



## 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010

### Aplicação do modelo IPH-TRIM3D-PCLake em um braço de reservatório tropical.

**Marcelo Francisco da Silva<sup>1</sup>, David da Motta Marques<sup>2</sup>, Carlos Ruberto Fragoso Jr<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual do maranhão (mfsilva@cesi.uema.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (dmm@iph.ufrgs.br, crubertofj@hotmail.com)

#### **Resumo**

O modelo IPH-TRIM3D-PCLake é um complexo sistema computacional desenvolvido com o objetivo de facilitar a interpretação das interações bióticas e abióticas que ocorrem em corpos hídricos subtropicais rasos. A aplicabilidade deste modelo em ambientes tropicais, principalmente, devido a sua capacidade de trabalhar na discretização vertical do corpo hídrico, leva a necessidade da realização dês estudos em busca do melhor ajuste deste modelo nessas condições

Palavras-chave: Modelagem Ambiental. Reservatório tropical. IPH-ECO.

Área Temática: Recursos Hídricos

#### **Abstract**

*The model IPH-TRIM3D-PCLake is a complex computer system developed with the objective of facilitating the interpretation of the biotic and abiotic interactions shallow subtropical systems. The applicabilidade of this model in tropical reservoir, mainly, due to its capacity to work in the vertical discretização of the reservoir, it takes the need of the accomplishment you give studies in search of the best adjustment of this model in those conditions.*

*Key words: Environmental Modeling. Tropical reservoir. IPH-ECO.*

*Theme Area: Water Resources*



## 1 Introdução

A problemática ambiental é complexa e se enquadra no conjunto dos problemas contemporâneos que são agravados pela utilização desordenada e o mal gerenciamento dos recursos naturais (ZOCOLER *et al.*, 2005). Segundo Collischonn e Tucci (2001), as pressões geradas pelo desenvolvimento econômico dos países tem causado impactos que podem comprometer a sustentabilidade a longo prazo, além de influenciar nas variáveis dos sistemas hidrológicos o que pode interferir de forma negativa sobre as populações humanas.

A gestão dos recursos hídricos é a forma pela qual se busca equacionar e resolver estas problemáticas ambientais. Para tanto, se faz necessária a disponibilização de instrumentos que permitam a quantificação dos recursos naturais, assim como o monitoramento e gerenciamento de sua qualidade (SILVA, 2002). Para Angelini (1999) o uso da análise de sistemas permite que fenômenos complexos possam ser reduzidos a partes elementares, o que possibilita a aplicação de métodos quantitativos. A modelagem matemática portanto, vem se configurando como o instrumento mais eficaz para a previsão de mudanças em ecossistemas, principalmente devido a sua versatilidade quanto a possibilidade de alteração de sua lógica, obtendo-se resultados de diferentes situações de um mesmo sistema ou de diferentes sistemas (TUCCI, 2005).

O baixo custo e a facilidade de aplicação e manipulação são algumas das vantagens da utilização de modelos de simulação na interpretação ecológica de ecossistemas. Contudo, deve-se ter em vista que a relativa simplicidade dos modelos frente à complexidade dos sistemas naturais torna necessária a legitimação dos mecanismos matemáticos para a descrição da qualidade das águas superficiais (RECKHON, 1994).

Nesse contexto, a aplicação de modelos na simulação da qualidade da água, torna-se uma ferramenta relevante para a tomada de decisão e análise de risco sobre questões referentes a corpos hídricos, em especial os associados a agrupamentos urbanos, pois estes estão sobre forte influência antrópica e consequentemente sujeitos a modificação seja de suas características fisiográficas, ecológicas ou de sua biota.

## 2 Modelagem Ambiental

Pode-se entender paisagem como uma determinada porção do espaço que resulta da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais, interagindo dialeticamente uns sobre os outros, formam um conjunto único e indissociável em perpétua evolução (CEMIN *et al.*, 2007). As bacias hidrográficas são excelentes unidades de planejamento e gerenciamento, pois são sistemas ecológicos que abrangem todos os organismos que funcionam em conjunto numa dada área, sendo os recursos naturais interligados e dependentes (HEATHCOTE, 1998).

