

Estudo sobre a vulnerabilidade na região do Delta do Parnaíba e da costa brasileira aos efeitos das mudanças climáticas

Sumário

03	Introdução
08	Clima e hidrologia
14	Elevação do nível do mar
18	Cenários de mudanças de clima
23	Mudanças na elevação do nível do mar
26	Sínteses: Projeções de impactos potenciais de extremo seca
28	Políticas públicas necessárias para o monitoramento e a adaptação às mudanças climáticas e elevação do nível do mar
32	Propostas para adaptação no caso do Delta do Rio Parnaíba em um cenário de elevação do nível do mar no cenário até 2050
34	Lacunas de conhecimento e recomendações para futuros trabalhos
36	Referências

Realização

Observatório do Clima

Autor

Jose A. Marengo

Design Editorial

Thiago Oliveira Basso

Como citar

Estudo sobre a vulnerabilidade na região do Delta do Parnaíba e da costa brasileira aos efeitos das mudanças climáticas (2021). Observatório do Clima. — 39 páginas.

O conteúdo desta publicação pode ser usado por qualquer pessoa, contanto que seja reconhecida a autoria do Observatório do Clima e citado os autores. Isto não representa uma licença para realizar uma releitura ou revenda de qualquer informação apresentada. Na medida permitida pela lei, o Observatório do Clima não aceita ou assume qualquer compromisso, responsabilidade ou dever de arcar com qualquer consequência de qualquer outra pessoa agindo ou se abstendo em função das informações contidas neste relatório ou por qualquer decisão nele baseada.

ISBN 978-65-998407-4-6

1. Clima
2. Hidrologia
3. Mudanças climáticas — Aspectos socioambientais

© 2021 Observatório do Clima. Todos os direitos reservados.

Introdução

O Brasil é um país com mais de 8.500 km de extensão. A zona costeira, área de interface entre o ar, a terra e o mar, representa um dos maiores desafios para a gestão do País. Diferentes e importantes ecossistemas compõem a geografia deste território, manguezais, de campos de dunas e restingas, de bancos de corais verdadeiros ou de arrecifes de arenito, de marismas e de áreas úmidas, caracterizando uma rica biodiversidade, abundância de recursos naturais vivos e não vivos, além de paisagens que proporcionam um grande potencial turístico. Segundo o IBGE (2010) 23,58% da população brasileira concentram-se na região litorânea.

Brasil é um país megadiverso, mundialmente conhecidos por suas exuberantes florestas tropicais. Devido à impressionante diversidade biológica nessas regiões, áreas mais secas ou menos florestais, como a Caatinga ou ecossistemas costeiros no Nordeste, receberam menos atenção ao longo da história (Silva et al 2017).

A bacia do Rio Parnaíba é a quarta maior bacia hidrográfica brasileira e a única totalmente nordestina. Nela contêm-se por inteiro a macrorregião Nordeste do Brasil. Está contida parte de três estados brasileiros, Piauí, Maranhão e Ceará sendo que o território do Estado do Piauí fica quase totalmente incluído no vale da bacia do Parnaíba.

O Delta do Parnaíba é considerado uma área de extrema importância ecológica. O ambiente é rico em diversidade biológica e apresenta diversos ecossistemas aquáticos, tanto de água doce e salobra quanto salgada. O Delta do Rio Parnaíba é considerado o terceiro maior do mundo e o único encontrado no Continente Americano a desaguar diretamente no oceano. O Rio Parnaíba após percorrer um longo trajeto (1.484 km) deságua no Oceano Atlântico, mas antes de entrar no mar divide-se em três braços, separados por dezenas de ilhas repletas de florestas tropicais. Sua área é estimada em cerca de 2.700 km², inicia em forma retangular e abre-se num leque com mais de 15 km de extensão. O Delta inicia a cerca de 20 km acima

da cidade de Parnaíba. É um produto não só do rio, mas uma combinação dinâmica com o mar, originando uma comunidade biológica única. Caracteriza-se como uma região Fúlvio-marinha bastante dinâmica formada pela tensão ecológica entre as formações de Cerrado, Caatinga e Sistemas marinhos. Devido à sua alta produtividade primária é considerado como um santuário reprodutivo para inúmeras espécies migratórias (Guzzi 2012).

A riqueza e abundância dos recursos pesqueiros (peixes, caranguejos, camarões, ostras, mariscos etc.) da Área de Proteção Ambiental (APA) Delta do Parnaíba estão relacionadas ao modo tradicional da pesca, que utiliza apetrechos como a tarrafa, linha, caçoeira, groseira, landuá, respeitando a reprodução das espécies e garantindo a qualidade de vida das comunidades. A APA Delta do Parnaíba provê serviços ecossistêmicos importantes, como: fornecimento de água potável; provisão de nutrientes e de alimentos; belezas cênicas; recursos medicinais; regulação climática local; conservação do solo; enfrentamento da erosão costeira e do avanço da salinização de ambientes aquáticos e terrestres por causa da contenção combinada de dunas e mangues; e geração de energia renovável. Além disso, a diversidade de biomas no delta resulta em refúgio para alimentação e reprodução de várias espécies, contribuindo com a conservação de recursos genéticos (ICMBio 2019). O Delta possui uma zona costeira constituída por um sistema contínuo de manguezais, com o aporte de grandes quantidades de água doce, provenientes de extensos rios e igarapés e altas variações de amplitudes de maré.

Considerada como área de grande vulnerabilidade às mudanças climáticas, a região padece de importantes lacunas quanto ao conhecimento que se tem da área tanto em termos de sensibilidade aos eventos extremos de clima, sobretudo à elevação do nível do mar, quanto as possíveis formas de adaptação ao problema para enfrentar o problema no presente e no futuro. O aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de

chuva afeta os extremos hidrológicos dos rios e a elevação no nível médio do mar podendo aumentar a exposição a risco de inundações e erosão em zonas costeiras com impacto na biodiversidade e comunidades tradicionais.

O Delta do Parnaíba é constituído por cerca de setenta ilhas arenosas pouco elevadas em relação do nível do mar, separadas por canais fluviais. A área de interação do rio com o mar abriga um importante ecossistema, onde predominam mangues, além de populações extrativistas, que vivem da pesca artesanal. O Delta é um tipo de embocadura múltipla ramificada em várias dezenas de ilhas (cerca de 70), separadas e entalhadas por canais anastomóticos. Esta foi considerada Área de Proteção Ambiental (APA), criada pelo Decreto Federal de 28 de agosto de 1996, envolvendo áreas do Maranhão, Piauí e Ceará, num total de 313.809 ha perfazendo um perímetro de 460.812m. de extensão, incluindo a área marítima. No Piauí a APA abrange os municípios de Parnaíba, Luiz Correia, Ilha Grande de Santa Isabel e Cajueiro da Praia (IBAMA, 1998). A região deltaica do Parnaíba abriga condições fisiográficas e ecológicas bastante complexas e dotadas de originalidade ímpar.

O delta é integrado por um conjunto de ecossistemas embutidos em tabuleiros pré-litorâneos da Formação Barreiras. Trata-se de um tipo de desembocadura múltipla, ramificada em um arquipélago com cerca de setenta ilhas de variadas dimensões. O Parnaíba chega ao Atlântico através de cinco barras, quatro das quais situadas no Maranhão e apenas a de Igarçu no Piauí. Refere-se da única feição deltaica das Américas, localizadas em mar aberto (IBAMA, 1998).

As tendências de tempestades mais intensas podem aumentar o risco das populações em

idades costeiras a eventos como enxurradas, deslizamentos de terra e inundações costeiras. Assim as cidades costeiras brasileiras demandam de investimentos e medidas de adaptação frente às mudanças climáticas, com foco na redução de riscos e minimização dos impactos ocasionados pelos eventos extremos climáticos e oceanográficos observados no presente e projetados para o futuro (PBMC 2017). Estes estudos avaliam a vulnerabilidade das cidades costeiras do Brasil a elevação do nível do mar e mudanças de clima, mas com foco em áreas urbanas. Estudos recentes publicados em 2017 (Marengo et al 2017 a, b) avaliar os

Fornecimento de água potável; provisão de nutrientes e de alimentos; belezas cênicas; recursos medicinais; regulação climática local; conservação do solo; enfrentamento da erosão costeira e do avanço da salinização de ambientes aquáticos e terrestres por causa da contenção combinada de dunas e mangues; e geração de energia renovável.

impactos da elevação do nível do mar consequência da mudança climática na cidade de Santos, com propostas de medidas de adaptação aos vários níveis de aquecimento. Mas, novamente o foco foi em áreas urbanas. Faltam estudos dos impactos da mudança de clima e elevação de nível do mar em ecossistemas costeiros.

Nesse contexto, o presente documento pretende discutir ten-

dências de clima e impactos na hidrologia da região do Delta do Rio Parnaíba, e possíveis cenários de mudanças no clima e de elevação do nível do mar nos ecossistemas costeiros. Também se procura abrir ao debate a necessidade de medidas de adaptação às mudanças climáticas, tendo como estudo de caso a Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba, localizada na divisa dos Estados do Maranhão e do Piauí, região onde o Rio Parnaíba desemboca no Oceano Atlântico. Pretende abrir ao debate a necessidade de medidas de adaptação às mudanças climáticas na Resex, através de uma extensiva revisão técnica e bibliográfica e de estudos de tendências climáticas e de elevação do nível do mar no presente e projetados pelos modelos do IPCC até 2100 e os seus impactos nos ecossistemas do Delta do Rio Parnaíba.

Área de estudo

A área de estudo é a Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba (Resex), localizada na divisa dos Estados do Maranhão e do Piauí, região onde o rio Parnaíba desemboca no oceano Atlântico. Trata-se de um fragmento da faixa de aproximadamente 8.500 km da zona costeira brasileira. A unidade de conservação foi criada em 2.000 e abrange uma área de mais de 27 mil hectares de três municípios (Araioses, Água Doce e Ilha Grande).

A Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba é uma unidade de conservação federal do Brasil categorizada como reserva extrativista e criada por Decreto Presidencial em 16 de novembro de 2000 numa área de 27.021 hectares no estado do Maranhão e Piauí. A Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba é uma unidade de conservação federal do Brasil categorizada como reserva extrativista e criada por Decreto Presidencial em 16 de novembro de 2000 numa área de 27.021 hectares no estado do Maranhão e Piauí. O relevo da reserva é formado por ilhas, ilhotas, mangues, praias e dunas com até 40 metros de altura. São formados canais em meio a 72 ilhas. Na Resex Marinha Delta do Parnaíba, os mangues e lagoas na parte terrestre que circunda esta zona garantem

o manancial de água doce, facilitador da dispersão de peixes-boi (*Trichechus manatus*) na região (ICMBio 2019).

Fica localizada entre os municípios de Araioses (MA) e Ilha Grande (PI). Abrange algumas ilhas do Delta do Parnaíba, como a ilha das Canárias, a segunda maior do delta, com povoados (Canárias, Passarinho, Caiçara, Torto e Morro do Meio) e aproximadamente 3.000 habitantes. A maioria dos moradores se dedica à pesca, à cata do caranguejo-uçá, do guaiamu e dos moluscos (como o sururu), e à agricultura em pequena escala. Os manguezais da região sustentam o modo de vida tradicional de caçadores de caranguejo. Ecossistema florestal de beira mar depende do fluxo das marés para existir e manter a produtividade de espécies de importância socioeconômica, como caranguejos, siris, ostras, mariscos, camarões e peixes. E estão ameaçados, de acordo com a versão atual do Plano de Manejo não apenas pelas mudanças climáticas, mas por outros fatores, como as barragens no rio Parnaíba e desmatamento.

A APA Delta do Parnaíba provê serviços ecossistêmicos importantes, como: fornecimento de água potável; provisão de nutrientes e de alimentos; belezas cênicas; recursos medicinais; regulação climática local; conservação do solo;

Figura 1. Áreas protegidas no Delta do Parnaíba. A área da Resex aparece em amarelo



Fonte: ICMBio 2019.

enfrentamento da erosão costeira e do avanço da salinização de ambientes aquáticos e terrestres por causa da contenção combinada de dunas e mangues; e geração de energia renovável. Além disso, a diversidade de biomas no delta resulta em refúgio para alimentação e reprodução de várias espécies, contribuindo com a conservação de recursos genéticos (ICMBio 2019).

Objetivos

- **Identificar as tendências climáticas** atuais (temperatura, precipitação, extremos, nível do mar) na região Resex e projetar tendências futuras usando projeções climáticas do IPCC AR5 (RCP4.5 para emissões moderadas e RCP8.5 para emissões elevadas) com regionalização via modelo Eta (Chou et al. 2014) e Climate Central para elevação do nível do mar (Reyer et al. 2017, Kulp e Strauss 2019).
- **Identificar tendências da vazão do Rio Parnaíba** em áreas próximas do delta do rio (bacia baixa) e projetar estas tendências até 2050 usando projeções de vazão dos modelos do IPCC AR5.
- **Sugerir políticas públicas necessárias para o monitoramento** e a adaptação às mudanças climáticas tendo em vista a importância ambiental da região e a existência de populações tradicionais abandonadas pelas políticas governamentais.
- **Propor medidas de adaptação** para o Delta em um cenário de aumento do nível do mar até 2050, com foco na conservação e restauração dos mangues.
- **Apontar as lacunas de conhecimento** mais importantes, indicando as mais urgentes.

Métodos

Para estudar as tendências climáticas e hidrológicas serão utilizadas séries climática e hidrológica na região da bacia baixa do Rio Parnaíba fornecida pelo INMET, pela ANA e pelo CPTEC assim como jornais. Também serão usados cenários climáticos futuros derivados do modelo global do IPCC AR5 HadGEM2 ES usando o modelo regional Eta e disponibilizados pelo INPE. Os cenários serão de médias e altas emissões de gases do efeito estufa (RCP4.5 e 8.5, Chou et al 2014). Os cenários de níveis de emissão (denominados do inglês: Representative Concentration Pathways - RCPs) utilizados para as projeções dos dados climáticos (4.5 e 8.5) são oriundos do Relatório do IPCC - AR5 (IPCC 2013). Estes RCPs são a terceira geração de cenários de mudanças climáticas do IPCC.

Foi usado os índices de impacto potencial de secas desenvolvido por Camarinha (POMUC 2018). Estes índices foram calculados tanto para o período de referência (1961-1990) quanto para o período futuro (2011-2040), a partir do modelo Eta-HadGEM2 ES. Ressalta-se, dizer que os índices de impacto potencial utilizaram os cenários de modelos que projetam dos índices de extremos de precipitação (Rx1day, Rx5day, R95p e CWD, Frich et al 2002) na componente climática, assim como sub-índice de exposição social da população.

A partir dos índices de extremos de precipitação calculados pelo INPE (Chou et al. 2014), foram selecionados alguns índices específicos para os extremos climáticos que representem a dinâmica climática dos extremos de precipitação para as diferentes regiões do Brasil. Os índices selecionados estão descritos na Tabela 1, a seguir.

Detalhes sobre estes índices de extremos de precipitação e do índice de impacto potencial podem ser achados em Debortoli et al (2016), Camarinha et al (2017). O índice de impacto potencial servirá justamente para apontar quais são as áreas prioritárias que devem ter alocação de recursos públicos para aumentar a capacidade dos municípios e comunidades se adaptarem.

