

MODELAGEM E PREVISÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA UTILIZANDO DADOS METEOROLÓGICOS DO MODELO REGIONAL RAMS

Wictor Edney Dajtenko Lemos^{1*}
Francisco de Assis de Souza Filho¹
Cleiton da Silva Silveira¹
Samuellson Lopes Cabral¹

RESUMO --- A temperatura média global sofreu um aumento próximo a 1° Célsius, ao longo da segunda metade do século passado. Com o aumento da temperatura da água, especialmente em períodos críticos do ano, a qualidade da água poderá ser negativamente afetada. Neste trabalho utilizou-se o modelo de qualidade da água CE-QUAL-W2, versão 3.6, forçado pelos dados de saída do modelo regional RAMS 6.0, visando, pela integração de modelos, a previsão sazonal da temperatura da água do reservatório Pereira de Miranda. Pôde-se observar que apesar de superestimar alguns parâmetros, o modelo RAMS serviu como uma boa base de dados à modelagem conjunta com o modelo CE-QUAL-W2. Os resultados modelados mostraram uma boa aproximação ao que foi observado em campo. A tendência em o reservatório estratificar na profundidade dos 5 metros foi evidenciado no modelo. Com a metodologia proposta foi possível estimar o comportamento da temperatura da água no reservatório Pereira de Miranda frente às variabilidades temporais.

Palavras-Chave: Modelagem numérica. Modelagem sazonal. Qualidade da água.

ABSTRACT --- The global average temperature has increased close to 1 ° Celsius during the second half of last century. In additional to that, especially during critical periods of the year, water quality may be adversely affected. We used the water quality model CE-QUAL-W2, v. 3.6, forced by the output data of the regional model RAMS 6.0, aiming through integration of models, the water temperature seasonal predicting of the Pereira de Miranda reservoir. It was observed that although the RAMS model overestimates some parameters, it served as a good basis for temperature modeling together with CE-QUAL-W2 model. The results showed a good approximation to what was observed in the local measurement. The thermal stratification tendency at a depth of 5 meters was evidenced in the model. With the proposed methodology was possible to estimate the water temperature behavior in the Pereira de Miranda reservoir in despite of temporal variability.

Keywords: Numerical modeling. Seasonal modeling. Water quality.

¹ Universidade Federal do Ceará: *dajtenko@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O problema de escassez de água doce é acentuado nas regiões áridas e semiáridas do globo. A irregularidade pluviométrica, sua má distribuição no tempo e no espaço, a elevada taxa de evaporação/evapotranspiração e as altas temperaturas caracterizam a região semiárida e condicionam o seu desenvolvimento. Regiões como o Semiárido, onde a escassez de recursos hídricos é uma característica socionatural, a variabilidade do clima e a escassez hídrica são características marcantes que diferencia a região.

Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas a temperatura média global sofreu um aumento próximo a 1° Célsius, ao longo da segunda metade do século passado (IPCC, 2007). Espera-se um aumento crescente de 1 a 3° C entre a metade e o fim deste século em resposta ao aumento das emissões de gases de efeito estufa. A temperatura do ar impacta na temperatura da água, especialmente em períodos críticos do ano, que poderá ser negativamente afetada. Mudanças nos biota aquáticos poderão ocorrer em parte devido às reduções no oxigênio dissolvido.

Neste contexto torna-se imprescindível o uso de ferramentas numéricas para a previsão climática sazonal da qualidade da água. A temperatura da água, um dos principais parâmetros impactados por mudanças no clima, poderá ser prognosticada através de modelos climáticos regionais. Através do downscaling dinâmico de modelos climáticos globais, é possível extrair informações mais refinadas quanto à resolução espacial para a avaliação do impacto do clima. Modelos atmosféricos globais apresentam resolução espacial igual ou acima de 250 quilômetros, enquanto os modelos regionais trabalham com uma área limitada, com resolução da ordem de dezenas de quilômetros.

Neste trabalho utilizou-se o modelo numérico de modelagem da qualidade da água CE-QUAL-W2, versão 3.6, forçado pelos dados de saída do modelo regional RAMS (Regional Atmospheric Modeling System - RAMS 6.0). O objetivo principal foi propor uma metodologia de previsão sazonal da qualidade da água, através do acoplamento de modelos hidrodinâmicos e de qualidade da água aos modelos regionais de tempo, visando à criação de cenários futuros do comportamento dos reservatórios frente às variabilidades temporais.

