

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

APLICAÇÃO DE MODELO HIDRODINÂMICO BIDIMENSIONAL IPH-ECO NA LAGOA DE EXTREMOZ/RN: CALIBRAÇÃO DO MÓDULO HIDRODINÂMICO

*Raul Leite da Costa¹; Vanessa Becker²; Carlos Ruberto Fragoso Junior³ &
David da Motta Marques⁴*

RESUMO- Lagoas costeiras são atrativas para o estabelecimento humano, proporcionando amplas atividades antrópicas. Estes ambientes são sistemas rasos e sofrem forte ação de ventos, que facilitam a homogeneização da coluna d'água. O uso da modelagem matemática em estudos hidrodinâmicos desses ecossistemas pode ser uma valiosa ferramenta, colaborando para uma melhor compreensão da dinâmica de seus processos e futuras ações de gestão. O objetivo do trabalho foi aplicar um modelo hidrodinâmico bidimensional IPH-ECO em um manancial costeiro, Lagoa Extremoz, com base em dados meteorológicos e hidrológicos. A aplicação do modelo teve como objetivo realizar a calibração do módulo hidrodinâmico, a fim de compreender os fluxos d'água e variações de nível d'água, visando um melhor entendimento do sistema. As simulações foram realizadas em um período de 09 dias. Não houve necessidade de ajustes no coeficiente de Chézy. A constante utilizada foi suficiente para garantir uma boa correlação entre os dados calculados e observados. A aplicação do modelo foi capaz de representar satisfatoriamente a variabilidade real dos níveis d'água sob a ação do vento, e consequente hidrodinâmica. Assim, espera-se que o trabalho seja um instrumento que possa auxiliar os órgãos de operação, gestão e fiscalização.

ABSTRACT- Coastal lakes are attractive to the human settlement, providing ample anthropic activities. These environments are shallow systems and suffer strong wind action, which facilitates the water column mixing. The use of mathematical modeling in hydrodynamic studies of these ecosystems can be a valuable tool, helping to better understand the dynamics of their processes and future management actions. The aim of this work was to apply a two-dimensional hydrodynamic IPH-ECO model in a coastal lake, Lagoa Extremoz, based on meteorological and hydrological data. The application of the model had as objective to perform the calibration of the hydrodynamic module, in order to understand the water flows and variations of water level, aiming at a better understanding of the system. The simulations were performed in a period of 09 days. There was no need for adjustments in the Chézy coefficient. The constant used was enough to ensure a good correlation between the calculated and observed data. The simulations also verified the action of prevailing winds. The application of the model was able to represent satisfactorily the real variability of water levels under the action of wind, and consequent hydrodynamics. Thus, it is expected that the work is an instrument that can assist the operating, management and inspection actions.

Palavras-Chave – modelagem, costeira, manancial

1) Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Av. Salgado Filho nº3000, Centro Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN, Cep. 59078-970. Email: raulleitedacostaect@gmail.com

2) Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Av. Salgado Filho nº3000, Centro Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN, Cep. 59078-970. Email: becker.vs@gmail.com

3) Universidade Federal de Alagoas: Centro de Tecnologia, Campus A.C. Simões, Cidade Universitária. Av. Lorival Melo Motta, s/n, Maceió, AL, Cep. 57072-900. Email: carlosruberto@gmail.com

4) Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulica. Av. Bento Gonçalves nº9500, Porto Alegre, RS, Cep. 91501-970. Email: dmm@iph.ufrgs.br

INTRODUÇÃO

Lagoas costeiras são bastante exploradas, diante dos diversos usos propiciando serviços essenciais à população, a exemplo do abastecimento humano, pesca, recreação, entre outros, sendo assim indispensáveis para milhares de pessoas [Esteves (1998)]. No entanto, os usos e ocupações das lagoas limitam-se em virtude da sua vulnerabilidade, ou seja, a fragilidade do ambiente no tocante as inter-relações socioespaciais [Sierra e Mesquita (2006)], bem como a noção de susceptibilidade de ecossistemas com relação à exposição de riscos de impactos negativos [Nascimento e Dominguez (2009)].