Tabela 1. Índices de Extremos de precipitação e temperatura selecionados para a análise

ID	Descrição	Unidade	Definição
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	mm/dia	Máximo de precipitação ocorrido em 1 dia
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	mm/5dias	Máximo de precipitação acumulada em 5 dias consecutivos
CWD	No. de dias úmidos (RR> consecutivos)	Dias	Número máximo de dias consecutivos com RR≥1 mm
R95p	Dias muito úmidos	mm/dia	Precipitação diária total em que RR> percentil 95, considerando a estatística de um período (ex: ano)
TN90	Noites quentes	%	Porcentagem de tempo em que a temperatura mínima supera o percentil de 90th (Tmin> percentil 90th)

Para a região de estudo serão apresentados mapas anuais de Março-Abril-Maio (MAM) que é o pico da estação chuvosa na região em estudo. São apresentadas mudanças (diferenças ou anomalias) entre o futuro (2011-40, 2041-70 e 2071-2100) relativo a 1961-90 para precipitação P, temperatura T, Temperatura diurna, umidade relativa e vento em superfície, índice de dias secos consecutivos, e precipitação intensa derivadas do modelo Eta-Had2GEM ES, com resolução horizontal de 20 km lat-lon. Com isso se espera a identificação de mudanças nos padrões térmicos e hídricos e

do transporte de umidade que vem do oceano Atlântico tropical norte, assim como da presença do período secos alternados com episódios de chuvas intensas. Todo isso pode gerar nas atividades humanas, infraestrutura e ecossistemas da região do delta do Rio Parnaíba.

As projeções de elevação do nível do mar vêm dos modelos do IPCC AR5 cenários RCP 4.5 e 8.5 de Reyer et al (2017), e do Climate Central (Kulp e Strauss 2019) para a área costeira dos estados de MA, PI e CE.

Clima e hidrologia

A Região Hidrográfica do Parnaíba possui características climáticas peculiares, apresentando clima semiárido em sua porção oriental, sub-úmido em sua porção ocidental e úmido na sua porção sudoeste. Os sistemas climáticos que atuam na região, responsáveis pela ocorrência das precipitações pluviométricas, são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as Linhas de Instabilidade Tropical (LIT) provenientes da Amazônia Oriental. O El Niño e La Niña e o Oceano Atlântico Tropical são fenômenos que ocorrem com frequência e com intensidades variáveis influenciando as condições de clima na Região Nordeste, diminuindo ou aumentando os totais de chuva, respectivamente. Nas últimas décadas veem se observando um aumento da frequência de ocorrência destes fenômenos, assim como uma seca que afeta a região do semiárido do Nordeste desde 2012 (Marengo et al 2017c). Também as frentes frias, tem influência no clima da porção norte do Nordeste brasileiro. Essa influência se faz sentir principalmente no desenvolvimento da nebulosidade e no processo de convecção continental.

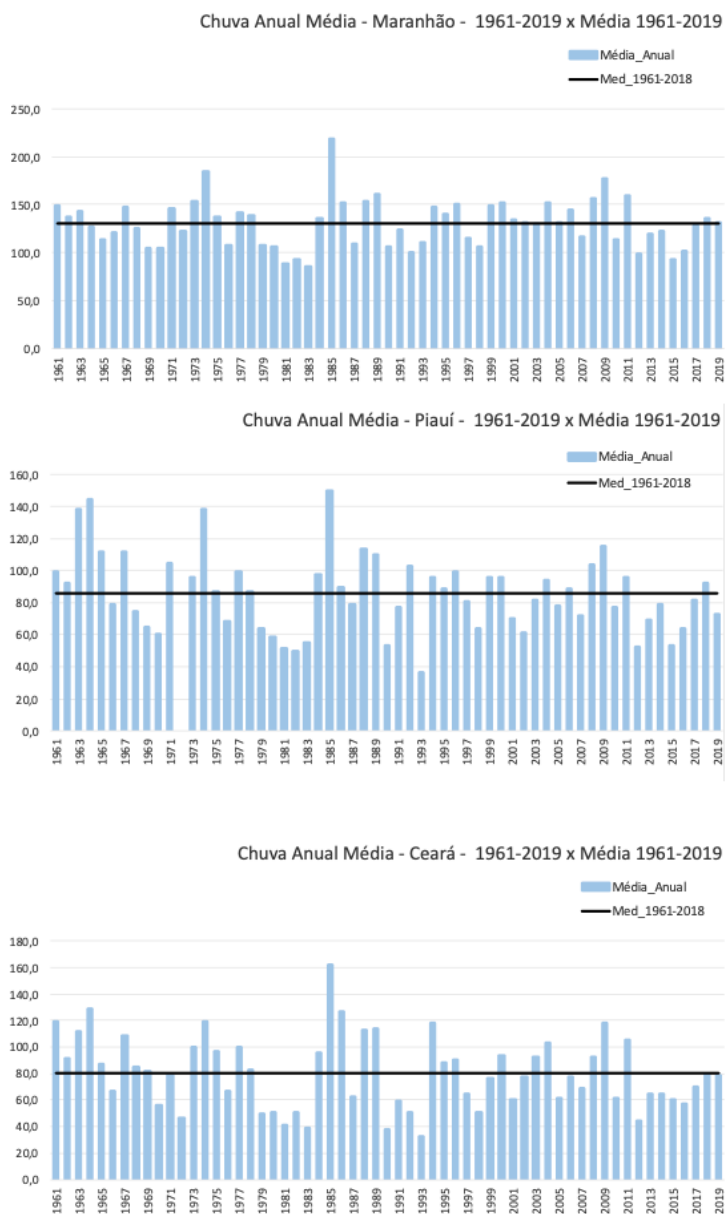
O clima é caracterizado por amplitudes térmicas variando de 25 a 30°C e precipitações médias anuais superando 1.200 mm, concentradas principalmente de janeiro a maio (IBAMA, 1998). As condições térmicas da faixa litorânea dessa porção do litoral norte do Nordeste brasileiro se apresentam estáveis e com variabilidade média mensal mínima ao longo do ano. Para do município de Parnaíba, considerando-se os valores médios mensais de temperatura do ar referentes ao período de 1978 a 1987, percebe-se uma variação de 26,6°C a 27°C. Quanto à evapotranspiração e ao balanço hídrico, as taxas são elevadas durante todo o ano, em função de índices térmicos também muito elevados. As precipitações médias anuais são superiores a 1200 mm, tanto em Parnaíba (1385,6 mm) como em Luís Correia. (1201,1 mm) (CEPRO, 1996).

A respeito da hidrologia de superfície e da hidrogeologia, tem especial atenção às bacias do Parnaíba e as bacias hidrográficas conjugadas ao rio Ubatuba, compostas por cinco bacias menores formadas pelos rios Ubatuba, Camurupim, Timonha e pelos riachos Cajueiro e Tebocal. Outros pequenos sistemas fluviais, como os que são formados pelos rios Portinho e Sobradinho, têm seus baixos cursos barrados pelos campos de dunas.

Na região hidrográfica do Baixo Parnaíba/Longá, o quadro pluviométrico também se mostrou próximo à faixa de normalidade, com os postos Luzilândia e Pedrinhas apresentando classificação “ligeiramente seca” e os demais postos todos classificados com regime normal. O menor total precipitado até agosto foi observado em Luzilândia (953,8 mm, desvio de -23,8%), enquanto o maior índice pluviométrico acumulado no ano foi observado em Coelho Neto (1.569,2 mm), estação que também apresentou o maior desvio positivo em relação à série histórica, 4,3%. Finalmente, na região hidrográfica do Baixo Parnaíba/Longá, o rio Parnaíba em Luzilândia também apresentou cota média no período de janeiro a agosto abaixo do esperado, mas em uma severidade menor que o observado nas estações a montante. Enquanto a média histórica do período 1982-2016 para o intervalo de janeiro a agosto é de 252 cm, o valor médio observado até o momento é de 207 cm, 18% menor. Em relação à cota mínima registrada no ano, 115 cm, ela é 22% maior que a mínima histórica, 94 cm.

A chuva média nos estados de MA, PI e CE apresenta, uma forte variabilidade interanual, com reduções de chuva durante anos de El Niño em 1983, 1998 e depois o período da seca do semiárido que começou em 2012 até 2018, associadas ao Atlântico Tropical Norte mais quente (Marengo et al 2017c, Brito et al 2017, Alvala et al 2017). As chuvas se recuperam a partir de 2018 (Figura 2).

Figura 2. Chuva média anual dos estados de Maranhão, Piauí e Ceará de 1961 ate 2019

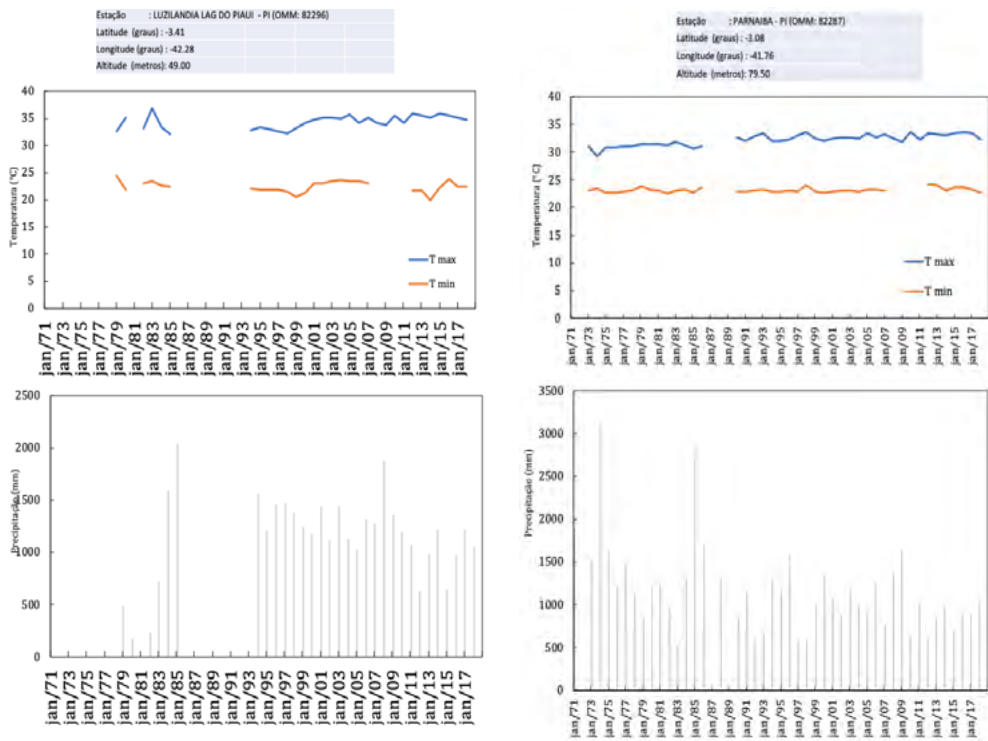


Fonte: INMET

Nas estações climáticas de Paraíso e Luzilândia localizadas na bacia baixa, observa-se a tendência de aumento gradativo das temperaturas máximas e mínimas, ainda que as séries apresentem falhas. Peneireiro e Orlando (2013) mostram que em seis locais

maranhenses houve evidência de tendência positiva com significância. No estado do Piauí, seis cidades não acusaram qualquer tendência nas medidas de temperatura máxima, entretanto em outras nove localidades houve tendências positivas significativas.

Figura 3. Tendências das temperaturas máxima e mínima anual em Luzilândia e Parnaíba; precipitação acumulada anual nas mesmas estações



Fonte: INMET

Os mesmos autores detectaram tendência positiva em duas cidades do Maranhão, Imperatriz com significância acima de 10% (+) e Chapadinha com índice entre 5% e 10%. No estado piauiense, a cidade de Bom Jesus do Piauí acusou tendência negativa acima de 10%. Os outros 21 municípios desses dois estados, o que significa 87,5% do total, não registraram quaisquer indícios de tendências na precipitação.

Na chuva, observa-se uma variação interanual com os extremos de seca associados ao El Niño e o Atlântico Tropical Norte (menos chuva e vazões na bacia). Observasse um período de chuvas menores que a média a partir de 2012, consistente com a seca que se instalou na região semiárida em 2012 (Figura 3). Isso se observa também nas médias dos estados de MA, PI e CE (Figura 2). Esta seca que começou em 2012, de um modo geral a seca

afetou severamente a produção agrícola das principais culturas temporárias e permanentes, principalmente a partir de 2012. A seca de 2012-2015 acarretou um decréscimo na pecuária a partir do ano de 2012. Houve uma queda acentuada na produção de mel de abelha nos anos de 2012 e 2013, com uma ligeira recuperação em 2014 e 2015 (de Lima et al 2017). Por outro lado, Nascimento et al (2019) constatou de algumas tendências climáticas locais e até mesmo para o Estado, tais como período mais seco, maiores números de estiagem entre os anos de 1998-2017 levando ao aumento de focos de queimadas para estado do Piauí. Observou-se ainda a aceleração e diminuição hídrica, visto o declínio da precipitação em anos mais recentes (após de 2010) quando comparados a dados antigos (1964), levando a concluir que eventos climáticos e até mesmo ação antrópica estejam contribuindo para este cenário em escala local.

Em termos fluviométricos, entretanto, foi observado, em todos os cursos d'água principais da bacia, a ocorrência de cotas médias inferiores aos registros históricos, sendo que em muitos pontos de monitoramento analisados, as cotas mínimas verificadas até o mês de agosto de 2017 se constituem nos menores valores observados na série histórica, consistente com a redução de chuvas até 2017 (Figuras 2 e 3). Esse é o caso do rio Parnaíba na cidade de Teresina, evidenciando o severo quadro de estiagem que assola a região, especialmente na poção semiárida da bacia, que abrange as sub-bacias dos rios Canindé/Piauí e Poti, onde foram verificados os maiores desvios negativos, desde 2012 até 2017.

No Baixo Parnaíba, onde fica a área de estudo, a sub-bacia Parnaíba 07 (Longá/Parnaíba) apresenta uma área de 42.821 km² e uma vazão específica de 272,0 m³/s obtidos através da vazão específica média dos postos fluviométricos com mais de 20 anos de dados em cada Sub-bacia (MMA 2006). Já na sua parte baixa, a vocação é a rizicultura e o cultivo de soja, em desenvolvimento no Município de Brejo, considerado hoje a nova fronteira agrícola dentro da região. Há, também, atividades de extrativismo vegetal, como a exemplo da cera de carnaúba. Na parte litorânea, a vocação é para as atividades de pesca, cata de caranguejo e turismo no Delta do Parnaíba, além da caprinocultura bem desenvolvida na região, que abastece os mercados de Fortaleza.

A Figura 4 apresenta as vazões anuais e mensais do Rio Parnaíba na estação Luzilândia, desde 1982 até 2018. Observa-se uma tendência negativa com valores menores em anos de El Niño 1983, 1986, 1997, 2015 e no período de 2012 até 2017, anos da seca do semiárido. Isso também se observa nas médias mensais com a tendência de recuperar vazões a partir de 2018. O estudo de Penereiro e Orlando (2013) apresenta uma tendência significativa de diminuição do índice na vazão do rio Parnaíba em Barão de Grajaú a partir de 1990 para essa localidade.

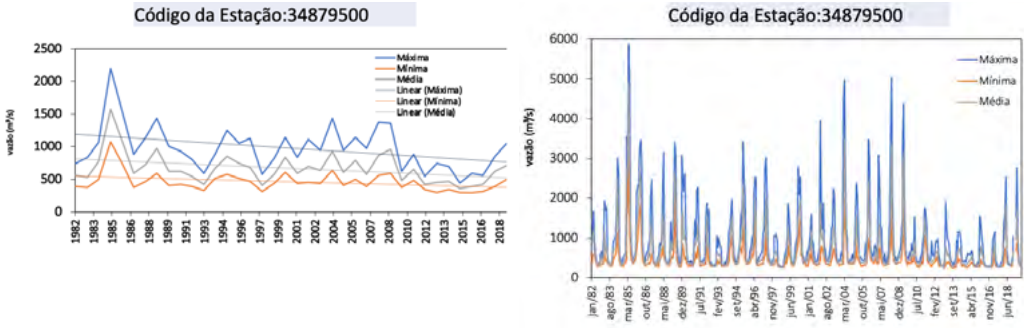
Porém, o período é relativamente curto para detectar tendências de aumento ou redução gradativa das vazões do Rio Parnaíba. Consistente com as tendências de aumento das chuvas desde 2018 (Figura 4, 5) as vazões tendem a se recuperar, como observado a partir de 2018.