2 BASES CONCEITUAIS

2.1 Modelagem da qualidade da água

Um modelo matemático pode ser utilizado como ferramenta para entender melhor o comportamento do sistema e a representação de um fenômeno ou de um conjunto de fenômenos do mundo real, quantificando possíveis impactos gerados por certas atividades humanas (CHAPRA, 1997; FRAGOSO Jr., 2009). Os modelos geralmente dividem-se em seis grupos: zero dimensional; unidimensionais horizontais; unidimensionais verticais; duas dimensões no plano horizontal; duas dimensões no plano vertical e três dimensões. Cada um deles possui sua aplicabilidade e suas restrições de uso.

Os modelos aplicáveis a lagos e reservatórios envolvem dois componentes importantes: (i) um balanço hídrico ou equação de continuidade que descreve a quantidade de água de água presente em um determinado momento, e (ii) uma série de balanços de massa ou equações advectivas-dispersivas, que descrevem a variação da quantidade de um determinado contaminante ou constituente da qualidade da água presente no meio e a maneira como a sua massa é transportada e

transformada; onde é resolvida uma equação de balanço de massa para cada constituinte de interesse (MARTIN; McCUTCHEON, 1998).

Em reservatórios profundos onde o processo da estratificação por densidades é mais efetivo geralmente utilizam-se modelos de duas dimensões no plano vertical. Tais modelos, como é o caso do CE-QUAL-W2, considera o reservatório bem misturado lateralmente, e são utilizados na simulação de padrões de vazão e temperatura da água, descrevendo o movimento e a entrada de alguns constituintes da qualidade da água (COLE; WELLS, 2008).

O modelo matemático CE-QUAL-W2 versão 3.6 é um modelo hidrodinâmico e de qualidade de água bidimensional vertical desenvolvido pelo corpo de engenheiros do exército americano, que tem sido extensivamente aplicado em rios, lagos, reservatórios, estuários e combinações destes. Dentre suas aplicações, encontra-se na literatura seu uso na modelagem da eutrofização em reservatórios (KUO *et al.*, 2006; HA & LEE, 2008; BERGER *et al.*, 2010); efeitos da temperatura e do oxigênio dissolvido no comportamento animal (SULLIVAN *et al.*, 2003); estudos de hidrodinâmica, temperatura e oxigênio dissolvido (GREEN *et al.*, 2003); acoplamento a outros modelos e gerenciamento dos recursos hídricos (DEBELE *et al.*, 2008).

2.2 Modelagem Sazonal – o modelo RAMS

A previsão do tempo é uma estimativa do comportamento médio da atmosfera buscando antecipar as condições meteorológicas futuras. Para tal, um dos modelos regionais mais utilizados pela comunidade científica é o modelo RAMS. Seja para pesquisas ou em previsões numéricas de tempo em instituições dedicadas ao assunto, este modelo é capaz de reproduzir grande parte dos diversos e mais relevantes fenômenos atmosféricos mais utilizados.

Os modelos meteorológicos podem ser globais ou regionais. Quando as equações são resolvidas sobre todo o globo sem ater-se às particularidades de cada região, temos um modelo global. Estes modelos são utilizados não somente para previsão atmosférica, mas também para estudos climáticos de escala global como a ação de poluentes na camada de ozônio ou a influência do fenômeno El Niño no clima global (SILVEIRA, 2009).

Os modelos regionais trabalham sobre uma área geográfica menor, podendo trabalhar com uma resolução maior, o que permite tratar mais detalhadamente fatores locais como a topografia e a hidrografia. Apesar disso, são similares aos modelos globais, pois também resolvem equações que governam o movimento atmosférico e são operacionalmente dependentes destes, utilizando, como condições de fronteira, dados obtidos de um modelo global.

3 LOCAL DE APLICAÇÃO

3.1 Açude Pereira de Miranda

O açude Pereira de Miranda, conhecido como açude Pentecoste, localiza-se a 85 km de Fortaleza. Foi construído pelo Departamento de Obras Contra as Secas – DNOCS entre os anos de 1950 e 1957, barrando o rio Canindé na sua foz junto ao rio Curu. Os objetivos da sua construção foram o abastecimento de água, a irrigação, a geração de energia elétrica, a piscicultura e o controle das cheias do rio Curu (COGERH, 2010).