Assim como a grande maioria das lagoas costeiras, a Lagoa de Extremoz, um dos mais importantes mananciais do Estado do Rio Grande do Norte [Araújo *et al.* (2000); Raposo e Gurgel (2003); Barbosa *et al.* (2010)], e está bastante vulnerável à poluição ambiental ao longo de toda bacia hidrográfica por atividades decorrentes de seu uso e ocupação.

A gestão de corpos hídricos, a exemplo de lagos, reservatórios e estuários, caracteriza-se por ações multidisciplinares, existindo um grande número de alternativas para o planejamento, levando em consideração tanto os seus usos, quanto a sua disponibilidade para fins de preservação [Tucci (1998)]. Diante dessa variedade de alternativas, observa-se a necessidade de utilização de métodos que quantifiquem os processos de uma melhor forma, que permita a análise dos ecossistemas aquáticos e ajudem nas decisões referentes ao seu gerenciamento. Dentre os métodos existentes destaca-se a modelagem [Fragoso Jr. *et al.* (2009)], uma vez que os modelos ecológicos podem ser ferramentas úteis para quantificar impactos decorrentes de atividades antrópicas sofridos por ecossistemas aquáticos [Jorgensen (1994)].

Modelos matemáticos são utilizados para representar objetos ou sistemas em linguagens de fácil acesso e uso, visando entendê-los e buscando respostas perante diferentes entradas. Em estudos limnológicos modelos atuam como ferramentas de auxílio do entendimento comportamental de um determinado ecossistema aquático, avaliando os efeitos de diferentes ações antrópicas, naturais, climáticas, bióticas e a interação entre essas forçantes [Fragoso Jr. *et al.* (2009)].

Os modelos mostram-se então como instrumentos que auxiliam na obtenção de uma visão dinâmica dos processos naturais, pois possibilitam a integração de informações dispersas espacialmente, simulando cenários futuros, o que pode ser utilizado para prever situações distintas [Rosman *et al.* (2001)].

No presente trabalho utilizou-se o modelo ecológico IPH-ECO visando compreender os processos físicos, químicos e biológicos de corpos hídricos, tanto rasos, como lagos e reservatórios, quanto profundos, como estuários [Fragoso Jr. *et al.* (2009)]. O modelo em questão apresenta as mais relevantes interações hidrodinâmicas, bem como os processos bióticos e abióticos, com o intuito de auxiliar o entendimento dos referidos ecossistemas aquáticos [Souza *et al.* (2016)].

O modelo IPH-ECO foi explorado, no presente trabalho, em seu módulo hidrodinâmico (bidimensional), tendo em vista que é aconselhável para corpos d'água rasos a utilização de um modelo bidimensional na horizontal (2DH), pois a dimensão horizontal predomina sobre a vertical, além de que tais sistemas nem sempre apresentam estratificações [Cheng *et al.* (1993); Rosman (1999); Cole e Wells (2002)].

O objetivo deste estudo foi aplicar um modelo hidrodinâmico bidimensional IPH-ECO em um manancial costeiro, Lagoa Extremoz, com base em dados meteorológicos e hidrológicos. A aplicação do modelo teve como objetivo realizar a calibração do módulo hidrodinâmico, a fim de compreender os fluxos d'água e variações de nível d'água, visando um melhor entendimento do sistema.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A lagoa costeira de Extremoz (05°42'76"S; 35°17'69"O) está localizada na mesorregião leste do Estado do Rio Grande do Norte, em área pertencente ao município de Extremoz-RN, a aproximadamente 15 km de distância da capital do Estado, Natal/RN. A batimetria realizada em 2017 revela que lagoa apresenta uma área superficial de 3,31 km², uma profundidade média de 3,5 metros, profundidade máxima de 7 metros e um volume máximo de 7,34x10⁶ m³.