Ao analisar a distribuição de tendências para as medidas da vazão no rio Parnaíba constata-se uma ausência de diminuição ou aumento no índice desse parâmetro hidrológico. Possivelmente isso esteja relacionado à regularização dos níveis de vazão ao longo do ano, visto que a precipitação é mais intensa nos meses de fevereiro a abril, enquanto de maio a setembro os índices são menores. Como consequência, a operação do reservatório, particularmente relacionada às alterações de vazão, segue o padrão de variação anual da precipitação pluviométrica que ocorre na região (Marengo et al 1998, Penereiro e Orlando 2013). Apesar da grande distância do reservatório Boa Esperança até o Delta do Parnaíba, esta alteração no regime de vazões impacta em sua foz, onde se verifica a diminuição de vazão de 2009 a 2016.

Segundo a Figura 4, não há mudança na vazão observada do rio Parnaíba, existindo períodos de maior ou menor vazão consistente com a variabilidade das chuvas. Assim, não há evidências de redução gradativa da vazão desde os anos 1980. Porém as séries de dados de chuvas e vazões na bacia baixa do Rio Parnaíba não são longas o suficiente para detectar tendência de aumento ou redução gradativa.

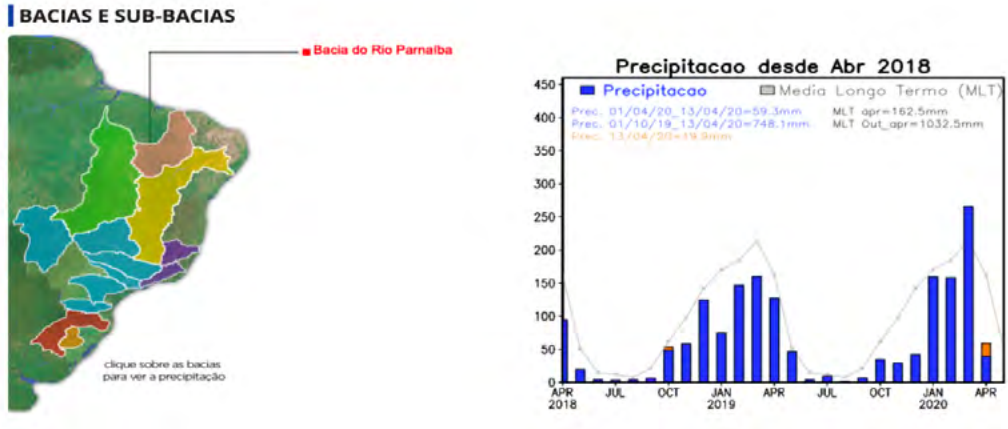
Quanto ao uso e demanda, nota-se que a irrigação, o abastecimento humano e aquicultura são os grandes responsáveis pela demanda hídrica superficiais na região do Baixo Parnaíba. A tendência de crescimento destas demandas, sobretudo a demanda de irrigação (crescimento previsto de 3,3% a.a.) e da possível demanda industrial potencializada pela indústria de papel e celulose, devem reduzir ainda mais a vazão do Rio Parnaíba.

Figura 4. Vazões do Rio Parnaíba em Luzilândia 1981 a 2018, máxima, mínima e média anual (painel superior) e mensal (painel inferior)



Fonte: ANA

Figura 5. Chuva mensal integrada na bacia do Rio Parnaíba de Abril 2018 ate Abril (parcial) 2020



Fonte: PROCLIMA-CPTEC/INPE

O monitoramento feito pelo CPTEC (Figura 5) mostra aumentos significativos nas precipitações do Rio Parnaíba em 2018 e 2019, particularmente em março de 2020, o que sugere uma recuperação das chuvas na bacia do Rio Parnaíba desde 2018, após o final da seca do semiárido. Em 2019, o Rio Parnaíba atingiu nível de atenção para inundação em Luzilândia, em 2 de abril grande volume de chuva acumulado nos últimos 10 dias no Estado, somado ao aumento do nível da barragem de Boa Esperança, contribui para a subida das águas do rio. As fortes chuvas que tem caído no Piauí, em especial na região Norte do Estado, tem causado danos e prejuízos aos

moradores das principais cidades do Estado, a exemplo de Parnaíba e Teresina. Mas outro fator também tem ligado o alerta de autoridades: o aumento considerável do nível dos rios Parnaíba e Poti.

No dia 2 de abril 2019, segundo o monitoramento da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), o rio Parnaíba já atingiu a Cota de Atenção para risco de inundação na cidade de Luzilândia e se aproxima da Cota de Alerta. A Cota de Atenção é de 4 metros e o nível do rio nesta cidade já chegam a 4,61 metros, podendo subir para 4,64 metros nas próximas 12 horas caso o volume de chuva permaneça alto. Os

números já são suficientes para que o Velho Monge em Luzilândia se aproxime do Nível de Alerta para ocorrência de inundações, que é de 5 metros. Além da chuva, outro fator que interfere bastante no nível do Rio Parnaíba é o nível da Barragem de Boa Esperança. Segundo o monitoramento da Chesf, os reservatórios da Usina de Boa Esperança estão com 82,9% de seu volume útil. Há um mês, o nível era de 52%, ou seja, com o acumulado de chuva de março – que já é o mês mais chuvoso dos últimos 10 anos no Estado – o nível de Boa Esperança subiu cerca de 30%. A Chesf informou que ainda não houve necessidade de se abrir as comportas da barragem, mas que se o nível da água chegar ao máximo, o mecanismo deverá ser acionado e a as águas do Parnaíba deverão subir ainda mais por conta da vazão.

Em outubro 2019, de acordo com a Chesf, que opera a barragem é responsável pela Bacia do Parnaíba, a vazão de defluência do Velho Monge subiu de 251 m³/s no último dia 12 de outubro para 544 m³/s nesta quarta-feira (23). O aumento foi de 293 m³/s em apenas onze dias. A princípio, este aumento de vazão teria sido causado pelas chuvas em regiões de afluentes do Parnaíba, mas a companhia disse que ainda está procurando saber as causas exatas disso. A Chesf ressaltou ainda que a barragem de Boa Esperança está com seu limite de armazenamento dentro da normalidade e do esperado para este período do ano. Segundo a assessoria da empresa, o reservatório está operando com 60%, 77% de seu volume útil. O fato é que a subida do nível do Parnaíba, mesmo que dentro da normalidade, já causou transtornos a quem depende dele para gerar renda. O restaurante que fica

localizado sobre uma das coroas do rio, próximo ao Troca-Troca teve que ser desativado por risco de alagamento.

Em 14 de março de 2020, a altura das águas do rio Poti estava em 4,99 metros, tendo atingido na tarde de hoje o nível de 6,74 metros. Com as chuvas previstas para a noite de hoje e a madrugada, a previsão é de que as águas do Poti subam mais, podendo atingir os 7,26 metros, ou seja, ficar a 74 centímetros de sua cota de atenção. Assim com o Poti, o rio Parnaíba em Teresina também tem registrado um aumento do seu nível, ainda que em escala menor. De ontem para hoje, as águas do Velho Monge saíram de 3,53 metros para 3,74 metros, um aumento de 21 centímetros dentro do intervalo de 24 horas. Vale lembrar que na região Norte do Piauí, o rio Parnaíba já se encontra na cota de alerta, acima dos 5 metros, embora nas últimas 24 horas, o nível de suas águas tenha diminuído de 5,21 metros para 5,05 metros. A cidade de Luzilândia, que é banhada pelo Velho Monge na região Norte encontra-se em risco moderado de inundação, conforme o alerta do CEMADEN.

Isso mostra que após o período de seca de 2011 até 2017, o rio Parnaíba recuperou-se e devido às chuvas desde 2018 as enchentes foram mais intensas e frequentes, afetando a população e transporte. Isto é consistente com o monitoramento feito pelo CPTEC (Figura 5) mostra aumentos significativos na precipitação na bacia do Rio Parnaíba em 2018 e 2019, particularmente em março de 2020, o que sugere uma recuperação das chuvas na bacia do Rio Parnaíba desde 2018, após o final de seca do semiárido.



Elevação do nível do mar

O nível do mar na costa brasileira tende a aumentar nas próximas décadas. O nível médio do mar no período de 1850 até 2010 subiu cerca de 20 centímetros. Isso ocorre através de dois fenômenos físicos distintos: a dilatação da água dos oceanos e o derretimento das geleiras continentais. No Brasil, contudo, onde mais de 60% da população vive em cidades costeiras, não há um estudo integrado da vulnerabilidade dos municípios litorâneos a este e a outros impactos decorrentes das mudanças climáticas, como o aumento da frequência e da intensidade de chuvas. O Nordeste é particularmente vulnerável ao aumento do nível do mar regional e global. Já observamos no Brasil várias áreas com aumento da erosão costeira.

Entre as principais consequências da elevação do nível do mar, entre diversas outras, estão o aumento da erosão costeira, da frequência, intensidade e magnitude das inundações, da vulnerabilidade de pessoas e bens e a redução dos espaços habitáveis. Entre as principais ameaças temos o vento, ondas e nível do mar, que tem impactos costeiros diretos, tais como inundações, erosão, danos materiais, físicos, ambientais, e etc. A erosão soma os efeitos inclui nível do mar, altura das ondas e a direção das ondas. A erosão costeira, Ascenso no nível médio do mar, aumento de energia das ondas, tem aumentado a frequência da ocorrência de grandes temporais. Virada nos ventos gera mudanças nas ondas (direção e períodos de retorno). Impactos dos temporais dependem também das ações humanas (portos, obras, etc.).

Entre 1901 e 2010 o nível médio do mar globalmente aumentou 19 centímetros – com variação entre 17 e 21 centímetros (PBMC 2017). Entre 1993 e 2010, a taxa de elevação correspondeu a mais de 3,2 milímetros (mm) por ano – com variação entre 2,8 e 3,6 mm por ano. Segundo o estudo do PBMC (2017),

No Brasil também há uma tendência de aumento do nível do mar nas regiões costeiras com algum grau de incerteza porque não há

registros históricos contínuos e confiáveis. Das 42 regiões metropolitanas brasileiras, 18 estão localizadas na zona costeira ou são influenciadas por ela, a saber: Macapá-Santana, Belém, São Luís, Fortaleza, Natal, Aracaju, Maceió, João Pessoa, Recife, Salvador, Vitória, Rio de Janeiro, litoral norte de São Paulo, Santos, Joinville, Itajaí, Florianópolis e Porto Alegre. Embora a região metropolitana de Porto Alegre não seja oficialmente classificada como zona costeira e não seja diretamente banhada pelo mar, recebe grande influência da zona costeira devido à sua localização nas margens da Lagoa (Laguna) dos Patos. No caso específico dos 9 estados da região Nordeste do Brasil, mais da metade da população vive em regiões metropolitanas ligadas às suas capitais, oito delas localizadas na costa. Entre elas, Fortaleza, Recife e Salvador estão no ranking das 10 maiores cidades brasileiras (PBMC 2017).

Praticamente toda a costa sul, sudeste e norte do Brasil tem um grau alto ou muito alto de exposição aos efeitos da elevação no nível do mar (Almeida et al 2016). Barbier (2015) identifica que 40% dos brasileiros em áreas costeiras baixas rurais vivem na pobreza. Nicolodi e Petermann (2010) explicam que a vulnerabilidade considera riscos sociais, tecnológicos e naturais. A alta vulnerabilidade pode estar associada a maior densidade populacional, condições deficientes de saneamento básico ou mesmo a configurações socioeconômicas e geomorfológicas. Eles analisam com mais detalhes a vulnerabilidade à elevação do nível do mar nas regiões metropolitanas de Salvador, Rio de Janeiro, Santos e Porto de Itajaí.

As tendências de elevação do nível do mar para a costa do Brasil foram revisadas por Neves e Muehe (1995), Mesquita (2003) e Muehe (2006). Losada et al. (2013), examinando mudanças no nível do mar junto com variações nos níveis de maré, ressaca e eventos extremos para diferentes séries históricas em todo o país, concluíram que o nível do mar está subindo, que as ressacas estão aumentando no sul e

Tablela 2. Elevação do nível do mar na costa do Brasil

Autor	Local	Mudança	Período
Pirazolli (1986)	Recife (PE)	3.7 mm ano ⁻¹	1950-70
	Salvador (BA)	1.6 mm ano ⁻¹	
	Canaveiras (BA)	3.1 mm ano ⁻¹	
	Imbituba (SC)	0.55 mm ano ⁻¹	
Aubrey et al. (1988)	Fortaleza (CE)	0.3 mm ano ⁻¹	1950-70
	Belem (PA)	3.4 mm ano ⁻¹	
	Recife (PE)	0.2 mm ano ⁻¹	
	Salvador (BA)	2.7 mm ano ⁻¹	
	Canaveiras (BA)	4.1 mm ano ⁻¹	
	Rio de Janeiro (RJ)	3,6 mm ano ⁻¹	
	Imbituba (SC)	0.7 mm ano ⁻¹	
Silva (1992)	Rio de Janeiro (RJ)	12.6 mm ano ⁻¹	1965-86
Harari e Camargo (1994)	Recife (PE)	5.6 mm ano ⁻¹	1946-88
Franca (2000), Mesquita (2003)	Atlântico Equatorial	4.0 mm ano ⁻¹	Altimetria
Losada et al. (2013)	Salvador (BA)	~2,0 mm ano ⁻¹	1950-2009

Fonte: Adaptado de Klein e Short, 2016, PBMC 2017

sudeste devido ao aumento na frequência e intensidade de tempestades, e que eventos El Niño podem positivamente afetar o nível do mar. Um sumário de estudos sobre elevação do nível do mar no Brasil é mostrado na Tabela 2.

Entre essas cidades, onde 60% da população residem na faixa de 60 quilômetros da costa, estão Rio Grande (RS), Laguna e Florianópolis (SC), Paranaguá (PR), Santos (SP), Rio de Janeiro (RJ), Vitória (ES), Salvador (BA), Maceió (AL), Recife (PE), São Luís (MA), Fortaleza (CE) e Belém (PA). Os impactos socioeconômicos seriam mais restritos às vizinhanças das 15 maiores cidades litorâneas, que ocupam uma extensão de 1,3 mil quilômetros da linha costeira – correspondente a 17% da linha costeira do Brasil.

Resultados do estudo Brasil 2040 (SAE 2015), mostram que uma área avaliada em pelo menos R\$ 109 bilhões no Rio de Janeiro pode ser afetada até 2040 por conta da elevação do nível do mar causada pelo aquecimento global. Em Santos, toda a infraestrutura necessária para lidar com eventos climáticos extremos,

como hospitais e corpos de bombeiros, está ameaçada por estar localizada nas áreas de maior vulnerabilidade a alagamentos.

Os resultados de Marengo et al (2017 a, b) do projeto Metr pole mostram que com as mudanças climáticas, o oceano subir  de 45 a 80 centímetros até 2100, avançando até 80 metros sobre as praias da cidade de Santos, no litoral paulista. Em diversos pontos, o mar invadir  periodicamente 25% da área urbana - causando prejuízos bilionários, enquanto a operação no maior porto do Brasil se tornar  inviável. Para enfrentar esse cenário catastrófico, previsto por dois diferentes projetos de pesquisa, a prefeitura da cidade e a comunidade científica já começaram a traçar planos para as grandes obras de adaptação que se farão necessárias.

Marengo et al (2017 a, b) consideraram diferentes cenários climáticos e modelos de impactos econ micos para calcular os efeitos da elevação do mar em Santos. Um deles prevê que a elevação da maré atingir  no mínimo 18 centímetros até 2050 e poderá chegar a

45 centímetros até 2100. Com isso, Santos precisará investir R\$ 238 milhões em medidas de adaptação para evitar prejuízos de mais de R\$ 1 bilhão nas duas áreas mais vulneráveis da cidade: a Ponta da Praia - bairro valorizado que já sofre com o avanço da maré - e a zona no-roeste, área de baixa renda, longe das praias, mas alagável e cercada de mangues. Neste caso se ressalta a importância da revitalização dos mangues como forma de adaptação aos impactos da elevação do nível do mar, o que é conhecido como adaptação baseada em ecossistemas (AbE).