Com uma área inundável de 54,86 km² e capacidade para armazenar 395.638.000 metros cúbicos, apresenta médios índices pluviométricos, cerca de 817,7 mm.ano⁻¹, concentrados de janeiro a abril, com temperatura variando de 26 a 28 °C. A classificação climática o enquadra como tropical

quente semiárido. A região possui alto poder de evaporação, que provoca um regime de escoamento superficial de alta variabilidade, com cursos d'água intermitentes, apresentando vazões nulas por longos períodos.

3.2 Aquisição de dados secundários

A batimetria do reservatório Pereira de Miranda foi fornecida pela COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos), o qual consistiu no levantamento de dados das curvas de nível e do gráfico da Cota x Área x Volume do reservatório. Os dados meteorológicos foram disponibilizados através das séries históricas das plataformas de coleta de dados (PCD) da FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.

Foram realizadas campanhas de monitoramento da temperatura da água do reservatório Pereira de Miranda com vistas o fornecimento de dados para a calibração. As campanhas englobaram os dois períodos típicos da região, o período chuvoso e o seco, onde foram realizadas amostragens no tempo e no espaço, descrevendo a variação sofrida ao longo da coluna d'água. O ponto de amostragem correspondeu a uma posição central, sem influência direta de nenhum afluente e nem dos maciços da barragem. As medições tiveram início às 06h00min de um dia e término às 06h00min do dia seguinte. O intervalo entre uma medição e outra foi de três horas, mesmo intervalo utilizado pelas PCD da FUNCEME. As medições foram iniciadas em dezembro de 2009 – época seca – onde permaneceram as coletas mensais até abril – época chuvosa.

4 METODOLOGIA

4.1 Visão geral e descrição do modelo de previsão

Para a previsão dos principais parâmetros meteorológicos de entrada ao modelo de qualidade da água, foram utilizados dados de saída do modelo global ECHAM 4.5. Esses dados foram utilizados na inicialização do modelo climático regional RAMS.

A Figura 1 mostra o esquema utilizado para a previsão sazonal da qualidade da água com base no modelo CE-QUAL-W2 calibrado e das saídas do modelo RAMS. Os demais parâmetros de entrada (vazão fluvial à montante e temperatura do rio afluente) foram nulos, devido à época seca do período em que foi feita a campanha de monitoramento (novembro de 2009 a abril de 2010). Assim, foram construídos os arquivos de entrada ao modelo numérico com os dados do modelo RAMS, membro 19, para as seguintes variáveis: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade e direção dos ventos e cobertura de nuvens.

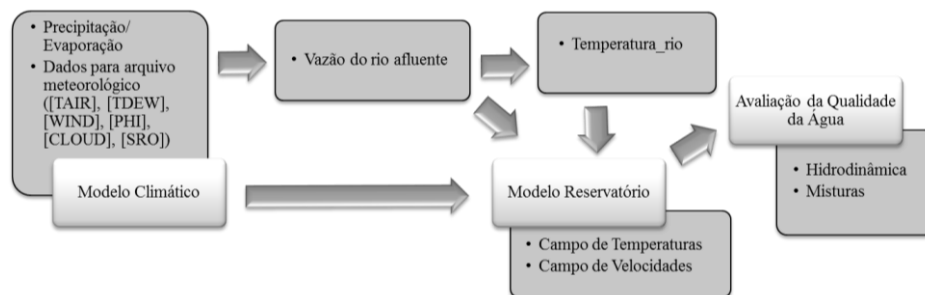


Figura 1. Visão geral do modelo de previsão proposto.

4.2 Configuração e Calibração do modelo CE-QUAL-W2

De posse dos dados batimétricos obtidos através do trabalho de campo realizado pela COGERH, foi iniciada sua manipulação para a obtenção do modelo digital do terreno respectivo ao açude Pereira de Miranda, com o uso do software AUTOCAD CIVIL 3D, seguindo metodologia descrita por Wedding & McEachron (2010). A Figura 2 mostra a criação da superfície 3D do reservatório e sua segmentação.

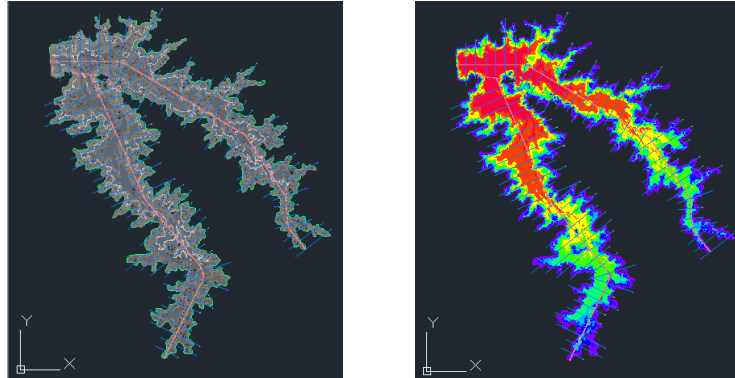


Figura 2. Discretização final do reservatório Pereira de Miranda.

