

Avaliação das vulnerabilidades ambientais relacionadas às mudanças climáticas na zona estuarina do rio Paraguaçu, no Estado da Bahia – Brasil

Kátia Rejane Freitas do Nascimento, Rosane Ferreira de Aquino, Álvaro Augusto Vianna dos Santos Góes, Mariângela Caria Teixeira e Carlos Romay Pinto da Silva/INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Bahia/Brasil.

Resumo

As regiões de estuário são altamente susceptíveis às mudanças climáticas, também são áreas de grande importância econômica e turística. Assim, um melhor conhecimento dos efeitos climáticos nessas áreas litorâneas possibilitará a antecipação e o entendimento dos problemas, das vulnerabilidades e as suas principais consequências. A zona estuarina de um dos principais rios da Bahia, o rio Paraguaçu, é avaliada com relação às mudanças climáticas apresentadas nos relatórios do IPCC, considerando os seus cenários mais críticos. Para isso, foram realizadas: modelagem matemática e avaliação de séries históricas das variáveis hidrológicas da bacia hidrográfica. De acordo com os dados de vazões dos principais afluentes ao sistema, foi verificada uma tendência a estabilidade. Alterando a condição inicial da elevação do nível do mar em 0,5m, no modelo matemático, prevista para o ano de 2100, resultou em variação de até 0,4m no rio Paraguaçu, com consequência no aumento da salinidade do corpo d'água.

Palavra-chave: modelagem matemática, mudanças climáticas e vulnerabilidade.

Abstract

The climate change will certainly lead to increase the vulnerability to the coastal resources, whereas to the estuaries, because of their economical and touristic features, it should be of major importance. Thus, a better knowledge on how it works will bring forwardness and understanding of the problems, of the vulnerability and of their main consequences. The relationship between the climate change and the Iguape bay, of the Paraguaçu river, one of the major river basin of Bahia, is evaluated considering the critical scenarios presented on the IPCC's reports. To do so, were carried out mathematical modelling and assessment of hydrological time series of watershed. Applying the data of the waterflow of the main tributaries, from 1950 to 2005, it was verified a stable trend. Changing the initial condition of the sea level to 0.5m, the output of modelling shows variation up to 0.4m on the Paraguaçu river.

Keywords: mathematical modeling, climate change and vulnerability.

Introdução

O Quarto Relatório de Avaliação do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, liberado em 2007, aponta, com 90% de confiança, que as atividades humanas são a causa principal do aquecimento global e destaca que é inequívoco que o planeta vem aquecendo, com aumento de 0,74 °C na temperatura média global em cem anos, e que já são discerníveis uma série de mudanças climáticas como aumento das temperaturas do ar e dos oceanos, degelo de neve e gelo e aumento global do nível médio do mar de 17cm durante o Século XX (MARENGO, 2010).

As projeções do clima afetam o Brasil de diversas formas de acordo com a região do país. Conforme os modelos climáticos, desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, para o Nordeste poderá haver diminuição de vazões dos rios, aumento de temperatura e desertificação. Para o litoral poderá ocorrer erosão da linha de costa e aumento do nível do mar (SOARES e MARENGO, 2007).

O Estado da Bahia possui mais de 1.000 km de costa em que parte da população vive e depende economicamente. Estas regiões são altamente vulneráveis às mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta. O entendimento mais profundo e fundamentado dos efeitos das mudanças climáticas nessas áreas litorâneas possibilitará aos gestores governamentais, principalmente na área ambiental, o conhecimento da vulnerabilidade e a tomada de decisões para ações de adaptação e de mitigação.

A zona costeira é uma região geográfica relativamente estreita, sem se caracterizar como bioma ou possuir características uniformes. Ela não pode ser quantificada nem qualificada da mesma forma que a temperatura, ou a precipitação, ou a produção agrícola, ou a incidência de doenças, temas que têm pautado a discussão setorializada sobre mudanças climáticas. Assim, todos esses parâmetros por si só alteram as características da zona costeira e precisam ser investigados dentro de um contexto especial, pois se trata de uma região que é a interface entre o continente, o oceano e a atmosfera (ROSMAN, 2009).

A avaliação dos impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas na zona estuarina do rio Paraguaçu – baía de Iguape é importante e necessária pelas características ambientais do local. Assim o resultado da pesquisa servirá de base, tanto para o governo na esfera municipal, estadual (INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos e outros) e federal, para a tomada de decisões futuras.