O estudo Erosão e Progradação do litoral Brasileiro, do Ministério do Meio Ambiente (Muehe 2006), são apontados como um atlas do litoral e mostra que os Estados enfrentam situações bem distintas, causadas não só pela ação natural do tempo, mas principalmente pelas interferências do homem com a mudança do curso dos rios e das construções à beira-mar. O Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil classifica a foz do rio Parnaíba como segmento costeiro de elevado risco natural (alto a muito alto), especialmente pela presença de eventos de erosão associados ao regime de inundações periódicas (www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/macrodiagnostico.html). Este Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha (Macro) é uma ferramenta para gestão do território que reúne informações em escala nacional sobre as características físico-naturais e socioeconômicas da costa e parte do espaço marítimo.

A água doce, trazida ao delta pelo rio Parnaíba e inúmeros rios e riachos que irrigam o território, oferece à terra os nutrientes necessários para alimentar peixes, crustáceos e moluscos que constituem fonte de alimento e renda para os moradores das comunidades da APA Delta do Parnaíba, que tem na pesca, a mais significativa atividade econômica e de subsistência. A pesca se caracteriza por ser principalmente artesanal e utilizar diferentes artes de pesca, conforme as regiões e recursos pesqueiros visados. É uma atividade tradicional, passada de pais para filhos, assim como os conhecimentos associados à sua prática e

experiência, que estabelece o ritmo da vida cotidiana em permanente vínculo com a natureza. Outras atividades tradicionais significativas como a agricultura familiar, a criação de animais, o extrativismo de sementes e frutos, também dependentes dos ciclos das chuvas, estão associados à subsistência e à segurança alimentar das famílias, muitas vezes complementando a renda de outras atividades como a pesca (ICMBio 2019).

Na APA Delta do Parnaíba, o manguezal tem relação com modo de vida tradicional dos catadores de caranguejo, geração de renda, presente nas tradições, festejos e práticas culturais. O manguezal é um ecossistema florestal de beira mar que depende do fluxo das marés com o aporte das águas doces para sua existência, garantindo maior produtividade nas áreas costeiras, sendo habitat de espécies que tem importância socioeconômica como os caranguejos, siris, ostras, mariscos, camarões e peixes. Assim, é de esperar que uma elevação no nível do mar possa afetar os ecossistemas e atividades humanas devido à intrusão de água salgada. As consequências econômicas e ambientais podem ser irreversíveis.

No caso dos estudos de variação do nível médio do mar e o seu impacto sobre os manguezais, a função atribuída aos manguezais, de estabilização da linha de costa evitando a erosão da mesma e o assoreamento dos corpos d'água adjacentes, associada à posição dos manguezais na zona entre marés, tornando este ecossistema particularmente vulnerável a estas variações, torna-se de grande interesse. Assim sendo, apesar do sistema radicular destes vegetais (raízes escora e pneumatóforos) favorecer a retenção e deposição de sedimentos, os mesmos são altamente vulneráveis a alterações na hidrodinâmica, que provoquem um aumento da energia hidrológica do local, o que pode causar erosão e a consequente destruição das florestas de mangue, visto ser o seu sistema radicular bastante superficial.

Segundo Woodroffe (1990), a elevação do nível do mar, terá impactos amplos. Ecossistemas subtidais serão afetados, tais como recifes de coral e bancos de algas e fanerógamas marinhas, visto que a profundidade das águas

(e em alguns casos a energia de ondas) aumentará. No entanto, os ecossistemas mais seriamente afetados serão sem dúvida aqueles que ocupam as zonas entre marés, como os manguezais.

O impacto de variações do nível do mar sobre os manguezais tem despertado o interesse de diversos pesquisadores. Levantamentos de estudos sobre variação do nível do mar e os manguezais em todo o mundo, realizados por Parkinson (1989), Woodroffe (1990) e Ellison & Stoddart (1991), apontam diversos estudos referentes à fase inicial destas investigações, que exploram basicamente a utilização dos manguezais como indicadores de paleolinhas de costa, devido a sua posição intertidal.

Com o aumento da preocupação de uma possível elevação do nível do mar devido ao aquecimento global do planeta, surgiram novos estudos, que ampliaram nosso entendimento acerca dos efeitos de variações pretéritas do nível médio do mar sobre os manguezais. A caracterização dos manguezais depende dos tipos de solos litorâneos e, sobretudo, da dinâmica das águas que age sobre cada ambiente costeiro. Importante na formação dos manguezais é a variação do nível médio do mar. Por ser um processo gradual e lento, durante esta variação ocorre uma reorganização constante no espaço destes ambientes. Sendo assim, o desenvolvimento de espaços novos pela fixação das espécies dos mangues é mais acelerado do que o processo de formação de solos. Deste modo, a cada redução ou elevação do nível médio do mar há uma adaptação dos manguezais evitando, portanto, a extinção do ecossistema (FEMAR SEMADS, 2001).

Cenários de mudanças de clima

Na América do Sul, inundações importantes recentes (por exemplo, Marengo et al., 2012; Hoyos et al., 2013; Ovando et al., 2016) e secas (Melo et al., 2016; Erfanian et al., 2017), juntas com incertezas sobre as projeções dos efeitos potenciais das mudanças climáticas (Marengo et al., 2009), estão incentivando estratégias de adaptação para atender às populações em risco e satisfazer demandas sociais, econômicas e ambientais. Entre estas medidas de adaptação podemos incluir monitoramento de risco de desastres, previsão sazonal de riscos climáticos associados a extremos, como tempestades que podem afetar áreas costeiras com ressacas mais intensas e erosão. As demandas de água em grandes bacias hidrográficas em todo o continente, algumas delas se estendendo além das fronteiras políticas. As mudanças climáticas, com o aumento do nível do mar e acidificação, são apontadas como pressão sobre espécies ameaçadas, raras ou endêmicas (que só ocorrem na região).

Os principais problemas no Rio Parnaíba são as secas, uso de água para população, irrigação e conflitos no uso da água (Amorim e Chaffe 2019). Assim as mudanças futuras onde o futuro possa ser de maior déficit hídrico representa um cenário preocupante para a população e nos ecossistemas. Vários estudos têm desenvolvido projeções de clima e hidrologia usando os modelos do IPCC. Milly et al. (2005) analisaram as componentes de vazões dos rios de vários modelos do IPCC AR4 para o futuro, comparados com o presente. Para finais do século XXI, os modelos do IPCC AR4 sugerem reduções nas vazões dos rios São Francisco, Parnaíba, Tocantins, Xingu e outros no Leste da Amazônia, assim como no Chile central. Com o objetivo de avaliar os resultados baseados no modelo regional HadRMP3.

Foram realizados os mesmos estudos de balanço hídrico para oito das doze regiões hidrográficas brasileiras. Empregaram, porém, quinze modelos climáticos globais do IPCC. Apenas três dessas áreas se localizam

no Nordeste: dos rios Parnaíba, São Francisco, do Nordeste Ocidental e do Oceano Atlântico. Suas conclusões apontaram situação alarmante, com reduções de chuvas no Nordeste em geral, embora com um grau de redução da vazão média de longo período seja bastante significativo. Por exemplo, pode-se citar que no modelo regional HadRMP3 indicavam diminuição de quase 80% da vazão média de longo período na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (PBMC 2014).

Projeções de clima

As projeções do modelo EtaHadGEM2 ES para do delta do Rio Parnaíba aparece nas figuras seguintes, onde as projeções são para os dois cenários RCP4.5 e 8.5 e os períodos de tempo de 2011-40, 2041-70 e 2071-2100. Para chuva, a Figura 6 mostra projeções para a chuva anual e durante a quadra chuvosa MAM. Observa-se uma redução na chuva em todos os cenários, variando de 1-2 mm/dia no nível anual no cenário RCP.5 até 3-4 mm/dia no cenário RCP8.8 particularmente na região do delta do Rio Parnaíba na região costeira. Na estação chuvosa as reduções variam de 3.4mm no RCP.45 até quase 6 mm /dia no cenário RCP8.5 para 2071-2100. As reduções são maiores na região do delta do Parnaíba onde a redução chega a 2-3 mm/dia em 2041-70 e 5-6 mm/dia em 2071-2100 no cenário de altas emissões RCP8.5.

A Figura 7 mostra o aquecimento de até 2 C depois de 2040 na região de estudo no cenário RCP4.5. No RCP8.5 o aquecimento chega até 3.5 C em 2041-70 e chega até 5 C em 2071-2100. A Figura 8 mostra o índice TN90, indicador de noites quentes (temperatura mínima), e junto com a Figura 7 pode se dizer que o aquecimento projetado é maiormente na forma de noites muito quentes, que podem chegar até 70% mais quentes em 2041-70 e até 90% mais quentes em 2071-2100 nos dois cenários.

Figura 6. Cenários futuros de mudança de chuva anual e não estação chuvosa Março-Abril-Maio, para os cenários RCP4.5 e 8.5. Períodos de tempo 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 para a região do delta do Rio Parnaíba e costeira de MA, PI e CE (unidades em mm/dia)

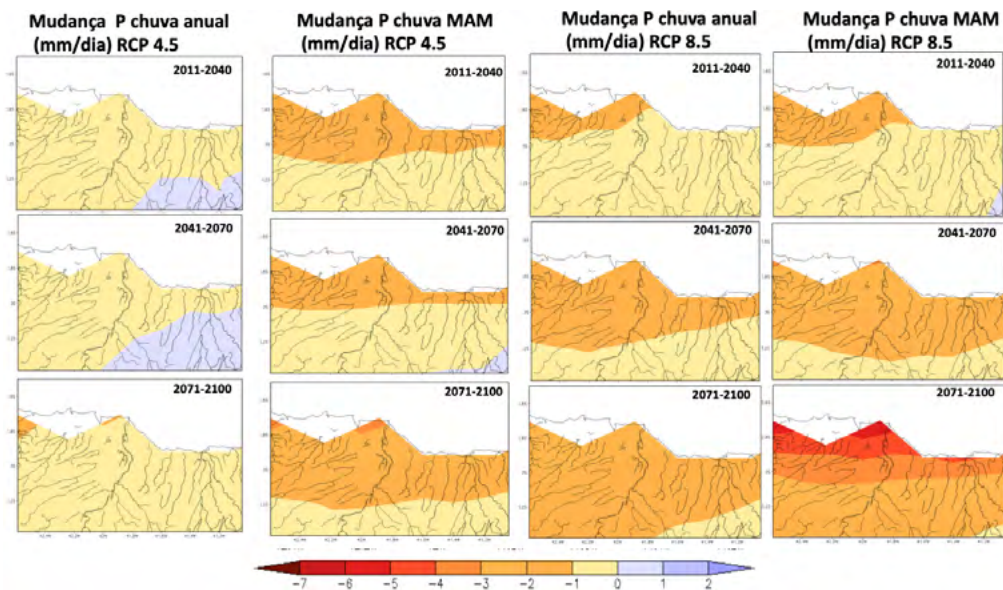


Figura 7. Cenários futuros de mudança de temperatura do ar anual e não estação chuvosa Março-Abril-Maio, para os cenários RCP4.5 e 8.5. Períodos de tempo 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 para a região do delta do Rio Parnaíba e costeira de MA, PI e CE (unidades em oC)

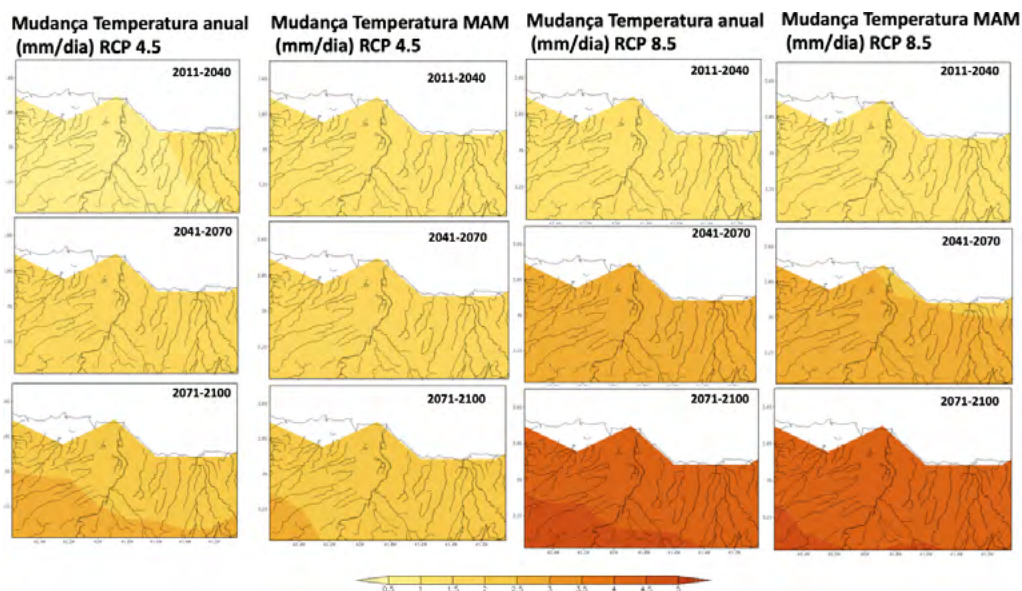
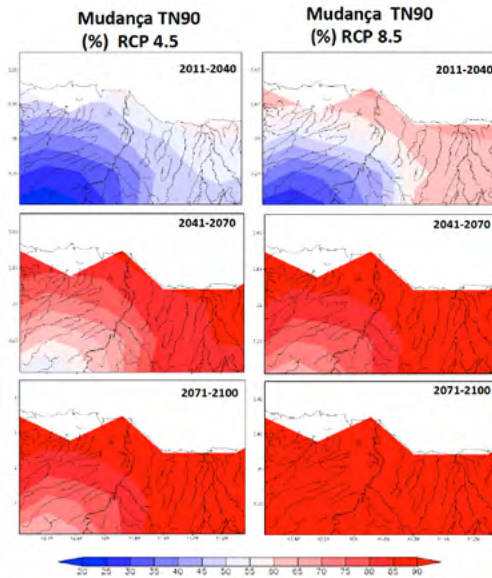


Figura 8. Cenários futuros de mudança do índice de noites quentes (TN90) para os cenários RCP4.5 e 8.5. Períodos de tempo 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 para a região do delta do Rio Parnaíba e costeira de MA, PI e CE (unidades em %)