A lagoa está inserida em territórios industriais e pertence à bacia hidrográfica do Rio Doce. Nela desaguam dois rios afluentes: o Rio Guajirú, que é o afluente de seu extremo sul, e o rio Mudo, que desemboca em seu extremo norte (Figura 1). Sendo a lagoa também alimentada por lençóis subterrâneos da formação Barreiras [Araújo *et al.* (2000)], tendo grande relevância para os habitantes de suas proximidades, uma vez que é responsável por abastecer cerca de 60 a 80% da Zona Norte da capital potiguar [Raposo e Gurgel (2003)] e parte da população das cidades de Extremoz e Ceará-Mirim. Além de ser um manancial de abastecimento, a Lagoa de Extremoz é utilizada também para os usos de pesca, lazer, bem como a presença de atividades industriais e agricultura [Raposo e Gurgel (2003); Barbosa *et al.* (2010)].

Ademais, vale ressaltar que a lagoa situa-se em uma região que possui precipitação média anual em torno de 1.586 mm, com duas estações, seca e chuvosa.

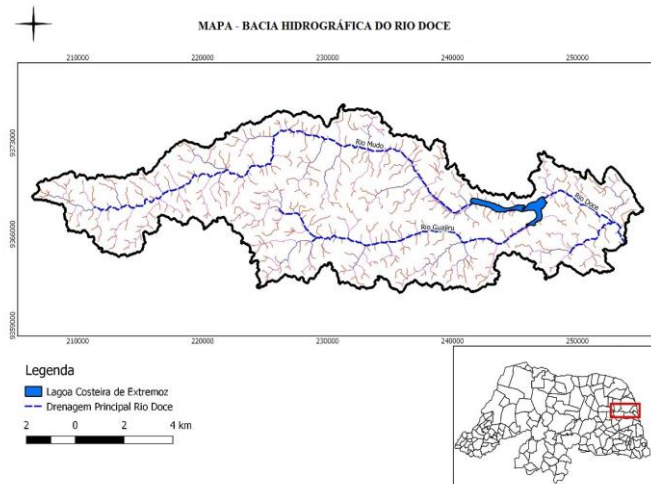


Figura 1- Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Doce com destaque para a Lagoa de Extremoz (RN).

Descrição do Modelo

O modelo computacional utilizado foi o IPH-ECO, o qual é bem aplicado em ambientes aquáticos continentais [Fragoso Jr. *et al.* (2009)]. O presente trabalho utilizou o módulo hidrodinâmico, o qual baseia-se no modelo TRIM [Casulli (1990); Cheng *et al.* (1993)], que utiliza um método de diferenças finitas, semi-implícito, com abordagem Euleriana-Lagrangiana para solucionar as equações de águas rasas, as quais descrevem um escoamento bidimensional verticalmente integrado. Essas equações são baseadas na conservação de massa e quantidade de movimento sob a suposição de que a pressão é hidrostática e de que o fluido é incompressível. Assume-se ainda que não há estratificação de densidade e que a velocidade na vertical é consideravelmente menor do que a velocidade na horizontal [(Pereira *et al.* (2013)]. As equações governantes têm a forma [Casulli (1990); Fragoso *et al.* (2008)]:

Equação da Continuidade

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial [(h + \eta)u]}{\partial x} + \frac{\partial [(h + \eta)v]}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Equação da Quantidade de Movimento (direções x e y)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \gamma u + \tau_x + A_h \nabla^2 u + f v \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \gamma v + \tau_y + A_h \nabla^2 v - f u \quad (3)$$