O objetivo principal desse estudo é avaliar as vulnerabilidades ambientais relacionadas às mudanças climáticas na zona estuarina do rio Paraguaçu, na baía de Iguape, para propor recomendações que norteiem as futuras ações de adaptação e mitigação aos efeitos advindos dessas mudanças.

Com a análise das descargas líquidas do rio Paraguaçu que deságuam no litoral baiano verifica-se a possibilidade de sua alteração em função da mudança climática bem como alterações da linha de costa e da foz quanto à erosão e/ou deposição de sedimentos. E, como ferramenta de gestão foi introduzida a análise da vulnerabilidade ambiental, através de modelagem numérica dos parâmetros hidrodinâmicos, em dois cenários, atual e futuro para o ano de 2100.

Características da Área

A área de estudo selecionada é composta pela região estuarina de um dos mais importantes rios do Estado da Bahia. Especialmente, esse manancial, rio Paraguaçu – baía de Iguape, localiza-se na parte central do Estado, ver Figuras 1 e 2. Esta escolha foi feita pela importância ambiental do Iguape e pela presença da Barragem Pedra do Cavalo que é um dos principais mananciais de abastecimento de água do município de Salvador e cidades vizinhas.

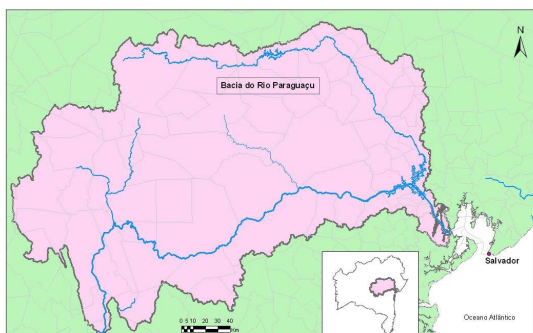


Figura 1. Bacia do rio Paraguaçu.

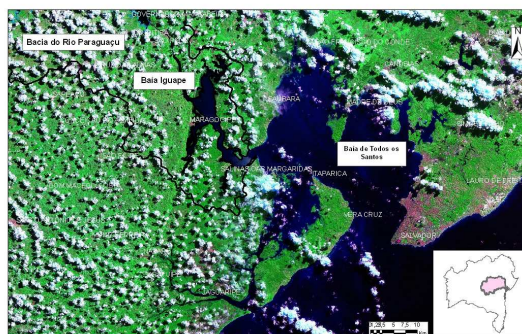


Figura 2. Área de estudo baía de Iguape, rio Paraguaçu.

A baía de Iguape tem uma área total de 76,1 km², sendo composta por três setores: Norte, Central e Sul (CARVALHO, 2000 apud GENZ, 2006) e apresenta extensa área intermareal vegetada (28,1 km²) e não vegetada (~16 km²). A área vegetada é composta por manguezais e corresponde a 36,9% da baía de Iguape e 80,7% da área de mangue de todo o estuário do rio Paraguaçu (GENZ, 2006).

A bacia do rio Paraguaçu, segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Médio e Baixo Rio Paraguaçu está numa região onde o clima é complexo, em que vários sistemas climáticos atuam, muitas vezes de maneira simultânea, ou como transição entre vários sistemas meteorológicos. As principais cheias são registradas entre novembro e fevereiro e o período chuvoso é no outono-inverno (BAHIA, 1996 apud GENZ, 2006).

Genz (2006) conclui que a caracterização do regime hidrológico do rio Paraguaçu indicou que não ocorreram mudanças significativas na tendência das suas vazões médias anuais e que as diferentes magnitudes das vazões ao longo dos últimos 73 anos são decorrentes da variabilidade climática.

Metodologia

Tratamento das séries históricas dos dados hidrológicos existentes da bacia selecionada para entendimento das relações entre a bacia hidrográfica e a região estuarina, pois mudanças no regime hidrológico altera a relação entre a água doce e a água salgada nos estuários e também o aporte de sedimentos na zona costeira, com consequências para os manguezais e corais.

Foram analisadas as séries de vazões, no período de 1950 a 2005, de duas estações fluviométricas operadas pela Agência Nacional das Águas - ANA, localizadas à montante do reservatório de Pedra do Cavalo, estação Argoim – 51350000, no rio Paraguaçu e estação Ponte do Rio Branco – 51460000, no rio Jacuípe, sendo estes os maiores afluentes do reservatório e consequentemente da zona estuarina da baía de Iguape. Os dados foram obtidos na ANA (2010).

As Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento das vazões ao longo do período de 1950 a 2005, em que se verifica uma estabilidade mostrada pela linha em vermelho, sendo R^2 o coeficiente de regressão linear que aponta a linha de tendência.

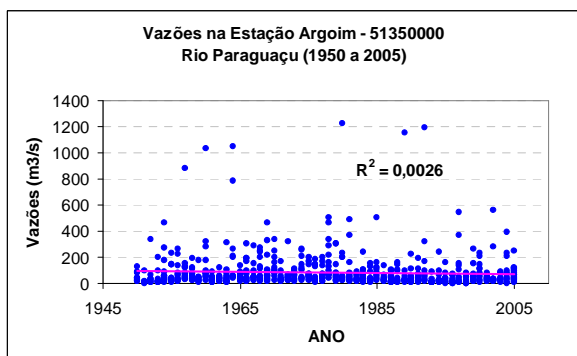


Figura 3. Gráfico representando a análise as séries de vazões na Estação Argoim, no período de 1950 a 2005.

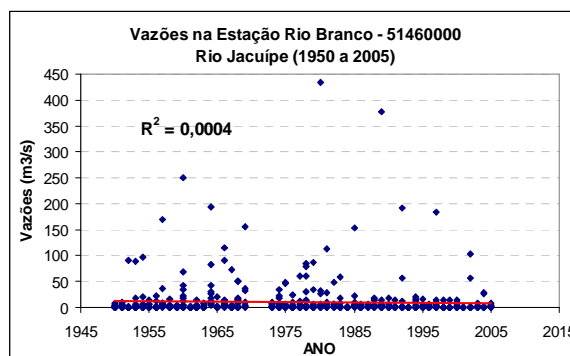


Figura 4. Gráfico representando a análise das séries de vazões na Estação Rio Branco, no período de 1950 a 2005.

Modelagem numérica, utilizando o SisBAHIA®, para os parâmetros hidrodinâmicos, em dois cenários, situação atual, com os dados disponíveis e a situação futura, tomando-se com base os cenários dos Relatórios do IPCC, fazendo-se os ajustes de cálculos, necessários para uma previsão em 2100.

O trabalho desenvolvido descreve, através de modelagem computacional, a circulação hidrodinâmica no contexto da área de influência direta da zona estuarina do rio Paraguaçu na baía de Iguape. O estudo da vulnerabilidade da costa inclui a modelagem matemática em dois cenários: situação atual, com os dados de batimetria, vento e maré disponíveis e a situação futura alterando no modelo hidrodinâmico a altura do nível do mar em 0,5m de acordo com os dados dos cenários do Relatório do IPCC.

As simulações tiveram duração de 30 dias, suficiente para se estabelecer uma situação de equilíbrio na baía de Iguape. O primeiro cenário de simulação utilizou os dados disponíveis atuais e o segundo cenário utilizou-se os dados previstos nos relatórios do IPCC, como o aumento de 0,5m no nível do mar. (IPCC, 2007)

As informações relativas à batimetria, incluindo os contornos de margens, utilizadas neste estudo, foram obtidas da modelagem matemática da baía de Todos os Santos realizada em 2000 para o Centro de Recursos Ambientais, atual INEMA.

Para as simulações do modelo da baía de Iguape são consideradas marés sintéticas geradas a partir das constantes harmônicas para a estação Cachoeira – BA obtidas na FEMAR (2010). E os dados de vento utilizado para alimentar o modelo foram os disponíveis da Estação do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET - Código A 406 (Automática) – Cruz das Almas para o mês de junho de 2009.

A maré de quadratura é a menor maré baixa, quando esta maré ocorre, o comportamento hidrodinâmico na baía de Iguape, como mostrado na Figura 5, tende a perder água para a baía de Todos os Santos. Observa-se que a velocidade é maior a montante do rio Paraguaçu, diminuindo em direção a baía de Todos os Santos – BTS, seguindo um padrão uniforme de circulação. Os vetores apresentados nas figuras representam a intensidade, ou seja, quanto maior o vetor maior o valor da velocidade e vice-versa, a direção e o sentido da circulação hidrodinâmica.