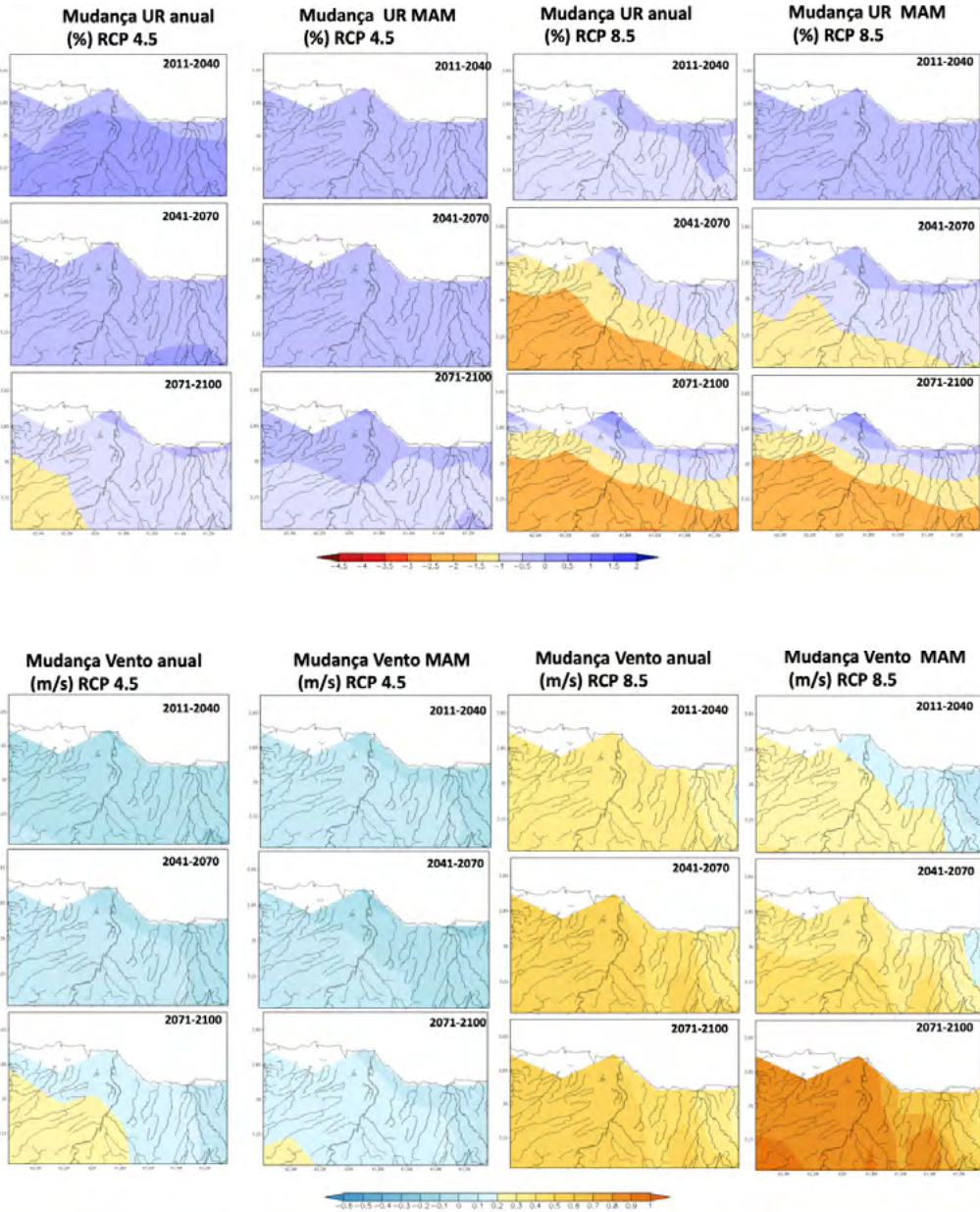
Os cenários projetados nas Figuras 6-8 sugerem que para a região costeira dos estados de MA, PI e CE a o delta do Rio Paraíba do Sul apontam para uma tendência de clima mais seco e quente, com alta temperatura diurna e reduções de chuva durante a estação chuvosa. As mudanças são mais intensas após de 2040 e nos cenários RCP8.5, e as reduções na chuva são mais fortes na região do delta do Rio Parnaíba.

A Figura 9 a seguir mostra projeções de mudanças da umidade atmosférica e do vento em superfície. Os cenários sugerem uma redução da umidade relativa e aumento na velocidade do vento, particularmente nos cenários RCP8.5 e após de 2040. Isso sugere uma redução no transporte de umidade do Oceano Atlântico tropical Norte para o interior da bacia, o que é consistente com a redução de chuvas. No cenário RCP8.5 com menos umidade atmosférica e ventos mais intensos, seriam ventos secos, que podem gerar problemas de erosão da região de estudo.

Os cenários de extremos de chuva e dias secos (Figura 10) sugerem, aumentos na duração de dias secos consecutivos até 20 dias no rio do de 2014 a 2070 e que podem chegar até 90 dias até 2100 nos 2 cenários.

A sequência de dias secos consecutivos tende a aumentar a partir de 2040 até nos dois cenários, sendo os aumentos da ordem de 80 dias. Assim, pode-se dizer considerando as projeções das figuras 6-10 um clima mais seco e quente, com altas temperaturas diurnas na região do delta do Parnaíba. Isso se reflete na tendência de menos chuvas e nas vazões do Rio Parnaíba, como explicado anteriormente. A sequência de dias secos pode aumentar em longitude levando a cenários de seca. O transporte de umidade do Atlântico tropical Norte é mais fraco, o que pode explicar a redução das chuvas. O vento mais intenso pode ser mais seco, e pode agravar o problema de erosão costeira. Em outras palavras, os impactos físicos das mudanças de clima e extremos incluem regimes de precipitação alterados, um forte aumento de extremos de calor, riscos mais altos de secas e aridez crescente.

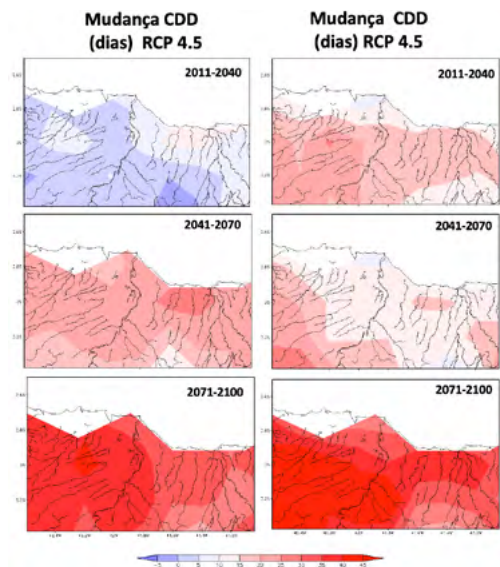
Figura 9. Cenários futuros de mudança de umidade relativa anual e não estação chuvosa Março-Abril-Maio, para os cenários RCP4.5 e 8.5. Períodos de tempo 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 para a região do delta do Rio Parnaíba e costeira de MA, PI e CE (unidades em %)



Assim, a possibilidade de períodos mais secos e maior evaporação pode afetar o balanço hídrico na região. Contudo, as incertezas nas

projeções climáticas ainda são altas, especialmente para os padrões de precipitação (Marengo et al. 2015)

Figura 10. Cenários futuros de mudança do índice de dias secos consecutivos (CDD) para os cenários RCP4.5 e 8.5. Períodos de tempo 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 para a região do delta do Rio Parnaíba e costeira de MA, PI e CE (unidades em dias)



Projeções na hidrologia do Rio Parnaíba

Os projeções de Ribeiro Neto et al (2016) para o modelo Eta-HadGEM2-ES RCP 4.5 e 8.5 mostram para a bacia do Rio Parnaíba reduções de 200-300 mm de chuva anual, reduções em 20-30% da umidade de solo e reduções de runoff até 100 mm para 2071-2100 no cenário RCP4.5. Para o cenário RCP 8.5 as mudanças mais radicais, redução na chuva que variam de 500 a 600 mm, redução da umidade do solo entre 60 a 70%, e de runoff entre 500 a 500 mm. Tendências similares foram mostradas por Ribeiro Neto et al (2011), Montenegro e Ragab (2012), Marengo et al (2012), Palmer et al (2008) e Valverde e Marengo (2014) usando modelos do IPCC AR4 e AR5.

O estudo de Almagro et al (2017) mostra reduções projetadas até 2040 (cenários RCP 4.5 e 8.5 do modelo HadGEM2 ES) na erosividade média das chuvas no Norte e Nordeste. Este resultado é importante para planejar a conservação do solo e da água e promover a segurança hídrica e alimentar. As projeções até agora disponíveis não permitem associar a eventos climáticos o desaparecimento de espécies de peixes. Tampouco está comprovada no PI como decorrente das mudanças climáticas ou da redução da vazão do Parnaíba pela hidrelétrica Boa Esperança a intrusão salina, que pode estar associada à outra queixa frequente, de que a água consumida no interior da unidade de conservação é salgada ou salobra. De fato, as águas subterrâneas também são um recurso vulnerável devido à exploração excessiva e contaminação. Na Região Costeira do CE, a exploração aliada ao aumento do nível do mar, por efeitos climáticos, intensifica o problema da disponibilidade hídrica de qualidade potável por causa do processo de salinização (Caracas et al .

Mudanças na elevação do nível do mar

Estudos sobre a dinâmica costeira são escassos no litoral maranhense e se concentram no Delta do Parnaíba (Bittencourt et al., 1990; Bittencourt et al., 2003, Dominguez, 1999, entre outros). Bittencourt et al. (1990) mostram que durante o período seco (agosto a dezembro) no Delta de Parnaíba, em particular na praia de Atalaia, os ventos com velocidades superiores a 4,0 m/s são responsáveis pela remoção da face praial de uma fração significativa das frações de areia fina a muito fina, depositando-a no campo de dunas ativas contíguo. Assim, os mesmos autores consideram que o vento é um agente efetivo na produção de variações texturais nos sedimentos da face praial.

O estudo de Reyer et al (2017) aponta para o aumento médio global do nível do mar que domina o sinal regional do nível do mar. Baseado na média dos modelos do IPCC AR5, existe uma variação regional com um aumento geralmente mais alto do nível do mar projetado no Atlântico do que na costa do Pacífico e um aumento do nível de gelo. Por outro lado, projeta-se que Recife na costa atlântica do Brasil sofra um aumento acima do nível do mar acima da média (estimativa mediana de 0,63 m. A Figura 11 mostra que para a região de estudo a nível do mar pode se elevar até 60 cm nos modelos que apontam, para elevação de nível do mar menores, e até 1 m nos modelos que apontam maiores elevações do nível do mar para RCP8.5 até 2100.

O aumento médio global do nível do mar domina o sinal regional do nível do mar (Figura 11). Ainda segundo Reyer et al (2017), existe uma variação regional com um aumento geralmente mais alto do nível do mar projetado no Atlântico do que na costa do Pacífico e um aumento do nível de gelo. As mudanças climáticas também reduzirão a produção agrícola, a pecuária e a pesca, embora possa haver oportunidades como aumentar a produção de arroz em vários países da América Latina ou aumentar o potencial de captura de peixes nas águas mais ao sul da América do Sul.

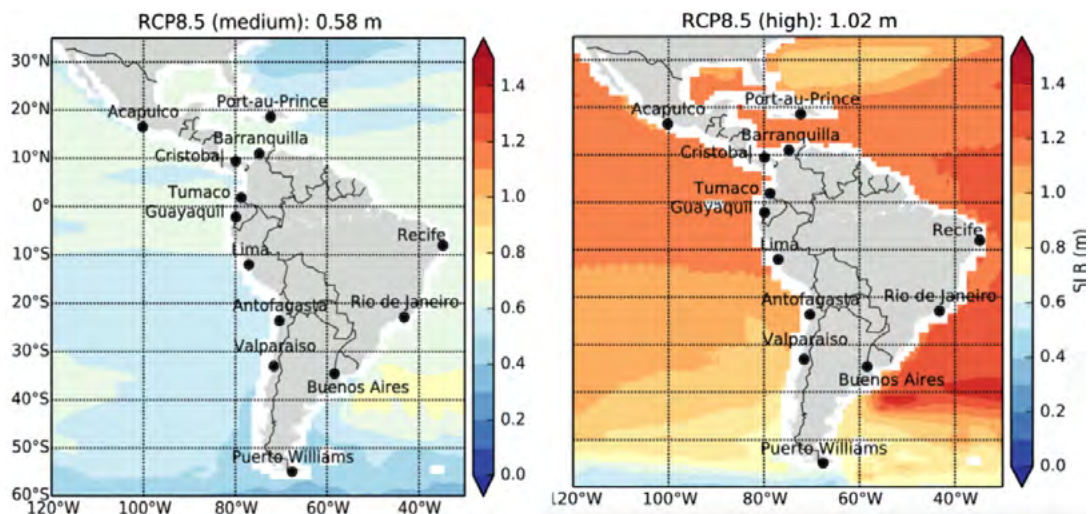
Mudanças na faixa de espécies ameaçam a biodiversidade terrestre e há um risco substancial de degradação da floresta amazônica com o aquecimento contínuo.

Esses impactos físicos e biofísicos das mudanças climáticas desafiam os meios de subsistência humanas, por exemplo, diminuindo a renda da pesca, agricultura ou turismo. Além disso, existem evidências de que a saúde humana, as infraestruturas costeiras e os sistemas de energia também são afetados negativamente. Esses resultados indicam quão crucial é levar em conta as mudanças na atividade das tempestades e as mudanças resultantes nos níveis extremos do mar, tanto em intensidade quanto em frequência. A tempestade define os níveis extremos de inundação e será responsável por um risco considerável no futuro próximo de ressacas e inundações costeiras mais intensas (Reguero et al 2015).

Considerando o cenário de elevação de nível do mar em 1 m (Figura 12-Derivado da Plataforma de Climate Central- coastal.climatecentral.org/map), para o delta do Rio Parnaíba, o cenário lançado no final de 2019 por Kulp e Strauss (2019) indica que grande parte da região do Delta do Parnaíba poderá ficar submersa dentro de 30 anos. A plataforma projetada em 2050 ameaça com a elevação do nível do mar e as inundações em áreas costeiras ao redor do mundo, em decorrência das mudanças climáticas. A mesma modelagem estima que 150 milhões de pessoas estejam vulneráveis ao redor do mundo.

Antes da divulgação do cenário da Kulp e Strauss (2019), o segundo Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha, divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2006 (MMA 2006), já classificava a foz do rio Parnaíba como segmento costeiro de elevado risco natural (alto a muito alto), especialmente pela presença de eventos de erosão associados ao regime de inundações periódicas.

Figura 11. Padrões de aumento regional do nível do mar. Estimativas média (coluna da esquerda) e alta (coluna da direita) da elevação projetada do nível do mar regional para o cenário RCP8.5 (4 ° C mundo) para o período de 2081 a 2100 para o período de referência 1986-2005. O aumento médio global associado é indicado nos títulos do painel



Fonte: Reyer et al 2017

Figura 12. Áreas inundadas no Delta do Parnaíba em 2050 por 1 m de elevação no nível do mar, em vermelho no mapa



Fonte: Kulp e Strauss 2019

Segundo o PBMC (2017) por razões complexas da dinâmica oceânica, o aumento do nível do mar na zona costeira brasileira ocorre acima da média mundial. Se há uma coisa óbvia é o aumento do nível do mar. É mais óbvio do que o aumento de temperatura, ou eventos extremos. Mas se a gente olhar os marcos legais, as leis de ocupação da zona costeira, não há nenhuma menção ao aumento inexorável e irreversível do nível do mar.

Conforme descrito no modelo conceitual para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Soares, 2006), mesmo sob situação em que possam resistir as taxas elevadas de elevação do nível do mar, através de compensação por

sedimentação, a manutenção dessas florestas de manguezal só poderá ocorrer naquelas regiões em que haja área na planície costeira para migração e acomodação das mesmas ou ainda caso as taxas de sedimentação se igualem à taxa de elevação do nível do mar. Nesse último caso, mesmo não havendo área para a migração, as florestas se manteriam na mesma posição. Assim sendo, para as demais áreas estudadas, para as quais não possuímos dados de monitoramento, consideraremos o cenário pessimista de necessidade de acomodação por não haver processos de compensação da elevação do nível médio do mar, ou seja, a necessidade de área na planície costeira para a acomodação dessas florestas.



Sínteses: Projeções de impactos potenciais de extremo seca

A Figura 13 apresenta os resultados do índice de Impacto Potencial das Secas num recorte para o Nordeste (fonte: Pedro Camarinha-POMUC 2018). O fenômeno das secas meteorológicas é sempre definido por uma situação (de escassez de precipitação) que é comparada com a normalidade observada dentro de um determinado período. Neste sentido, em um cenário onde o clima varia “naturalmente” dentro dos padrões históricos, pode-se dizer que os impactos causados pelas secas estão também dentro da normalidade e, devido à frequência com que estes eventos acontecem e se repetem ao longo do tempo, os sistemas humanos e naturais podem naturalmente se adaptar, conseguindo absorver os impactos, ou parte deles.