Contudo, a complexidade desses ecossistemas tornou necessário o desenvolvimento de técnicas que permitissem sua interpretação. Nesse contexto, a aplicação da técnica de modelagem matemática tornou-se uma ferramenta rotineira no auxílio da solução de problemas relacionados a gestão de recursos hídricos (BONGANHA *et al.*, 2007). A escolha do modelo depende de muitos fatores tais como: os objetivos da análise, a disponibilidade de dados e o tempo de resposta (GASTALDINI *et al.*, 2002). Tundisi (1999) e Jorgensen (1994) afirmam que a utilização de modelos é importante no planejamento e na elaboração de cenários alternativos que englobem diagnósticos dos sistemas hídricos em sua estruturação, processo e dinâmica, gerando uma ampliação na capacidade preditiva e permitindo responder a uma demanda permanente dos gestores de recursos hídricos e da sociedade



## 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010

(CHRISTOFOLETTI, 2000; WESTERVELT, 2001). Se consolidando como uma importante ferramenta na otimização de aspectos econômicos, sociais e/ou ambientais (FRAGOSO Jr *et al.*, 2009a).

Para avaliar o efeito que teria qualquer perturbação numa bacia hidrográfica, é necessária a geração de informações sobre as características hidrológicas do ecossistema natural, para posteriormente fazer a comparação com aqueles em que houve intervenções antrópicas (CARDOSO *et al.*, 2006). A análise desses aspectos do ecossistema envolve características de clima, geomorfologia, solo, vegetação, deflúvio e evapotranspiração, com o que se podem quantificar os processos hidrológicos da bacia e correlacioná-los com as diferentes variáveis relacionadas à quantidade e qualidade da água, assim como sua dinâmica.

### 3 Reservatórios

Desde tempos remotos a construção de reservatórios em sido uma das grandes experiências humanas na modificação dos ecossistemas naturais. Estes empreendimentos são sistemas complexos, apresentando um padrão dinâmico com mudanças rápidas no mecanismo de funcionamento e de gradientes horizontais e verticais. Motivada pela necessidade de armazenar água para o consumo, irrigação, controle de inundação, aquicultura ou geração de energia, esse tipo de atividade tem sido seguido de alterações significativas na qualidade da água (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008; TUNDISI, 2006). De acordo com Tundisi e Straškraba (1999), pelos estudos em reservatórios é possível detectar os efeitos antropogênicos na bacia de drenagem a qual pertence o mesmo.

Segundo Rivera (2003), nos últimos 20 anos a intensificação das atividades antrópicas tem sido responsáveis pela aceleração do processo de eutrofização de reservatórios, levando a modificações significativas na qualidade da água e comprometendo diversos usos, dentre eles o abastecimento público. Apesar dos reservatórios poderem apresentar usos semelhantes a rios, os ambientes lênticos se tornam muito mais sujeitos a impactos oriundos das atividades antrópicas (JAMES, 1996).

As alterações na qualidade da água produzidas pelo reservatório no sistema ecológico regional dependem de suas características morfométricas. Dentre estas, a compartimentarização induz a formação de grande número de subsistemas, os quais geram interferência na qualidade da água no eixo maior do reservatório (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

#### 3.1 Reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães

Segundo Tundisi (2006), a bacia onde está inserido o reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães ocupa uma área de 186.000 Km<sup>2</sup>, correspondendo a 24% da área da bacia do Rio Tocantins (813.674 Km<sup>2</sup>). A área alagada com a consolidação do reservatório em 2002 apresenta abrangência de 770 Km<sup>2</sup> e extensão de 172 km e profundidade média de 3 m (Rodrigues, 2001). O nível máximo normal do reservatório é de 212 m e a capacidade de geração de energia instalada é de 902,5 MW.

Desde sua consolidação em 2002, poucos foram os trabalhos que procuraram caracterizar a qualidade da água no reservatório. Dentre estes pode-se destacar os trabalhos de Naval e Brito, em 2004, que procurou discutir a influência das Estações de Tratamento de Esgotos da cidade de Palmas sobre a qualidade da água do reservatório e a tese desenvolvida por Tundisi (2006) discutindo o uso de indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para a gestão integrada dos recursos hídricos (Figura 1).

A partir de 2002, com o estabelecimento do reservatório do UHE Luiz Eduardo Magalhães, aproximadamente 9 km do ribeirão Taquaruçu Grande, a partir de sua foz no rio Tocantins, se transformaram em um braço do reservatório com aproximadamente 4 Km<sup>2</sup> de



## 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010

área e 23,44 km de perímetro. Com isso, o ribeirão Taquaruçu Grande passou a contribuir diretamente com esse braço do reservatório, assim como os córregos Tiúba e Machado, antigos afluentes do Taquaruçu Grande.