Onde $u(x,y,t)$ e $v(x,y,t)$ são as componentes de velocidade da água na horizontal nas direções x e y , respectivamente; t é o tempo; g é a aceleração da gravidade; $\eta(x,y,t)$ é a elevação da superfície da água medida a partir da superfície da água sem perturbação (nível de referência); $h(x,y)$ é a profundidade da água, também medida a partir do nível de referência; τ_x e τ_y são as tensões de atrito do vento nas direções x e y , respectivamente; $\nabla = \partial/\partial x \cdot \vec{i} + \partial/\partial y \cdot \vec{j}$ é um operador vetorial no plano x - y ; A_h é o coeficiente de viscosidade turbulenta horizontal; f é o parâmetro de Coriolis; e γ é o coeficiente de rugosidade de fundo. Esse coeficiente pode ser escrito como:

$$\gamma = \frac{g\sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 H} = 0 \quad (4)$$

Onde C_z é o coeficiente de atrito de Chézy e $H(x,y,t) = h(x,y) + \eta(x,y,t)$ é a profundidade total da água. A tensão de atrito do vento é escrita em termos da velocidade do vento, podendo ser calculada como:

$$\tau_x = C_D \cdot W_x \cdot ||W|| \quad (5)$$

$$\tau_y = C_D \cdot W_y \cdot ||W|| \quad (6)$$

Onde C_D é o coeficiente de arraste do vento (valores utilizados $1e-6$); W_x e W_y são as componentes do vetor velocidade do vento, que por sua vez será nas direções x e y (m/s), respectivamente; e $||W|| = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$ é a norma do vetor velocidade do vento.

Dados de entrada e condições de contorno

A inserção de dados de entrada e condições de contorno no módulo hidrodinâmico permite representar o ambiente estudado com maior precisão, de maneira a melhor se aproximar das condições reais, possibilitando aferir os modelos matemáticos e reduzir as incertezas da modelagem na estimativa das variáveis de interesse [Fragoso Jr. *et al.* (2009)]. Para a execução de uma simulação, é indispensável a inserção de dados de entrada no modelo, que se subdividem em: dados da grade, dados hidrodinâmicos e dados meteorológicos.

Os dados da grade referem-se às características físicas do sistema, dentre os quais se destacam a batimetria (altura medida em relação a um referencial vertical fixo) e a rugosidade de fundo. Os dados hidrodinâmicos incluem parâmetros, processos, condições iniciais e condições de contorno, os quais são imprescindíveis à simulação. As condições iniciais (velocidade e nível d'água) podem ser informadas pelo usuário antes de iniciar uma simulação, uma vez que o modelo

possui valores padrões para estas condições. Logo, as condições em questão podem ser atribuídas para as variáveis hidrodinâmicas e de qualidade da água.

No tocante às condições de contorno, estas serão estabelecidas de maneira a melhor se aproximar das condições reais [Fragoso Jr. *et al.* (2009)], podendo ser inseridos dois tipos, tais quais: nível d'água e vazão. Os dados meteorológicos também devem ser inseridos no modelo, sendo necessária a inserção de ao menos uma estação meteorológica, que por sua vez deverá trazer informações como temperatura do ar, humidade relativa, pressão atmosférica, intensidade e direção do vento, radiação solar, precipitação e evaporação.

Estudo de Caso: Aplicação do Modelo na Lagoa de Extremoz

O trabalho em questão utilizou a aplicação de uma discretização em grades estruturadas bidimensionais. A discretização espacial consistiu em uma malha de 25x25 m. Para a criação da grade estruturada foi importado um arquivo em extensão “*.kml” contendo as coordenadas do polígono de contorno, o qual foi gerado a partir do Google Earth. O período de simulação limitou-se ao intervalo dos dias 06/11/2017 e 15/11/2017 para o módulo hidrodinâmico.

Em seguida, foram inseridos no modelo dois *layers* de dados de grade, que compreendem a batimetria, que corresponde a elevação medida em relação a um nível fixo de referência, e rugosidade de fundo (associado à formulação de Chézy). A batimetria revelou que a profundidade média do reservatório é de 3,5 metros, caracterizando uma lagoa rasa, com predomínio da dimensão horizontal sobre a vertical, o que não justifica a aplicação de uma aproximação tridimensional. Desta forma, foi utilizada uma representação bidimensional na horizontal (2DH) do domínio.