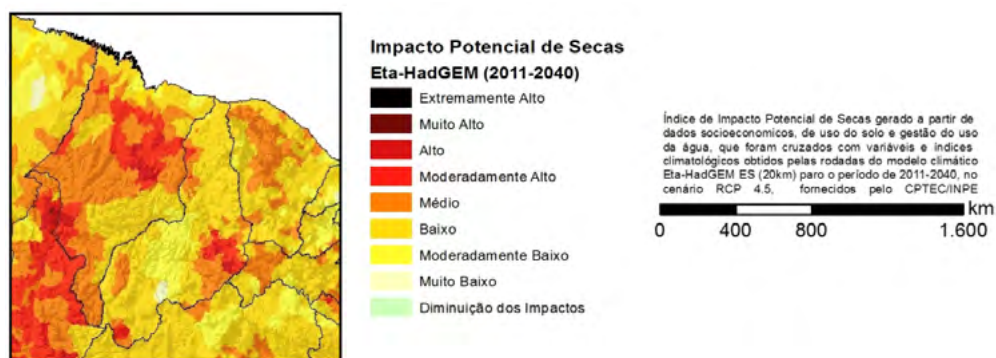
Por outro lado, quando estes eventos fogem da normalidade, seja em frequência ou magnitude, os impactos podem se tornar maiores, pois caracterizam situações de stress hídrico que os sistemas não estão acostumados a enfrentar e que demandam de novos arranjos para contorná-los. E é para estes casos que o índice foi elaborado, de modo que o índice de Impacto Potencial das Secas considera apenas as anomalias que deflagram processos de secas meteorológicas que estão fora da normalidade do período de referência (1961-1990). Por exemplo, se um determinado município foi impactado por 3 secas severas no período de referência (1961-1990) e, através das projeções climáticas é inferido que haverá também 3 eventos de magnitude semelhante em um período futuro (ex: 2011-2040), sob este ponto de vista o índice será zero ou bem próximo disso. Ou seja, não significa que tal município não será impactado pelas secas, mas significa que considerando os efeitos das mudanças do clima futuro, novos impactos causados por secas não são esperados. Dito isso, a seguir estão apresentados e discutidos os resultados obtidos para cada um dos dois modelos climáticos utilizados (POMUC 2018).

Os 7 municípios do Maranhão na bacia alta e média do Rio Parnaíba identificados como críticos na análise por consenso são bastante semelhantes entre si e são praticamente todos vizinhos. De modo geral, eles possuem o subíndice de sensibilidade de categoria alta. A região do delta no baixo rio Parnaíba o subíndice de sensibilidade pode ser considerada como categoria médio até 2040.

A Tabela 3 apresenta um resumo das mudanças de clima projetadas na bacia baixa do Rio Parnaíba até 2100. As tendências são apresentadas de forma qualitativa, e podem conter incertezas devido aos modelos e as poucas fontes de informação. Mas ainda assim, fornecem uma realidade clara. As projeções de clima futuro no Nordeste e na região do delta do Rio Parnaíba levam a crer que as regiões de clima semiárido do Nordeste, em um futuro próximo, poderão se tornar mais áridas. Essa situação seria prejudicial para as populações locais. As Figuras 6-13 sugerem que as vulnerabilidades se concentram em uma faixa que se estende no norte do Maranhão e grande parte da região Nordeste. A porção ao norte do Ceará, Piauí, Maranhão e Pará também se destaca como uma das mais vulneráveis aos efeitos da mudança do clima, no que se refere à seca.

Resumindo as mudanças climáticas projetadas pelos modelos climáticos Eta-HadGEM2 ES e globais do IPCC AR4 e AR5, a Tabela 3 aponta para uma realidade mais quente e seca. As temperaturas diurnas mais elevadas contribuem para uma evapotranspiração excessiva, o que por sua vez prejudicaria o balanço hídrico regional. Isso pode gerar reduções nas vazões do Rio Parnaíba. O aumento na velocidade do vento transportando um menor conteúdo de umidade contribui para a redução das chuvas, e o vento mais intenso pode acelerar o processo de erosão no delta e aumentando o assoreamento do rio.

Figura 13. - Mapa de Impacto Potencial para Secas para o Nordeste do Brasil considerando apenas as mudanças do clima, utilizando dados climáticos do modelo Eta-HadGEM2 ES no cenário RCP 4.5, para o período 2011-2040



Fonte: P. Camarinha, POMUC 2018

Tablela 3. Resumo qualitativo de mudanças de clima, nível do mar e impactos da seca para a área de estudo

Período	Temp. média	Temp. diurna	Chuva	Dias secos consec.	Transp. de umidade	Vazões	Impacto potencial da seca	Nível do mar
2011-2040	↑	↑	↓	↑	↓	↓	Médio	↑
2041-2070	↑	↑	↓	↑	↓	↓	ND	↑
2070-2100	↑	↑	↓	↑	↓	↓	ND	↑

Fontes: Projeções do modelo Eta-HadGEM 2 ES RCP4.5 e 8.5, Ribeiro et al (2016), P. Camarinha-PMUC (2018), Reyer et al (2017) e Kulp et al (2019)

Os ecossistemas naturais no delta do rio podem experimentar climas mais secos e o aumento no nível do mar pode gerar intrusão de água salgada e mais frequentes inundações costeiras. Desse modo, considera-se que o mais prudente para a região Nordeste seria direcionar seus esforços para a prevenção de desastres e a adaptação à mudança do

clima, buscando aprimorar os instrumentos de gestão hídrica-ambiental integrada entre as três esferas governamentais, a partir de uma visão sistêmica. A revitalização do ecossistema manguezal representa uma forma natural de adaptação às mudanças de clima e elevação do nível do mar.

Políticas públicas necessárias para o monitoramento e a adaptação às mudanças climáticas e elevação do nível do mar

Os modelos projetam reduções nos níveis de precipitação no semi árido e no litoral nordestino, com aumento na frequência de secas severas e maior imprevisibilidade das precipitações. Conciliar populações humanas, biodiversidade, serviços ecossistêmicos e adaptação climática através do desenvolvimento sustentável é um imperativo urgente e pressupõe formas totalmente novas de pensar a região.

Implementar medidas de adaptação às mudanças climáticas poderá reduzir consideravelmente os prejuízos econômicos causados às moradias dos habitantes dos municípios que estão em áreas de risco, por inundações e deslizamentos de terra decorrentes da intensificação de eventos extremos previstos até o final deste século, como a elevação do nível do mar e, em menor escala, a ocorrência de fortes chuvas e de marés altas e também de secas.

Levando-se em consideração as dimensões continentais do Brasil e as complexidades e diferenças socioeconômicas, culturais e ambientais das cinco regiões administrativas do Brasil: Norte, Sul, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, torna-se necessário construir uma Política de Estado para Adaptação às Mudanças Climáticas integrada com Redução de Riscos de desastres, com visão de médio termo (2017 a 2030), além do plano de governo denominado Plano Nacional de Adaptação 2016 PNA (MMA Brasil 2016), elaborado como instrumento orientador em diretrizes gerais sobre estratégias setoriais de curto prazo.

Secas

O fato de ter secas recorrentes no semiárido do Nordeste, que afeta as vazões dos Rios São Francisco e Parnaíba, tal quadro aponta para a necessidade de fortalecer as medidas de convivência com a seca na região, bem

como as ações de gestão integrada dos recursos hídricos locais de forma a minimizar os prejuízos decorrentes do longo período de estiagem e trazer mais dignidade à população atingida. Também evidencia a importância do monitoramento efetuado pela CPRM, ANA, INMET, INPE, CEMADEN especialmente para o balizamento de tais ações.

Seguindo o nosso diagnóstico, precisa-se de uma estratégia que permitirá na fase posterior de planejamento desenhar medidas de gestão específicas para as problemáticas identificadas. Posteriormente essas ferramentas devem ser de utilidade para os gestores costeiros para fornecer informação sobre a qual possa se sustentar a tomada de decisões.

O enfoque tradicional de abordagem para avaliar risco tem sido de plantear soluções estruturais (construção de diques e paredes de proteção), e não estruturais (políticas ambientais de adaptação, além de aquelas propostas no PNA). Porém, estas medidas tem se mostrado insuficientes, além de produzir impactos ambientais significativos. Por isso, resulta necessário aprofundar ainda mais as medidas de gestão de risco e a ordenação do território como instrumentos fundamentais. O caminho para uma estratégia de adaptação e redução de riscos de desastres no litoral. Planos de Gestão de Risco e Estratégias de adaptação e mitigação. A elaboração de planos de gestão integrada de zonas costeiras requer o desenvolvimento de ferramentas que permitam avaliar as características do sistema costeiro e identificar as suas problemáticas.

Precisamos recuperar nascentes e as matas ciliares. Em um mundo com quase oito bilhões de habitantes, aquilo que se tira da natureza causa um grande impacto e não é possível mais ser repostado. As nascentes precisam de revitalização. Uma possível ação seria nada de gado, agricultura ou monocultura. Porém, isso

é algo difícil de ser efetivado. Ter uma pecuária de larga escala é algo que deve ser conciliado com técnicas de gerenciamento sustentável, até porque na RESEX tem gado sendo criado, e o manejo é previsto em acordo de gestão. Boas e novas práticas de manejo de ovino-caprinocultura podem ser de grande ajuda para os criadores da região. O Escritório de Apoio Técnico da Codevasf em Parnaíba, em parceria com a Secretaria de Pesca e Aquicultura do município Nutrição de peixes promovem em abril 2019 em Luís Correia e Parnaíba, litoral do Piauí treinamento para melhoria da produção de pescado na região para piscicultores, profissionais da área, estudantes e interessados no assunto.

Elevação do nível do mar

Infelizmente, os esforços de conservação da biodiversidade da região do Delta do Rio Parnaíba não têm acompanhado a transformação do ecossistema e o número crescente de espécies ameaçadas de extinção. A interação perversa entre uso intenso de recursos naturais, degradação e pobreza pode se intensificar com a mudança climática e elevação no nível do mar.

Os ambientes costeiros, principalmente os manguezais, têm a vantagem da eficiência na fixação de carbono por metro quadrado, podendo chegar a serem centenas de vezes superiores que nas florestas tropicais, sendo que o valor da tonelada de carbono sequestrado deve permanecer o mesmo para estes dois ambientes. Estes ecossistemas costeiros constituem um grande potencial para o sequestro do carbono atmosférico, ou seja, para a mitigação do processo de aquecimento global. Por outro lado, seu desmatamento é responsável por 10% das emissões mundiais de carbono, mesmo sendo responsável por apenas 0,7% de cobertura tropical vegetal no mundo (Donato et al., 2011). Pesquisa recente demonstrou que no Nordeste o desmatamento de manguezais para a área de conversão de fazendas de camarão é responsável por emitir 10x mais CO₂ em comparação com uma floresta continental desmatada e queimada

(caatinga, por exemplo). Estima-se que existe carbono acumulado de 180 anos no solo desse mesmo hectare de manguezal (especialmente nas raízes) (Kauffman et al., 2018a). Apenas no Salgado Paraense, a valoração do capital relacionado ao sequestro de CO₂ foi estimado em R\$1,17 bilhão (CSF, 2018). Apesar da importância desses números, já podemos contabilizar uma perda de 25% da cobertura original de manguezais no Brasil desde o início do século XX. Em regiões como nordeste e sudeste brasileiro, esse percentual pode chegar a 40% e os poucos remanescentes permanecem ameaçados por projetos de infraestrutura, especialmente com o avanço das fazendas de camarão (ICMBIO, 2018).

Para além do contexto socioambiental, os manguezais representam um contexto econômico relevante. Estima-se que os serviços dos ecossistemas manguezais valham US\$ 33-57mil/ha/ano para as economias nacionais dos países em desenvolvimento que hospedam manguezais (Hoegh-Guldberg, et al. 2015). Grande parte relacionada à pesca, pois quase 80% das capturas globais de peixes tem algum tipo de dependência dos manguezais. No caso do estado Pará (que é o segundo maior produtor de pescado do Brasil em 2011 (MPA, 2011)), por exemplo, as pescarias ligadas aos manguezais estão estimadas em R\$260mi (34% do total pescado naquele Estado no ano de 2011) (CSF, 2018). E essa não é uma realidade exclusiva do Brasil, por exemplo, em El Salvador uma pesquisa mostrou que para cada 1 hectare desmatado de manguezal era observado uma diminuição de 14 kg/ano do pescado desembarcado (Gammage, 1994). Na Índia, onde se encontra o grande manguezal de Sundarbans, uma pesquisa demonstrou queda de US\$ 44,61/hectare para US\$ 2,62/hectare na produção pesqueira, comparando áreas com manguezais desmatados ou conservados (Hussain e Badola, 2010).

As alterações antrópicas junto a estes ecossistemas podem trazer enormes prejuízos ao equilíbrio da dinâmica do balanço regional de carbono. Qualidade ambiental dos manguezais no Delta, tem se reduzido nos últimos 20 a 30 anos, em função da intrusão salina pelo avanço da maré e a diminuição do aporte de

água doce devido à construção de barragens nos rios, e a erosão marinha reduziu áreas de mangue, o mesmo que o aterramento de mangues por ação das dunas/bancos de areia (ICMBio 2019)

Tal região litorânea, como faixa de contato entre a terra e o mar, abriga atividades humanas características de sua situação privilegiada: as práticas de pesca comercial e recreativa, a maricultura, o transporte marítimo, os esportes aquáticos, o uso dos terminais portuários, as indústrias de pesca e turismo, entre muitas outras. Por tudo isso, a zona costeira se caracteriza pela complexidade das atividades que abriga e pela sensibilidade dos seus ecossistemas.

Na adaptação estrutural, além de barreiras de proteção contra a elevação do nível do mar, o estudo do PBMC (2017) recomendou que as cidades costeiras preservem seus ecossistemas. O mangue tem um papel fundamental ao conter o avanço da água salina. Medidas de curto prazo como a integração do transporte público também são recomendadas. O transporte rodoviário é o mais afetado em inundações costeiras e ressacas mais intensas, e sistemas integrados de transporte podem diminuir o impacto das inundações no dia a dia dos usuários.

Com base na análise de imagens de satélite, estudo do WWF-Brasil em parceria com a Tetra Tech (2018 a, b) que as áreas de mangues sofreram alterações nas últimas três décadas. Em campo, o estudo observou pontos de mangue morto, em áreas de manguezais que já mostravam retração em 2008. Um programa de restauração de manguezais na área da Resex, implementado por beneficiários do programa Bolsa Verde, foi interrompido com a suspensão da transferência de renda, em 2017. Outro problema apontado no estudo feito pelo ICMBio em parceria com a Universidade de Viçosa é a qualidade da água. Cerca de 4 entre 10 famílias usuárias (36,38%) consideram ruim a água consumida no interior da unidade de conservação, principalmente por considerá-la salgada.

Propostas de adaptação

As opções de adaptação aqui apresentadas foram discutidas e validadas nas atividades do POMUC (2018) a partir dos resultados dos estudos sobre impactos e vulnerabilidades. Para a região de estudo, o Delta do Parnaíba e os estados do Maranhão e Piauí a partir dos cenários de projeções de clima e elevação do mar avaliado neste estudo, assim como no PNA (MMA 2016), se sugerem opções que considerem a variabilidade climática atual e/ou que surjam de não arrependimento (que tragam co-benefícios e se justifiquem em uma faixa ampla de cenários climáticos futuros); ii. que levem a decisões com repercussão por longo prazo ou gerem consequências duradouras; ou iii que estejam vinculadas a um longo tempo de implementação (medidas estruturantes e lentas e adaptação baseada em ecossistemas):

- **Determinar os custos** dos planos de adaptação e a possibilidade de explorar o potencial político (visibilidade e aprovação pela sociedade) de tais iniciativas como forma de mobilizar atuais e futuros gestores públicos.
- **Conseguir a adesão dos gestores** municipais apresentando estudos com informações técnicas que comprovem os riscos existentes ao município caso não sejam adotadas medidas adaptativas, caracterizando, assim, uma forma de responsabilidade quanto à omissão dos mesmos caso nada seja feito
- **Considerar a questão da adaptação já faz parte do escopo** da tomada de decisão política de algumas cidades. Para estes casos, com o Plano de Adaptação PNA em vias de início de produção, os dados fornecidos ajudariam nesse processo, garantindo a robustez do produto final. Em 2020 o PNA estará sendo atualizado, e deverá incluir um programa de tecnologias sociais.
- **Subsidiar o planejamento regional para a geração de resiliências** aos impactos das mudanças climáticas, inserido no Planejamento de desenvolvimento regional, estadual, municipal generalizado para os estados que contém a bacia do Rio Parnaíba, Maranhão e Piauí.