Figura 1 – Localização do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães (RODRIGUES, 2001)

### 3.2 Modelo IPH-TRIM3D-PCLacke (IPH-ECO)

O IPH-TRIM3D-PCLake é um complexo sistema computacional para modelagem de ecossistemas aquáticos desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) (FRAGOSO Jr *et al.*, 2009b). Composto por um módulo hidrodinâmico tridimensional, TRIM3D, adaptado a partir do modelo bidimensional TRIM2D, desenvolvido por Casulli e Cheng (1992), que emprega o esquema semi-implícito para a solução das equações hidrodinâmicas, acoplado a um módulo ecológico baseado no modelo PCLake, um modelo ecológico integrado desenvolvido para estudos em lagos rasos que descreve o comportamento do fitoplanton, macrófitas e as redes tróficas simplificadas dentro de um sistema ciclos de nutrientes fechado, seu módulo abiótico descreve os ciclos globais dos nutrientes nitrogênio, fósforo e sílica considerando os processos internos e desprezando os processos externos e de perda, e a biota é modelada a partir de módulos que podem gerar respostas a partir de grupos funcionais de fitoplanton, peixes ou macrófitas (JANSE, 2005; FRAGOSO Jr *et al.*, 2009a).

Sua compilação em ambiente Visual FORTRAN, uma das linguagens computacionais mais populares, aliada a integração com o aplicativo Intel® Array Viewer, possibilita a geração de saídas gráficas de fácil gerenciamento e interpretação (Fígura 2).



## 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010

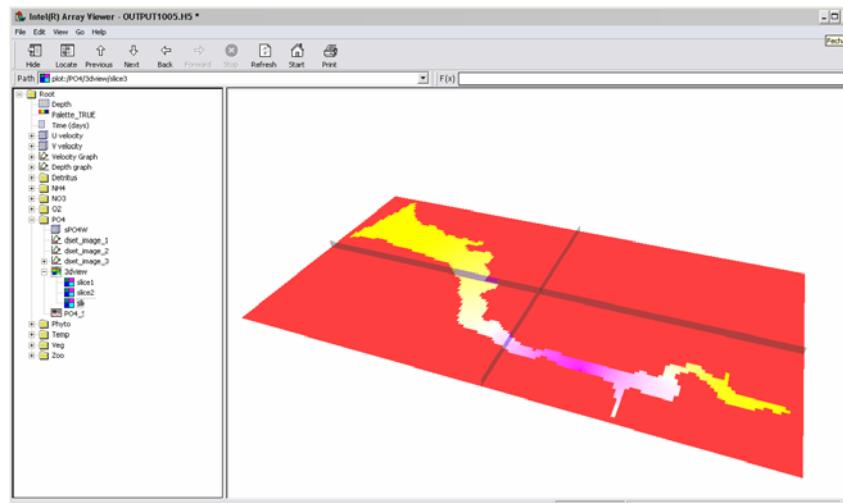


Figura 2 – Saída gráfica do modelo IPH-ECO no Intel® Array Viewer

### 4 Metodologia

A área de estudo foi discretizada em células de 50 X 50 m, o que resultou em uma malha constituída por 155 colunas e 78 linhas, formando 12.090 elementos no total, dos quais 1.598 células (13,21%) são células computacionais ativas que foram utilizadas no processo de cálculo (Figura 3).