Foram criadas 72 seções batimétricas, sendo 36 no braço principal e 36 no braço secundário. Algumas seções foram excluídas, por estarem fora da abrangência do volume útil do reservatório, restando, ao final, 67 seções no modelo numérico.

Com base nestas seções foram extraídas as informações para a geração do arquivo de batimetria ao modelo CE-QUAL-W2. Cada vista de seção gerou uma tabela com valores de distância *versus* cota que forneceram os valores das distâncias laterais das seções, dentro da cota considerada, espaçando-os de 1 em 1 metro as profundidades. Com isso foram geradas larguras da cota inferior do reservatório, aos 37,45 metros, até a cota superior, 57,25 metros, resultando em 21 camadas verticais. Na Figura 3 observa-se um comparativo entre o modelo digital e o modelo numérico em CE-QUAL-W2.

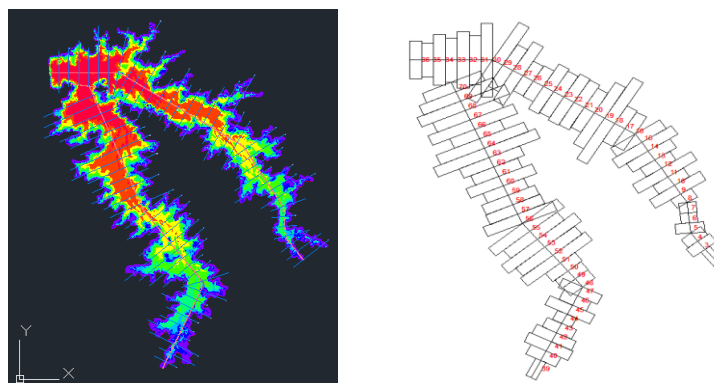


Figura 3. Modelo digital e modelo numérico (CE-QUAL-W2).

O próximo passo foi calibrar (1) e verificar (2) o modelo numérico. Trata-se do momento da modelagem onde os resultados de uma modelagem inicial serão comparados aos resultados, e, onde os coeficientes do modelo numérico serão ajustados (1) para a devida correspondência aos dados reais (2). O segmento no modelo numérico foi o segmento 36, segmento este, no reservatório real, onde foram realizadas as amostragens (Figura 4).

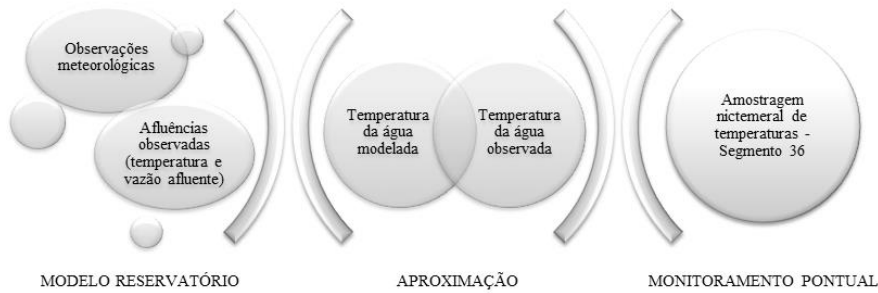


Figura 4. Calibração do modelo CE-QUAL-W2.

5 RESULTADOS

Os dados do modelo RAMS mostraram claramente uma variação dentro de limites específicos, mostrando um resfriamento (temperatura do ar) quando comparados aos dados observados nas PCDs. As maiores diferenças observadas foram para os parâmetros temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e velocidade do vento. Para essas três variáveis foram realizadas correções (correção de viés) somando ao valor do parâmetro a diferença entre a média observada pela modelada.

Os dados fornecidos pela simulação sem a correção de viés apresentaram grande diferença aos dados observados, forçando a correção para futuro uso. A Figura 5 mostra a ampla variação de dados de velocidade do vento para alguns meses do ano de 2010, em vermelho; dados de saída do modelo regional RAMS, em azul e a correção de viés, em verde.