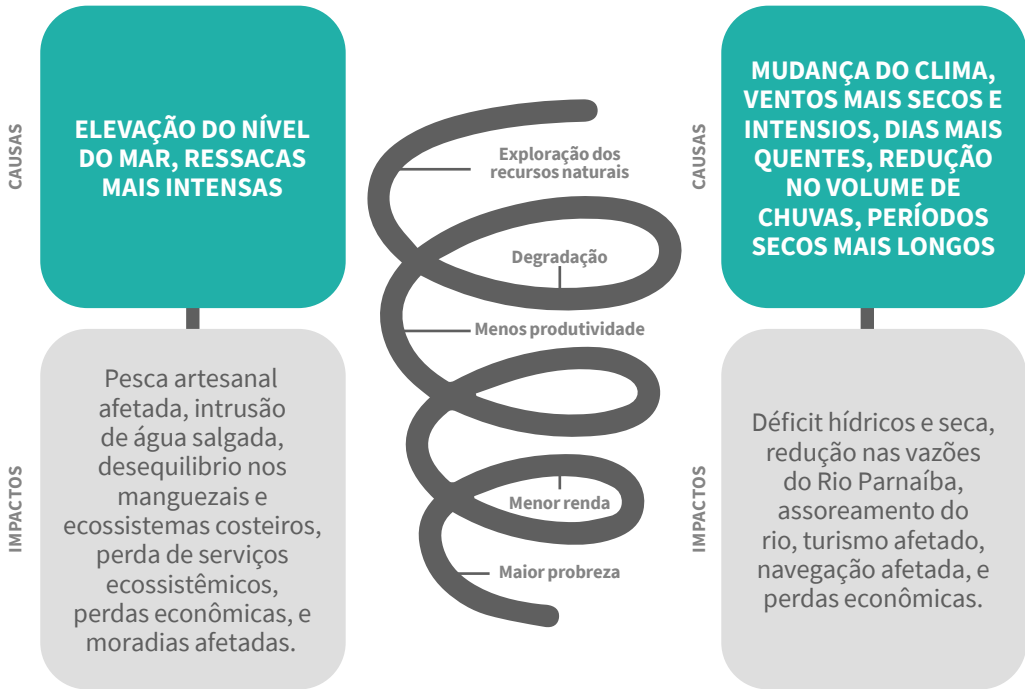
- **Fortalecer gestão para os usos múltiplos da água** e para a implementação de instrumentos complementares de adaptação, baseados no conceito do provedor-recebedor, como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA); além de planejamento integrado com o uso do solo, sistemas de gestão mais flexíveis capazes de lidar com as incertezas climáticas, instrumentos de compensação e de regulação de caráter preventivo.
- **Desenvolver de infraestrutura de armazenamento de água** suficiente para garantir a oferta em regiões do semiárido e com altas concentrações populacionais, em cenários de clima mais críticos nas regiões mais afetadas pela seca. Aqui podem ser consideradas como opções de adaptação a implementação de reservatórios, assim como de açudes e cisternas para assegurar o abastecimento e evitar que a sazonalidade do regime de chuvas, num cenário de clima desfavorável e mais seco, deixe a população sem acesso à água potável.
- **Implantação de um programa de tecnologias sociais**, pois muitas existem e são voltadas para a água. O programa de cisternas foi uma dessas iniciativas. A energia solar, em benefício dos melhores sistemas de água, é outra, o mesmo que a energia eólica.
- **A análise de medidas** de adaptação às mudanças climáticas necessariamente terá de levar em conta os diferentes usos das águas do Parnaíba, causa mais provável do assoreamento do rio.
- **Favorecer educação e capacitação:** propostas sobre educação à distância e uso de canais que já existem no nível federal para promover capacitações e cursos com foco nos estados e municípios, usar as redes para não deixar na mão dos estados a responsabilidade de passar informações para os municípios. Também é um trabalho de colocar adaptação no circuito de comunicação num linguajar simples e de fácil entendimento pela população em geral.
- **Criar planos municipais de adaptação**, à luz do plano nacional, e viabilizar financiamento da implementação especialmente em áreas costeiras com população e ecossistemas em risco.
- **Soluções de governança e políticas** para os problemas das mudanças climáticas terão caráter integrado e não setorial.
- **Realizar novas avaliações de risco** de desastres associados particularmente no delta do Rio Parnaíba
- **Propor soluções de governança e políticas** para os problemas das mudanças climáticas terão caráter integrado e não setorial. Isso seria gerenciado pelos estados onde está o percurso do Rio Parnaíba.
- **Alimentar plataformas de conhecimento** em adaptação e redução de riscos de desastres tendo como alvo gestores nas três esferas de poder, pesquisadores, representantes de empresas e de organizações sociais subsidiando e atualizando planos de adaptação nacional, regionais, estaduais, municipais e locais, considerando o médio (2020) e longo (2030) prazos.
- **Aproveitar as plataformas existentes:** ADAPTA Clima, SisVuClima, e ADAPTA BrasilMOI), juntamente com as pesquisas desenvolvidas no âmbito da Rede Clima e do INCT Para Mudanças Climáticas Fase 2 sobre impactos, vulnerabilidade e adaptação. Precisa melhorar a articulação dos sistemas e plataformas e garantir que estejam conectadas e cheguem aos municípios



Propostas para adaptação no caso do Delta do Rio Parnaíba em um cenário de elevação do nível do mar no cenário até 2050

- Os vários estudos sobre elevação do nível do mar do Brasil avaliam a vulnerabilidade das cidades costeiras do Brasil a elevação do nível do mar e mudanças do clima, mas com foco em áreas urbanas. Faltam estudos dos impactos da mudança de clima e elevação de nível do mar em ecossistemas costeiros, tais como manguezais.
- Uma integração das soluções baseadas na natureza às obras de engenharia convencional para provisão de serviços hídricos, aqui denominadas de infraestruturas verde e cinza, se apresenta como medida de adaptação relevante para o país. A utilização de sistemas naturais, a implantação de reservatórios e estações de tratamento de água de maneira sinérgica com o reflorestamento em bacias hidrográficas e planícies de inundação geram benefícios para a qualidade da água e redução dos custos de tratamento e evitam o assoreamento. É importante frisar a necessidade de se restaurar áreas de intrusão salina já identificadas, considerando revitalização de manguezais no delta do rio Parnaíba.
- A restauração ou recuperação de áreas degradadas no Delta do Parnaíba deverá seguir a legislação vigente, que estabeleçam o Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD, o qual deverá ser previamente aprovado pelo órgão gestor da UC, sendo proibido o uso de espécies exóticas ou alóctones invasoras.
- O Delta do Parnaíba provê serviços ecossistêmicos importantes, como: fornecimento de água potável; provisão de nutrientes e de alimentos; belezas cênicas; recursos medicinais; regulação climática local; conservação do solo; enfrentamento da erosão costeira e do avanço da salinização de ambientes aquáticos e terrestres por causa da contenção combinada de dunas e mangues; e geração de energia renovável. Além disso, a diversidade de biomas no delta resulta em refúgio para alimentação e reprodução de várias espécies, contribuindo com a conservação de recursos genéticos.
- Atualmente, nas zonas costeiras, as ações de política pública para a adaptação são muito poucas. Precisa-se de decisões sobre os interesses econômicos da ocupação do litoral de alto valor agregado, condomínios de luxo, atividades esportivas, é imenso. Os construtores não dizem para quem vai comprar um imóvel que dali a 100 anos aquele terreno estará embaixo do mar, que será um desinvestimento.
- Como sugerido pelo ICMBio (2019) é preciso identificar a condição atual da Resex, (estado de conservação, situação em que se encontram os recursos e valores da Unidade de Conservação), identificar as ameaças (ação humana que degrada ou compromete a reserva) e oportunidades, e definir as necessidades de dados e planejamentos que ajudarão a manejar e proteger os recursos e valores fundamentais.
- O zoneamento constitui um instrumento de ordenamento territorial, utilizado como recurso para se alcançar melhores resultados no manejo de uma Unidade de Conservação, pois identifica áreas com características naturais similares e finalidades que podem ser ou não complementares. O zoneamento ajuda a melhorar o processo de tomada de decisões e garante a continuidade do manejo com o passar do tempo.
- Considerando as barreiras e dificuldades na implementação de ações de adaptação na área e estudo (financeira, falta de conhecimento ou capacitação, aspectos culturais, outras áreas prioritárias, etc.), precisa-se de elaborar um plano de adaptação para a Resex, que possa também ser extrapolado para outras áreas costeiras.

Figura 15. Modelo hipotético para a resposta de um ecossistema exposto a perturbações antrópicas e mudanças climáticas/nível do mar durante longos períodos. Eventos contínuos de remoção de biomassa por humanos podem levar o ecossistema a um estado estável alternativo como a transformação de manchas de manguezais em áreas degradadas na região do Delta do Rio Parnaíba



Fonte: Modificado de Tabarelli et al (2017)

Em outras palavras, considerando o risco de mudanças climáticas e elevação do nível do mar na região do delta do Rio Parnaíba e no semiárido em geral, precisa-se de um novo modelo de desenvolvimento com forte participação de políticas públicas indutoras e de suporte à adaptação. Como biodiversidade, serviços ecossistêmicos, atividades econômicas, desenvolvimento rural e vulnerabilidade estão intimamente relacionados no semiárido, a transição de um modelo extrativista-degradador para um modelo sustentável tem que ser baseada no manejo adequado do ecossistema, combinando melhorias das infraestruturas socioeconômica e verde de forma integrada. Estas duas infra estruturas são os dois ativos

básicos sobre os quais se alicerça qualquer perspectiva de desenvolvimento sustentável no mundo tropical.

Embora uma generalização simplificada, esse quadro se aplica ao Delta do Rio Parnaíba, onde um sistema socioecológico extrativista cria uma espiral negativa que prejudica ecossistemas, pesca, turismo, exaure recursos naturais e reduz a renda (Figura 15). A pobreza e a perda de capital natural são características intrínsecas do mundo rural baseado no uso intensivo de recursos. Mudanças climáticas agravam a situação, como déficit hídrico, redução nas vazões do rio, aquecimento, ventos fortes secos e elevação do nível do mar que ameaça manguezais.

Lacunas de conhecimento e recomendações para futuros trabalhos

- Falta de informações climáticas, hidrológicas e especialmente elevação do nível do mar de longo período, o dificulta a tomada de decisões devido à falta de elementos para distinguir se o que ocorre é uma tendência natural, ou um ciclo no qual uma situação de desequilíbrio volta espontaneamente à normalidade. A falta de informações leva as autoridades e especialistas a defenderem mais estudos específicos antes da implementação de obras de contenção do avanço do mar.
- A ausência de observações contínuas de longa duração, assim como a falta de mapeamentos altimétricos de detalhe, representa a maior dificuldade na construção de cenários de risco a nível local e consequentemente para o desenvolvimento e aplicação de medidas de minimização dos impactos sobre a população.
- Entre estas informações requeridas informação sobre assoreamento à montante, Poluição/contaminação por descarte de resíduos sólidos, supressão de mata ciliar, ocupação desordenada (especulação imobiliária, etc.), desmatamento dos manguezais.
- É necessário fazer um levantamento geoambiental das áreas de manguezais, e uma análise espaço temporal da zona costeira (mapeamento, modelagem, etc.).
- Precisa-se de aprofundar estudo do assoreamento de áreas na Resex Delta do Parnaíba, suas causas e possíveis medidas para conter o processo, que levem em conta não apenas os cenários de mudanças do clima como os usos das águas do rio Parnaíba e debate de propostas para mitigar o problema ou medidas de adaptação.
- As estratégias setoriais e temáticas do PNA (MMA 2016, POMUC 2018) identificaram como um dos principais gargalos para o gerenciamento do risco climático, as lacunas de informação e conhecimento sobre a exposição e a sensibilidade dos sistemas naturais, humanos, produtivos e de infraestrutura à mudança do clima; a identificação e espacialização dos potenciais impactos da mudança do clima no território nacional; e a oferta descentralizada e em linguagem facilitada dos dados e informações climáticas.
- Neste sentido, precisa-se de iniciativas que priorizem a gestão do conhecimento, visando o apoio à geração de novos conhecimentos e tecnologias, a organização e acesso a informações, são essenciais para fomentar o desenvolvimento sustentável e a competitividade econômica do país nos cenários de mudança do clima.
- Teve um período de seca de 2011 até 2017 e depois o rio Parnaíba recuperou-se e devido às chuvas até 2020. Porém as séries de dados de chuva e vazões na bacia baixa do Rio Parnaíba não são longas o suficiente para detectar tendência de aumento ou redução gradativa, e ver se períodos de seca plurianual já aconteceram no passado. Precisa-se de séries de chuva e vazões longas e de qualidade, que possam permitir identificar tendências climáticas e que possam também ser usadas para calibrar modelos climáticos e hidrológicos.
- As projeções de clima ainda apresentam incertezas nos modelos climáticos. Estas devem ser quantificadas e consideradas na tomada de decisões. Isso também leva a incertezas nas projeções dos efeitos potenciais das mudanças climáticas. Usando modelos do IPCC, eles estão evoluindo e são mais complexos, porém as incertezas ainda continuam. No entanto, em muitas regiões, há incerteza na direção dessas mudanças como resultado de projeções incertas de precipitação e diferenças nos modelos hidrológicos.

- Precisa-se de novas estratégias para atender às demandas sociais, econômicas e ambientais. As mudanças climáticas, com o aumento do nível do mar e acidificação, são apontadas como pressão sobre espécies ameaçadas, raras ou endêmicas (que só ocorrem na região). Precisa-se implementar ou melhorar uma rede de observações

de nível do mar e de monitoramento de impactos nos ecossistemas costeiros. Iniciativas como o ADAPTA Brasil do MCTI podem ajudar na identificação de impactos da variabilidade dos extremos de clima no presente e no futuro nos ecossistemas naturais e nas atividades humanas.