Quando ocorre a maré de sizígia, que é a maior maré alta, o fenômeno é inverso, ou seja, a baía de Iguape recebe água da baía de Todos os Santos, representado na Figura 6. Notadamente, verifica-se a inversão do fluxo hidrodinâmico quando comparada as Figuras 5 e 6 e a tendência de um padrão de circulação uniforme também é mantida na maré de sizígia.

Alterando o nível do mar no modelo matemático e simulando-se o cenário previsto para o ano de 2100, a projeção é bem crítica com relação ao aumento do nível do rio Paraguaçu, com consequências para a população do entorno que sofrerá com as enchentes. Aumentando o nível do mar em 0,5m, na maré baixa chega-se a um aumento de 0,4m no rio Paraguaçu, como consequência, também ocorrerá o aumento da salinidade nessa água.

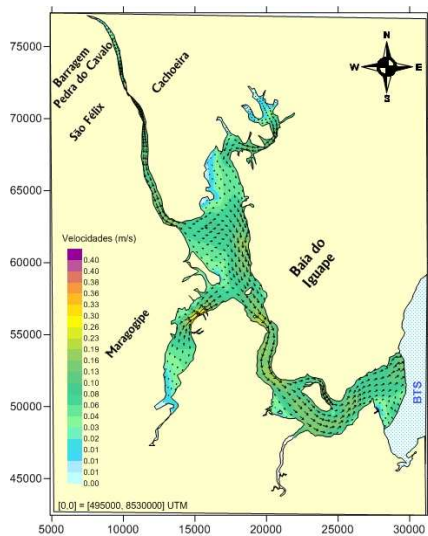


Figura 5. Comportamento da circulação hidrodinâmica em situação típica de maré de quadratura.

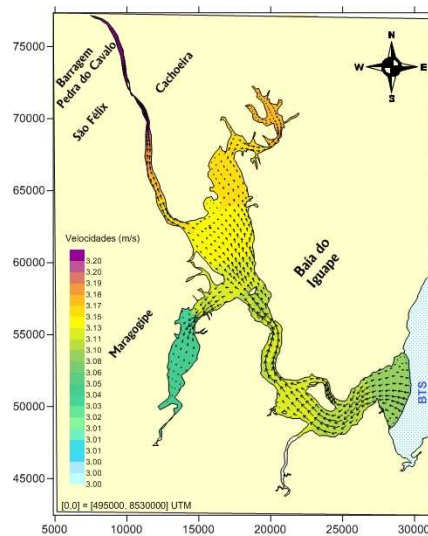


Figura 6. Comportamento da circulação hidrodinâmica em situação típica de maré de sizígia.

As Figuras 7 e 8 retratam os cenários modelados para o ano de 2100, com o incremento do nível do mar em 0,5m para circulação hidrodinâmica em situação típica de maré de quadratura e de sizígia, respectivamente.

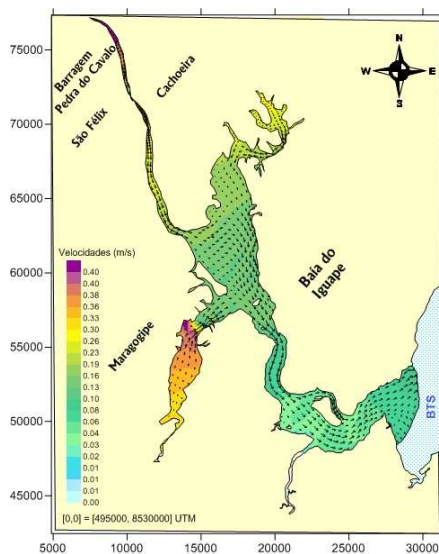


Figura 7. Comportamento da circulação hidrodinâmica em situação típica de maré de quadratura modelada para o ano de 2100.

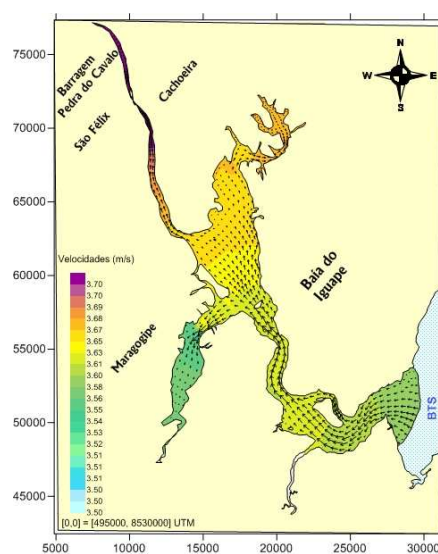


Figura 8. Comportamento da circulação hidrodinâmica em situação típica de maré de sizígia modelada para o ano de 2100.