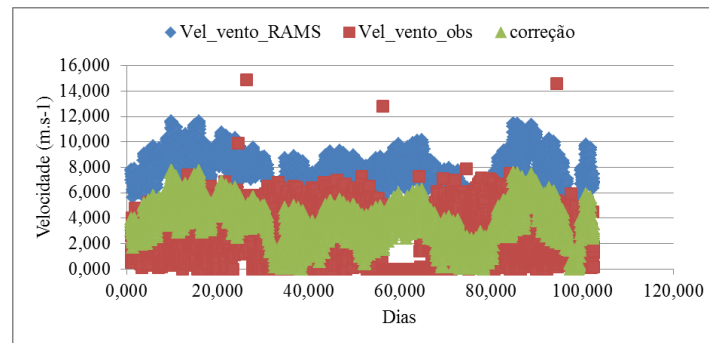


Figura 5. Correção de viés para o parâmetro velocidade do vento.

Os dados corrigidos foram utilizados na criação dos arquivos de entrada ao modelo CE-QUAL-W2. O modelo simulou um ano corrido, iniciando-se em 1º de janeiro até 31º de dezembro de 2010. Foi considerado que todas as seções no modelo do reservatório estariam com os perfis verticais de temperatura iguais ao perfil medido em campo, no mês de janeiro de 2010 (Figura 6).

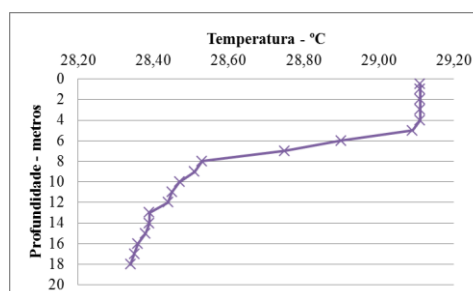


Figura 6. Perfil observado no mês de janeiro de 2009.

O modelo foi rodado para o período descrito, partindo-se da condição inicial do perfil da Figura 6, e seus dados de saída para o mês de abril foram plotados contra os observados na campanha realizada em campo. Considerou-se que o perfil observado (Figura 6) seria encontrado para uma semana inteira no reservatório. Este princípio da previsão retrata não somente valores que podem ser encontrados em um dia, como no caso da observação em campo, mais um leque de curvas prováveis, representando dias antes ou depois das curvas observadas. Desta forma, busca-se representar não o comportamento da curva de temperatura em si, mas as tendências e os padrões nos quais a temperatura da água se apresenta, sejam pelos máximos e mínimos encontrados, ou pela tendência da termoclina local.

Na figura 7 observam-se os gráficos comparativos entre o medido e o modelado. Iniciou-se a modelagem a partir do dia 1 de abril de 2010, às 6 horas, considerando o perfil encontrado igual ao perfil medido em campo na campanha do dia 6 de abril de 2010. Com isso, a partir deste, seguiu-se com os resultados do modelo até o dia 15 de abril de 2010, às 21h, replicando dia a dia os perfis encontrados nos dias 6 e 7 de abril. É possível notar pelos gráficos da Figura 7 que o modelo reproduziu bem a tendência do reservatório em estratificar termicamente na profundidade próxima aos 5 metros. Uma maior amplitude nos valores de temperatura modelada foi observada, motivados pela previsão e correção de viés dos dados do modelo regional RAMS.

O modelo representou bem os dados observados não só no dia em que foram feitas as observações, mas dois ou três dias antes e depois da amostragem. Esta metodologia poderá ser estendida a outros corpos de água e, através da melhoria dos dados de entrada e a inclusão de modelos hidrológicos (estimação de vazão afluente), aumentar a previsibilidade sazonal proposta.