Já análise da rugosidade de fundo para o caso da Lagoa de Extremoz está mais associada à variação de nível dos dados de entrada e saída de vazões. Considerou-se, inicialmente, um valor constante, vinculado ao coeficiente de Chézy no módulo hidrodinâmico, definido como $50 \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ para toda a Lagoa Costeira de Extremoz.

Nas condições iniciais da configuração hidrodinâmica, foi utilizado 1,60 metros como o valor de referência do nível d'água, que por sua vez foi baseado nos dados de níveis da CAERN (Companhia de Água e Esgoto de Rio Grande do Norte), obtido através dos valores da batimetria. Vale ressaltar que o valor de 1,60 m utilizado é referente ao valor da superfície (0,0 m). As componentes de velocidade em x, y e z, foram inseridas com os valores iguais a zero.

Para as condições de contorno do modelo foram inseridas as vazões afluentes (Rio Mudo + Rio Guajirú + contribuição subterrânea), obtidas através do balanço hídrico da Lagoa Costeira de Extremoz, cota (m). Para a realização do balanço hídrico foi utilizada a curva (cota – área – volume), cota (m), área (m²), volume (m³), utilizado dados meteorológicos.

Os dados meteorológicos, como precipitação (mm), intensidade ($m.s^{-1}$) e direção do vento foram fornecidos pela estação climatológica do projeto, instalada na Lagoa de Extremoz, na torre de captação da água da CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte) ($05^{\circ}42'76''S$; $35^{\circ}17'69''O$). Os dados de evaporação foram obtidos diretamente da estação climatológica de Natal, INMET/RN.

Para as vazões afluentes inseridas no modelo foram utilizados valores de uma série temporal (05/11/2017 a 15/11/2017), obtida a partir do balanço hídrico mencionado. Já em relação às vazões de retirada, foi utilizado um valor constante de acordo os valores outorgados para CAERN e Coteminas (Indústria Textil) ($-0,76m^3/s$).

O módulo hidrodinâmico foi calibrado a partir da comparação das estimativas de nível da água pelo modelo com os dados de níveis da água coletados diariamente pelas régua linimétricas da CAERN, localizadas na captação da Lagoa de Extremoz ($05^{\circ}42'76''S$; $35^{\circ}17'69''O$), onde os valores foram tabulados pelos operadores da companhia às 08:00 A.M. de cada dia.

No presente trabalho foi adotado como técnica estatística, na avaliação de desempenho do modelo, o Coeficiente de determinação de Nash-Sutcliffe (COE), que por sua vez, comparou os dados diários de vazão simulados com os dados observados. O coeficiente (COE) pode variar entre negativo infinito a 1, sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste [Asce (1993)]. Conforme [Silva *et al.* (2008)], quando o valor de COE for maior que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores de COE entre 0,36 e 0,75, o desempenho é considerado aceitável, e quando os valores de COE forem inferiores a 0,36 o modelo é considerado como inaceitável.

As simulações foram realizadas em um período de 09 dias, iniciadas no dia 05/11/2017 e finalizadas no dia 15/11/2017. Ao final de cada simulação os valores de nível d'água de saída do modelo foram comparados com os dados de mesmo horário de observação das régua linimétricas da CAERN, sempre às 08:00 AM.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a simulação foi considerado um valor constante do coeficiente de Chézy de $50 m^{1/2}.s^{-1}$. Esse valor de coeficiente apresentou boa aplicabilidade, uma vez que, os resultados da calibração foram satisfatórios, com e sem o efeito do vento (Figura 2). O coeficiente de determinação R^2 resultante foi de 0,9967 para a simulação que desprezou o efeito do vento e de 0,9906 para a simulação que considerou o efeito do vento, mostrando resultados satisfatórios para a Lagoa de Extremoz. Dessa forma, constata-se que o modelo foi capaz de seguir o mesmo padrão de variação dos dados observados, não trazendo discrepâncias entre tais os valores.