Referências

- ALMEIDA, LQ, WELLE T, BIRKMANN J (2016) Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 17, 251–272.
- ALVALÁ RCS, CUNHA AP, BRITO SSB, SELUCHI ME, MARENGO JA, MORAES OLL, CARVALHO (2017) Drought Monitoring in the Brazilian Semiarid Region, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, ISSN 0001-3765, <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>
- ALMAGRO A, OLIVEIRA PTS, NEARING M, HAGEMANN (2017) Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil, *Scientific Reports*, 7: 8130 | DOI:10.1038/s41598-017-08298-y
- AMORIM PB E CHAFFE P (2019) Integrating climate models into hydrological modelling: What's going on in Brazil? *Brazilian Journal of Water Resources*, RBRH, Porto Alegre, v. 24, e31, 2019
- AUBREY, DG, EMERY, KO, UCHUPI, E (1988) Changing Coastal Levels of South America in the Caribbean region from tide-gauge records. *Tecnonophys*, 154:269-284.
- BARBIER, E (2015) Hurricane Katrina's lessons for the world, *Nature*, 524: 285-287.
- BITTENCOURT, A.C DA S.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MOITA FILHO, O. (1990) Variações texturais induzidas pelo vento nos sedimentos da face da Praia de Atalaia, Piauí. *Revista Brasileira de Geociências*, 20 (1-4): 201-207.
- BITTENCOURT, A.C DA S.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L. & SILVA, I.R., (2003) Um aproximação de primeira ordem entre o clima de ondas e a localização, de longa duração, de regiões de acumulação flúvio-marinha e de erosão na costa do Brasil. *Revista de Geociências*, 33 (2): 159-166.
- BRASIL (2016) Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume 1/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima 2016. 135 p, ISBN: 978-85-88063-21-1
- BRITO SSB, CUNHA AP, CUNNINGHAM CC, ALVALÁ RC, MARENGO JA, CARVALHO (2017) Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region, *Int. J. Climatol*. DOI: 10.1002/joc.5225
- CAMARINHA P, DEBORTOLI N, HIROTA M (2017) Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima / Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Integração Nacional, WWF-Brasil. – Brasília, DF: MMA, 2017., 25 p., il. color. gráficos. ISBN: 978-85-7738-312-2
- CARACAS IB (2013) Influência da salinização em parâmetros de qualidade das águas subterrâneas na região costeira do Baixo Jaguaribe. Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR – Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais, área de concentração em Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos. Fortaleza, CE, 91 pp.
- CEPRO (1996). Macrozoneamento costeiro do Estado do Piauí. Teresina: Fundação CEPRO, Fundação Rio Parnaíba, 1996. 221p. (Estudos Diversos, 31)
- CHOU, S.C., et al. (2014) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, 3, 512-525. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>
- CSF (2018). Os valores dos serviços ecossistêmicos dos manguezais brasileiros, instrumentos econômicos para a sua conservação e o estudo de caso do Salgado Paraense. Gasparinetti, P.; Jericó-Daminello, C.; Seehusen, S. E.; Vilela, T.; Conservation Strategy Fund (CSF)
- DEBORTOLI, N.S.; CAMARINHA, P.I.; MARENGO, J.A.; RODRIGUES, R.R. (2016) An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. *Natural Hazards*, 22, p.1 - 17.
- DE LIMA M, SALVIANO AAC, SANTANA FF, FEITOSA DSMR (2017) Secas de 2010 a 2016 no Piauí: impactos e respostas do Estado em articulação com os programas nacionais, Seção 3, A seca nos Estados. Parc. Estrat. • Brasília-DF • v. 22 • n. 44 • p. 155-180 • jan-jun • 2017
- DOMINGUEZ, J.M.L., (1999) Erosão costeira na região leste-nordeste do Brasil. Tese de Professor Titular. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia: 175p.
- DONATO, D. C., KAUFFMAN, J. B., MURDIYARSO, D., KURNIANTO, S., STIDHAM, M., & KANNINEN, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4(5), 293-297.
- ERFANIAN, A., WANG, G., AND FOMENKO, L.: Unprecedented drought over tropical South America in 2016: Significantly under-predicted by tropical SST, *Sci. Rep.*, 7, 5811, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05373-2>, 2017.
- Ellison, J.C. & Stoddart, D.R. (1991) Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise: Holocene analogues and implications. *Journal of Coastal Research*, 7 (1): 151-165.
- FEMAR: SEMADS (2001) Manguezais: educar para proteger / Organizado por Jorge Rogério Pereira Alves. Rio de Janeiro, 96 p, ISBN 85-85966 - 21 - 1
- FRANCA, CAS (2000) Contribuição ao Estudo da Variabilidade do Nível do Mar na Região Tropical Atlântica por Altimetria por Satélite TOPEX/POSEIDON e Modelagem Numérica. Ph. Thesis, São Paulo, 274 p.
- FRICH P., ALEXANDER LV, DELLA-MARTA P, GLEASON B, HAYLOCK M., KLEIN TANK AMG, PETERSON T (2002) Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Clim Res*, 19: 193–212
- GAMMAGE, S. (1994). Estimating the total economic value of a mangrove ecosystem in El Salvador. Report to the Overseas Development Administration of the British Government, London.
- GUZZI, A (2012) Biodiversidade do Delta do Parnaíba: litoral piauiense. / Anderson Guzzi. – org. Parnaíba: EDUFPI, 2012. 466pp.
- Harari, J, Camargo, R (1994) Tides and Mean Sea Level in Recife (PE): 8o33' S, 34o51.9' W: 1946 to 1988. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, IO-USP, Sao Paulo.
- HOYOS, N., ESCOBAR, J., RESTREPO, J. C., ARANGO, A. M., AND ORTIZ, J. C.: Impact of the 2010-2011 La Nina phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event, *Appl. Geogr.*, 39, 16–25, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.11.018>, 2013.
- HOEGH-GULDBERG, O. et al. 2015. Reviving the Ocean Economy: the case for action - 2015. WWF International, Gland, Switzerland., Geneva, 60 pp.
- HUSSAIN, S. A.; BADOLA, R. (2010). Valuing Mangrove Benefits: Contribution of Mangrove Forests to Local Livelihoods in Bhitarkanika Conservation Area, East Coast of India. *Wetlands Ecology and Management*, 18 (3), p.321.
- IBAMA (1998) Portaria IBAMA N° 145-N, de 29 de outubro de 1998 (https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/1998/p_ibama_145_n_1998_introducaoespeciesnaaquicultura_revoga_p_ibama_119_1997_alterada_p_ibama_105_n_1999_27_2003_04_2005.pdf)

- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2010) Censo Demográfico 2010. Aglomerados Subnormais: Primeiros Resultados, IBGE, Rio de Janeiro, 2010. http://ps://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/92/cd_2010_aglomerados_subnormais.pdf. accessed: July 2020,
- ICMBio (2018) Mangrove Atlas of Brazil Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Brasília, 176 p. ISBN 978-85-61842-75-8
- ICMBio (2019) Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) Delta do Parnaíba, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Parnaíba/PI Outubro/2019, 95 pp
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- KAUFFMAN, J. B., ARIFANTI, V. B., HERNÁNDEZ TREJO, H., DEL CARMEN JESÚS GARCÍA, M., NORFOLK, J., CIFUENTES, M., ... & MURDIYARSO, D. (2017). The jumbo carbon footprint of a shrimp: carbon losses from mangrove deforestation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(4), 183-188.
- KAUFFMAN, J. B., BERNARDINO, A. F., FERREIRA, T. O., GIOVANNONI, L. R., DE O. GOMES, L. E., ROMERO, D. J., ... & RUIZ, F. (2018). Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biology Letters*, 14(9), 20180208.
- KLEIN, AHF, SHORT, D (2016) Brazilian Beach Systems: Introduction, In *Brazilian Beach Systems*, A.D. Short, A.H.d.F. Klein (Eds.), Pages 1-35, Series: Coastal Research Library, Vol. 17, 1st ed. 2016, XXI, 611 p. 367
- KULP, S.A., STRAUSS, B.H. (2019) New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature*, Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-12808-z#Sec2>
- LOSADA, IJ, REGUERO, BG, MÉNDEZ, FJ, CASTANEDO, S, ABASCAL, AJ, AND MÍNGUEZ, R (2013) LONG-TERM CHANGES IN SEA-LEVEL components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change*, 104:34-50. doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.02.006.
- MARENGO JA, TOMASELLA J, UVO CB (1998) Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru, *Jor Geophys Res*, 103 (1775-1783)
- MARENGO, J. A., JONES, R., ALVES, L. M., AND VALVERDE, M. C. (2009) Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system, *Int. J. Climatol.*, 29, 2241-2255, <https://doi.org/10.1002/joc>.
- MARENGO, J.A., et al. (2012) Development of Regional Future Climate Change Scenarios in South America Using the Eta CPTEC/HadCM3 Climate Change Projections: Climatology and Regional Analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. *Climate Dynamics*, 38, 1829-1848. <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5>
- MARENGO J.A., OLIVEIRA G.S., ALVES L.M. (2015) Climate Change Scenarios in the Pantanal. In: Bergier I., Assine M. (eds) *Dynamics of the Pantanal Wetland in South America. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 37. Springer.
- MARENGO, JA.; NUNES, LH.; SOUZA, CRG; HARARI, J MULLER-KARGER, F GRECO, R; HOSOKAWA, EK TABUCHI, EK.; MERRILL, SB.; REYNOLDS, C.J.; PELLING, M; ALVES LM; ARAGÃO, LE.; CHOU, SC MOREIRA, F PATERSON, S LOCKMAN, JT GRAY, A G. (2017a) A globally deployable strategy for co-development of adaptation preferences to sea-level rise: the public participation case of Santos, Brazil. *Natural Hazards*. 22, p.23 -, 2017.
- MARENGO, J.; MULLER-KARGER, F.; PELLING, M.; REYNOLDS, C.J.; MERRILL, SB.; NUNES, LH PATERSON, S.; GRAY, AJ; LOCKMAN, JT.; KARTEZ, J; MOREIRA, FA; GRECO, R.; HARARI, J; SOUZA, CRG.; ALVES, L.; HOSOKAWA, EK.; TABUCHI, EK. (2017b) An Integrated Framework to Analyze Local Decision Making and Adaptation to Sea Level Rise in Coastal Regions in Selsey (UK), Broward County (USA), and Santos (Brazil). *American Journal of Climate Change* .6,403 – 424.
- MARENGO JA, et al. (2017c) Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, In press, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- MELO, D. D. C. D., SCANLON, B. R., ZHANG, Z., WENDLAND, E., AND YIN, L.: Reservoir storage and hydrologic responses to droughts in the Paraná River basin, south-eastern Brazil, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 4673–4688, <https://doi.org/10.5194/hess-20-4673-2016>, 2016.
- MESQUITA, AR (2003) Sea Level Variations Along the Brazilian Coast: A Short Review. *Journal of Coastal Research*, 35:21-31.
- MMA (2006) *Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos*. – Brasília: MMA, 2006. 184 p.: il. color.; 27cm. ISBN 85-7738-064-5
- MMA Brasil (2016) *Brazil. Ministry of Environment. National Adaptation Plan to Climate Change: volume I: general strategy / general strategy / Ministry of Environment*. --. Brasília : MMA, 2016. 2. 44 p.
- MONTENEGRO, S.M.G.L. AND RAGAB, R. (2012) Impact of Possible Climate and Land Use Changes in the Semiarid Regions: A Case Study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology*, 434, 55-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036>
- MILLY PCD, DUNNE KA, VECCHIA AV (2005) Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438:347–350. doi:10.1038/nature04312
- MUEHE, D., LIMA, C. F. & LINS-DE-BARROS, F. M. (2006) Rio de Janeiro. Pp. 265–296. In: Muehe, D. (Ed.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 475 p.
- NASCIMENTO M.G.P. ET AL. (2019) Climatological trends for the municipality of Parnaíba Piauí/Brazil, *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 9: 10-20
- NEVES, CF, MUEHE, D (1995) Potential impacts of sea level rise on the metropolitan region of Recife, Brazil, *Journal of Coastal Research*, 14:116-131.
- NICOLODI, JL, PETERMANN, RM (2010) Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos Climate Changes and Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects, *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 10(2):151-177.
- OVANDO, A., TOMASELLA, J., RODRIGUEZ, D. A., MARTINEZ, J. M., SIQUEIRA-JUNIOR, J. L., PINTO, G. L. N., PASSY, P., VAUCHEL, P., NORIEGA, L., AND VON RANDOW, C.: Extreme flood events in the Bolivian Amazon wetlands, *J. Hydrol. Regional Studies*, 5, 293–308, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.004>, 2016.
- PALMER, M.A., REIDY, L.C.A., NILSSON, C., FLÖRKE, M., ALCAMO, J., LAKE, P.S. AND BOND, N. (2008) Climate Change and the World's River Basins: Anticipating Management Options. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 81-89. <http://dx.doi.org/10.1890/060148>
- PARKINSON, R.W., 1989. Decelerating holocene sea-level rise and its influence on southwest Florida coastal evolution: a transgressive/regressive stratigraphy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 960- 972.
- PBMC, (2014) *Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas* [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade

- Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.
- PBMC (2017) Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.
- PENEREIRO, J.C.; ORLANDO, D.V. (2013) Análises de tendências em Séries Temporais Anuais de Dados Climáticos e Hidrológicos na Bacia do Rio Parnaíba entre os Estados do Maranhão e Piauí/Brasil. *Rev. Geogr. Acadêmica* 7, Silva, J. M. C.; Barbosa, L. C. F.; Leal, I. R.; Tabarelli, M. The Caatinga: understanding the challenges, In: Silva, J. M. C.; Leal, I. R.; Tabarelli, M. (eds.) Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America. Cham: Springer International Publishing, 2017b, p. 3-19.
- PIRAZOLLI, PA (1986) Secular trend of relative sea level (RSL) changes indicated by tide-gauge record, *J Coast Res* 1, 1-26.
- PROJETO PROGRAMA POLÍTICAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – POMUC - COMPONENTE ADAPTAÇÃO (2018) Identificação da Vulnerabilidade dos Municípios Brasileiros aos Impactos Biofísicos e Socioeconômicos Associados à Mudança do Clima, Relatório Interno MMA-GIZ, 2018. 25 pp.
- REYER, C., ADAMS, S., ALBRECHT, T. ET AL. (2017) Climate change impacts in Latin America and the Caribbean and their implications for development. *Reg Environ Change* 17, 1601–1621, <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0854-6>
- RIBEIRO NETO, A.R., DA PAZ, A.R., MARENCO, J.A. AND CHOU, S.C. (2016) Hydrological Processes and Climate Change in Hydrographic Regions of Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 1103- 1127.
- RIBEIRO NETO, A., SILVA, R.C.V., COLLISCHONN, W. AND TUCCI, C.E. (2011) Hydrological Simulation in Amazonia: The Madeira River. In: Silva, R.C.V., Tucci, C.E.M. and Scott, C.A., Eds., *Water and Climate Modeling in Large Basins, Brazilian Water Resources Association*, Porto Alegre, 127-152.
- REGUERO BG, LOSADA IJ, DÍAZ-SIMAL P, MÉNDEZ FJ, BECK MW (2015) Effects of Climate Change on Exposure to Coastal Flooding in Latin America and the Caribbean. *PLoS ONE* 10(7): e0133409. doi:10.1371/journal.pone.0133409
- SAE (2015) Brasil 2040, Resumo Executivo, Presidência da República Secretaria de Assuntos Estratégicos. Brasília, 58 pp.
- SILVA, GN (1992) Variação de longo período do nível médio do mar: causas, consequências e metodologia de análise. Tese Mestrado, programa de Engenharia Oceânica. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (2017) The Caatinga: understanding the challenge, In: Silva, J. M. C.; Leal, I. R.; Tabarelli, M. (eds.) Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America. Cham: Springer International Publishing, 2017b, p. 3-19.
- SOARES, M.L.G.; SILVA JR., C.M.G.; CAVALCANTI, V.F.; ALMEIDA, P.M.M.; MONTEIRO, A.S.; CHAVES, F.O.; ESTRADA, G.C.D.; BARBOSA, B. (2006). Regeneração de floresta de mangue atingida por óleo na baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil): resultados de 5 anos de monitoramento. *Geochimica Brasiliensis*, 20(1): 54-77.
- TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. M. C. (2017) The future of the Caatinga. In: Silva, J. M. C.; Leal, I. R.; Tabarelli, M. (eds.) Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America. Cham: Springer International Publishing, 2017, p. 461-474.
- VALVERDE, M.C. AND MARENCO, J.A. (2014) Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil. *Open Journal of Modern Hydrology*, 4, 10-26. <http://dx.doi.org/10.4236/ojmh.2014.41002>
- WOODROFFE, C.D., 1990. The impact of sea level rise on mangrove shorelines. *Progress in Physical Geography*, 14(4), 483-520.
- TETRA TECH E WWF-BRASIL (2018) Relatório Técnico de Caracterização Meteorológica, de Uso e Ocupação do Solo e Análise da Variação da Linha de Costa e Estudo da Modelagem Numérica para Suporte ao Entendimento do Processo de Inundação e Análise de Vulnerabilidade à Eventos Extremos, Tetra Tech e WWF-Brasil, novembro de 2018