A velocidade de circulação hidrodinâmica na baía de Iguape sofre um incremento em torno de 0,5 m/s no cenário previsto para 2100, as consequências dessa mudança precisam ser avaliadas, principalmente, no aporte de sedimentos e seus impactos na zona costeira. Comparando os cenários modelados, verifica-se um aumento na velocidade de circulação das águas na baía para o ano de 2100, tanto na maré alta quanto na maré baixa.

Discussão dos Resultados

De acordo com a análise das séries de vazões dos principais afluentes ao sistema, ao longo do período de 1950 a 2005, foi verificada uma tendência à estabilidade.

Modelagem numérica, utilizando o SisBAHIA®, mostrou que mesmo com poucos dados é possível iniciar as previsões de cenários na zona estuarina, para servir de base para estudos posteriores com a incorporação de novos dados, principalmente de monitoramento para ter um modelo mais realístico.

Alterando a condição inicial de elevação em 0,5m foi vista alteração no campo de velocidade do modelo hidrodinâmico. Assim, novas modelagens devem ser realizadas para estimar a mudança na batimetria e conseqüentemente o assoreamento provocado no rio Paraguaçu.

Considerações e Recomendações Finais

A modelagem matemática aqui realizada foi bastante superficial, considerando apenas parâmetros básicos, como batimetria, vento de uma única estação hidrometeorológica e constantes maregráficas para realizar as simulações, devendo-se aprimorar a modelagem matemática, com a inserção de parâmetros, como as vazões dos principais rios.

É importante para melhoria do trabalho a modelagem durante períodos de inverno e de verão e a condição de contorno dos valores das descargas máxima e mínima, da Barragem Pedra do Cavalo, para avaliar o comportamento da salinidade e a duração do evento na baía de Iguape.

Considerando o pouco tempo de implantação da rede de monitoramento estadual de parâmetros hidrometeorológicos (pluvial, velocidade e direção dos ventos, temperatura, umidade, fluviometria), recomenda-se o adensamento dessa rede para o refinamento das interpretações dos dados, maior confiabilidade nas medições e maior representatividade nas simulações.

Esse trabalho inicial serve de alerta para gestores e formuladores de políticas públicas para agilizar projetos na área de adaptação e mitigação das zonas estuarinas, pois as mudanças no regime hidrodinâmico, conforme o cenário modelado, para 2100 é bastante impactante.

Agradecimentos

Os autores, Servidores Públicos do Estado da Bahia, agradecem ao Instituto do Meio Ambiente – IMA, atual INEMA e à Universidade Salvador – UNIFACS pela oportunidade e realização do Curso de Especialização em Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, ao Prof. Célio Andrade, pela orientação deste artigo, ao Prof. Paulo César Rosman COPPE/UFRJ pelo auxílio na modelagem, assim como aos professores por compartilharem com os alunos os seus conhecimentos.

Referências

ANA – Agência Nacional de Águas. Sistemas de Informações Hidrológicas – HIDROWEB. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br>, Acesso em 15/12/10.

FEMAR - Fundação de Estudos do Mar. Disponível em www.femar.com.br. Acesso em 09/06/2010.

GENZ, Fernando. Avaliação dos Efeitos da Barragem Pedra do Cavalo sobre a Circulação Estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Iguape. 2006, 266p. Tese. Universidade Federal da Bahia.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate, Mudança do Clima 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação. Sumário para os Formuladores de Políticas, 2007.

MARENGO, José A., Aspectos Gerais-Mudanças Climáticas Apresentação CCST/INPE, São Paulo, SP 2010.

ROSMAN, Paulo C. C. (Coordenador), Vulnerabilidades da zona costeira brasileira às mudanças climáticas, Relatório PENO 11896, Fundação COPPETEC, Rio de Janeiro/RJ, 537p, 2009.

SISBAHIA - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental. Disponível em www.sisbahia.coppe.ufrj.br. 10.08.2010.

SOARES, Wagner R. e MARENGO, José A. Utilização de Projeções de Cenários do IPCC na Caracterização de uma Possível Mudança Climática no Brasil: Aspectos de Clima e Regime Hídrico. 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Belo Horizonte, 2007.