do Brasil*. IBGE, Rio de Janeiro.
- Nobre, C.A.; Salazar, L.F.; Oyama, M.; Cardoso, M.; Sampaio, G. & Lapola, D. 2007. *Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade. Mudanças Climáticas e Possíveis Alterações para os Biomas da América do Sul*. MMA-SBioF-DCBio, Brasília, 2ª ed., p. 29-77. ([http://www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas)).
- Ometto, J.P.H.B. & Martinelli, L.A. 2008. Ciclos Biogeoquímicos. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p. 29-53.
- Richardson, K.; Steffe, W.; Schellnhuber, H.J.; Alcamo, J.; Barker, T.; Kammen, D.M.; Leemans, R.; Liverman, D.; Munasinghe, M.; Osman-Elasha, M.; Stern, n. & Waever, O. (eds.) 2009. *Synsthesi Report and Proceedings of the International Scientific Congress on Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions*, Copenhagen, 2009 (<http://climatecongress.ku.dk/pdf/synthesisreport/.../abstractbook>).
- Rohling, E.J.; Grant, K.; Hemleben, C.H.; Siddall, M.; Hoogakker, B.A.A.; Bolshaw, M. & Kucera, M. 2007. High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience* (published online in 16/12/2007, doi:10.1038/ngeo.2007.28).

- Sampaio, G., Marengo, J. & Nobre, C. 2008. A atmosfera e as Mudanças Climáticas. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p. 5-28.
- Sant'Anna Neto, J.L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.1, pp. 43-60, 2005.
- SOSMA/INPE – Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2008. *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período 2000-2005*. (Online: <http://mapas.sosma.org.br>, acesso em 05/11/2008).
- Souza, A.P. de; Gaspar, M.; Tiné, M.A. & Buckeridge, M.S. 2008. Ajustando os Botões: Como as Plantas Lidam com o Aumento do CO<sub>2</sub> Atmosférico? In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p. 100-113.
- Souza, C.R. de G. 2009a. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Conseqüências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: *Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de um Ano de Conhecimento Acumulado*. V.L.R. Bononi, Nelson A.S.Jr. (org.). SMA/SP - Instituto de Botânica, São Paulo, p. 48-69.
- Souza, C.R. de G. 2009b. Flood risk assessment in coastal drainage basins through a multivariate analysis within a GIS-based model. *Journal of Coastal Research*, SI 56, no1, pp. 900-904.
- Souza, C.R. de G. & Luna, G.C. 2008. Unidades quaternárias e vegetação nativa de planície costeira e baixa encosta no Litoral Norte de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 29 (1/2): 1-18. ([http://www.igeologico.sp.gov.br/dc\\_revista\\_indice.asp](http://www.igeologico.sp.gov.br/dc_revista_indice.asp)).
- Souza, C.R. de G. & Suguio, K. 2003. The coastal erosion risk zoning and the State of São Paulo Plan for Coastal Management. *Journal of Coastal Research*, SI 35, pp. 530-547.
- Souza, C.R. de G.; Moreira, M.G. & Lopes, E.A. 2009. Coastal plain and low-medium slope sub-biomes: a new approach based on studies developed in Bertioga (SP). *Brazilian Journal of Ecology*, Ano 13, nº ½, pp. 29-39.

- Souza, C.R. de G.; Hiruma, S.T.; Sallun, A.E.M.; Ribeiro, R.R. & Azevedo Sobrinho, J.M. 2008. *"Restinga": Conceitos e Empregos do Termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental*. SMA/SP - Instituto Geológico, São Paulo. 71p. ([http://www.igeologico.sp.gov.br/ps\\_down\\_outros.asp](http://www.igeologico.sp.gov.br/ps_down_outros.asp)).
- Suguio, K. & Martin, L. 1976. Mecanismos de gênese das planícies sedimentares quaternárias do litoral do Estado de São Paulo. *XXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, Ouro Preto. Anais, 1 (2): 295-305.
- Tominaga, L.K.; Ferreira, C.J.; Vedovello, R.; Tavares, R.; Santoro, J. & Souza, C.R. de G. 2004. In: Pejon, O. & Zuquette, L. (eds.). *5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, São Carlos (SP). Anais, p. 205-216 (CD-ROM).
- Vivo, M. de 2008. Mamíferos e a Mudanças Climáticas. In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. M.S. Buckeridge (org.), Rima Editora, São Carlos, p.207-223.