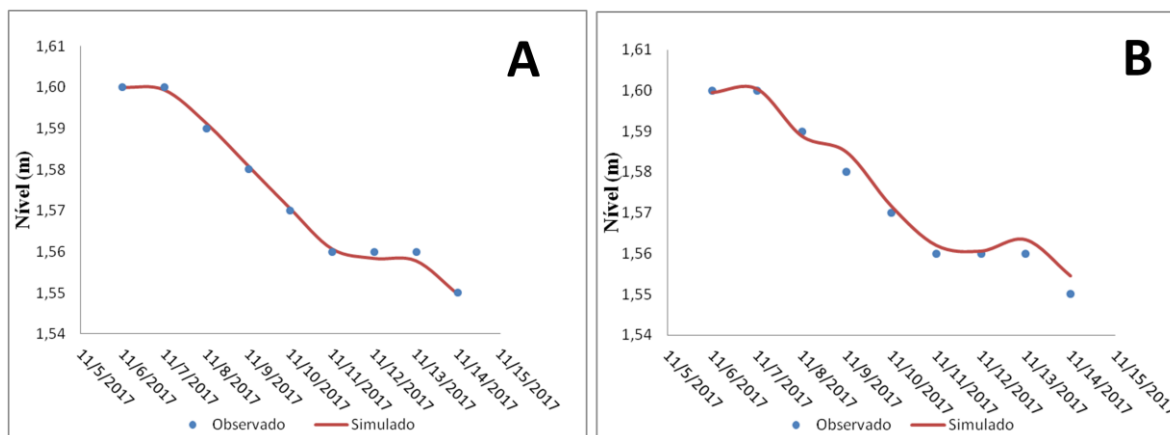


Figura 2- Resultado da calibração sem o efeito do vento (A) e com o efeito do vento (B) para a Lagoa de Extremoz (RN).

O valor do COE para a simulação que desprezou o valor do vento foi de 0,999, o qual é considerado bom ajuste. Já para a simulação que levou em consideração o efeito do vento, o valor do COE foi de 0,987, que também considerado bom ajuste conforme [Silva et al. (2008)].