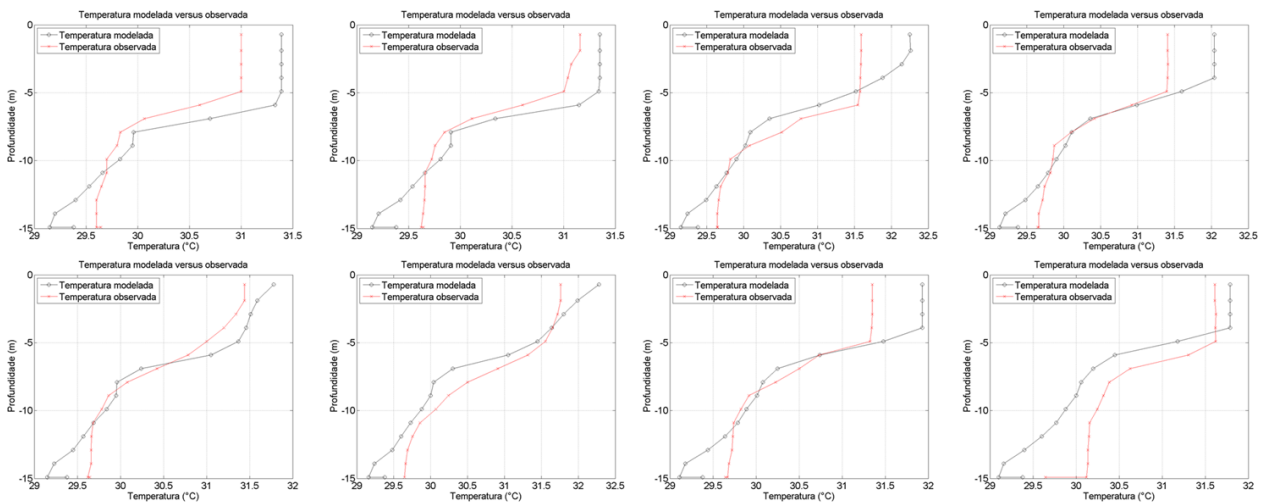


Figura 7. Temperatura modelada *versus* observada - 6 abr. 2010, às 6, 9, 12, 15, 18, 21, 0 e 3 horas.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se, pela integração de modelos, a previsão da temperatura da água do reservatório Pereira de Miranda. Pôde-se observar que apesar de superestimar alguns parâmetros, o modelo RAMS serviu como uma boa base de dados à modelagem conjunta com o modelo CEQUAL-W2. Os resultados modelados mostraram uma boa aproximação ao que foi observado em campo, demonstrando o potencial do acoplamento realizado na previsão sazonal. A tendência em o reservatório estratificar na profundidade dos 5 metros foi evidenciado no modelo, assim como sua formação mais estável na parte da manhã.

Com a metodologia proposta será possível ter ideia do comportamento da temperatura da água em reservatórios frente às variabilidades temporais. Em pesquisas futuras, a integração de modelos hidrológicos para a previsão das vazões afluentes ao reservatório assim como modelos para prever temperaturas do rio à montante fortalecerá a metodologia abordada.

7 REFERÊNCIAS

- BERGER, Chris; WELLS, Scot; LAWLER, Ken; WELLS, Vanessa. *Reservoir Downstream Modeling Amaila Falls Hydroelectric Project*. Model Development and Scenarios. Appendix D.1, Dez. 2010.
- CHAPRA, S. C. *Surface water-quality modeling*. McGraw-Hill, New York. 1997. 844 p.
- COLE, T.M.; WELLS, S. A. CE-QUAL-W2: *A two-dimensional, laterally averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.6*. Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, OR. 712p. 2008.
- DEBELE, B.; SRINIVASAN, R.; PARLANGE, J.-Y. Coupling upland watershed and downstream waterbody hydrodynamic and water quality models (SWAT and CE-QUAL-W2) for better water resources management in complex river basins. *Environ Model Assess* 13:135–153. 2008.
- FRAGOSO Jr., Carlos Ruberto; MARQUES, David de Motta; FERREIRA, Tiago Finkler. *Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 304p.
- GREEN, W. Reed; GALLOWAY, Joel M.; RICHARDS, Joseph M.; WESOLOWSKI, Edwin A. Simulation of Hydrodynamics, Temperature, and Dissolved Oxygen in Table Rock Lake, Missouri, 1996–1997. *Water-Resources Investigations Report* 03–4237. Rolla, Missouri, 2003.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press: Cambridge, 23 p, 2007.
- MARTIN, James Lenial; McCUTCHEON, Steve C. *Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modeling*. CRC Press: Boca Raton, Florida. 1998. 794p.
- MORRILL, Jean C.; BALES, Roger C.; CONKLIN, Martha H. Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 131, No. 1, January 1, 2005.
- SILVEIRA, Cleiton da Silva. *PREVISÃO DO TEMPO POR ENSEMBLE PARA O NORDESTE BRASILEIRO*. Dissertação de Mestrado. Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará. 202 p. 2009.
- WEDDING, James; McEACHRON, Scott. *Mastering AutoCAD Civil 3D 2011*. Autodesk – Official Training Guide. Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2010. 910 p.