A aplicação do modelo bidimensional IPH-ECO foi capaz de representar satisfatoriamente a variabilidade real dos níveis d'água na Lagoa Costeira de Extremoz sob a ação do vento e consequente hidrodinâmica. Não houve necessidade de ajustes no coeficiente de Chézy uma vez que a constante utilizada de $50 \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ foi suficiente para garantir uma boa correlação entre os dados calculados e observados. A aplicação do modelo foi capaz de representar satisfatoriamente a variabilidade real dos níveis d'água sob a ação do vento, e consequente hidrodinâmica. Assim, espera-se que o trabalho seja um instrumento que possa auxiliar os órgãos de operação, gestão e fiscalização, de modo a trazer benefícios para a sociedade, visando assim o alcance da função social da produção científica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo fomento de pesquisa ao Projeto “*Produtos e Processos - Modelagem Ecológica de Ecossistemas Aquáticos: Estrutura, Funcionamento e Previsão em Lagoas Costeiras*”, coordenado pelo Prof. Carlos Ruberto Fragoso Junior; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que concedeu a bolsa de iniciação científica do autor Raul Leite da Costa.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M.F.F.; COSTA, I.A.S; CHELLAPPA, N.T. (2000). “Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais na Lagoa de Extremoz, Natal-RN, Brasil”. *Acta Limnologica Brasiliensia* 12, pp.127-140.
- ASCE (1993). “Task Committee on Definition of Criteria for Evaluation of Watershed Models of the Watershed Management. Committee Irrigation and Drainage Division. *Criteria for evaluation of watershed models*”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 119, pp.429-442.
- BARBOSA, J.S.; CABRAL, T.M.; FERREIRA, DN.; AGNEZ-LIMA, LF.; BATISTUZZO DE MEDEIROS, SR. (2010). “Genotoxicity assessment in aquatic environment impacted by the presence of heavy metals”. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73(3), pp.320-325.
- CASULLI, V. (1990). “Semi-implicit finite difference methods for the two-dimensional shallow water equations”. *Journal of Computational Physics* 86(1), pp. 56-74.
- CHENG, R. T.; CASULLI, V.; GARTNER, J.W. (1993). “Tidal, residual, intertidal mudflat (TRIM) model and its applications to San Francisco Bay, California”. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 36(3), pp. 235-280.
- COLE, T.M.; WELLS, S.A. (2002). “CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.1”. User Manual. 54p.
- ESTEVES, F.A. (1998). “Lagoas Costeiras: Origem, Funcionamento e Possibilidade de manejo”, in *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. Org. por ESTEVES, F.A., NUPEM-UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, pp. 63-87.
- FRAGOSO JR., C.R.; VAN NES, E.H.; JANSE, JAN H.; MOTTA MARQUES, D. (2009). “IPH-TRIM3D-PCLake: A three-dimensional complex dynamic model for subtropical aquatic ecosystems.” *Environmental Modelling & Software* 24(11), pp. 1347-1348.
- JORGENSEN, S. E. (1994). “Models instruments for combination of ecological theory and environmental practice”. *Ecological Modelling* 75/76, pp. 5–20.
- NASCIMENTO, D.M.C.; DOMINGUEZ, J.M. L. (2009). “Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia”. *Revista Brasileira de Geociências* 39(3), pp. 395-408.
- PEREIRA, F.F.; FRAGOSO JR., C.R.; UVO, C.B.; COLLISCHONN, W.; MOTTA MARQUES, D.M.L. (2013). “Assessment of numerical schemes for solving the advection–diffusion equation on unstructured grids: case study of the Guaíba River, Brazil”. *Nonlinear Processes in Geophysics* 20(6), pp. 1113-1125.
- RAPOSO, R.M.G.; GURGEL, L.C.B. (2003). “Variação da alimentação natural de *Serrasalmusspilopleura Kner, 1860 (Pisces, Serrasalminidae)* em função do ciclo lunar e das estações do ano na lagoa de Extremoz, Rio Grande do Norte, Brasil”. *Acta Scientiarum* 25, pp. 267-272.
- ROSMAM, P. C. C. (1999). “Subsídios para modelagem de sistemas estuarinos”. In: *Métodos numéricos em recursos hídricos*. Org. ROSMAN, P.C.C.; MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G.; CAMPOS, R.O.; EIGER, S. ABRH, Rio de Janeiro-RJ, pp.229-343.

ROSMAN, P. C. C.; MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G.; CAMPOS, R. O.; EIGER, S. (2001). “*Métodos numéricos em recursos hídricos*”. 5. ed. ABRH, Rio de Janeiro-RJ.

SIERRA, V.M.; MESQUITA, W.A. (2006). “Vulnerabilidades e Fatores de Risco na Vida de Crianças e Adolescentes”. São Paulo em Perspectiva 20(1), pp. 148-155.

SILVA, P.M.O.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M. & COELHO, G. (2008). “*Modelagem da hidrografia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 12, pp. 258-265.

SOUZA, F.F.C.; RIBEIRO, C.B.M.; FRAGOSO JR., C.R.; OTENIO, M.H. (2016). “*Modelagem do regime térmico de um reservatório tropical de abastecimento público, Juiz de Fora, MG, Brasil*”. Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science 11(1), pp. 60-74.

TUCCI, C.E.M. (1998). “*Modelos Hidrológicos*”. UFRGS/ABRH, Porto Alegre. 669 pp.