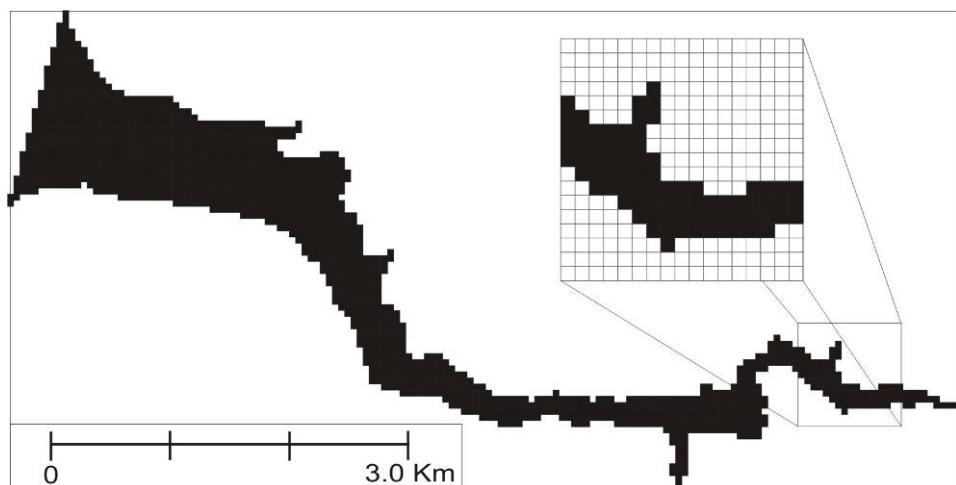


Figura 3 – Malha de discretização do braço do reservatório da HUE Luiz Eduardo Magalhães no trecho final da bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas, Tocantins

Apesar do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães ser considerado um reservatório tropical raso, por apresentar profundidade média de 3m, o braço do reservatório em estudo apresenta profundidade próxima a 19 m, na região de comunicação com o lago, com profundidade média de 10 m. Para fins de análise a área de estudo foi dividida em 4 faixas de profundidade: até 2 m, de 2 a 5 metros, de 5 a 8 metros e mais de 8 metros.

Será realizada a simulação de 15 dias no mês de março, período chuvoso na região, para demonstrar a aplicação do modelo IPH-TRIM3D-PCLake na análise tridimensional de um corpo hídrico.



## 5 Resultados e discussão

A discretização do corpo hídrico em camadas permite realizar inferências sobre a interação destas entre si e com fatores externos. O modelo IPH-TRIM3D-PCLake foi concebido de forma a facilitar tanto a definição do número e intervalo entre as camadas quanto a visualização e interpretação dos resultados. Na figura 4 pode ser observado o resultado da simulação da concentração de Fosfato nas 4 faixas de profundidade estabelecidas.

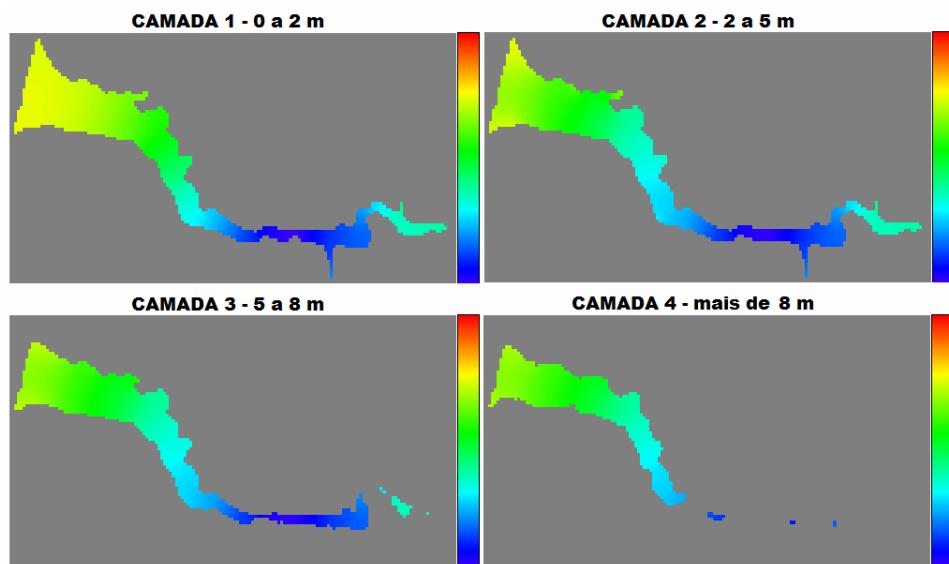


Figura 4 – Simulação da concentração de Fosfato em 4 faixas de profundidade no braço do reservatório da HUE Luiz Eduardo Magalhães no trecho final da bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas, Tocantins

Outra possibilidade que o modelo fornece é a observação simultânea de todas as camadas ao longo de um transecto, seja horizontal ou vertical. Possibilitando a comparação entre as camadas das células. A figura 5 apresenta a simulação da concentração de fosfato na linha 53 da área discretizada no braço do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães.

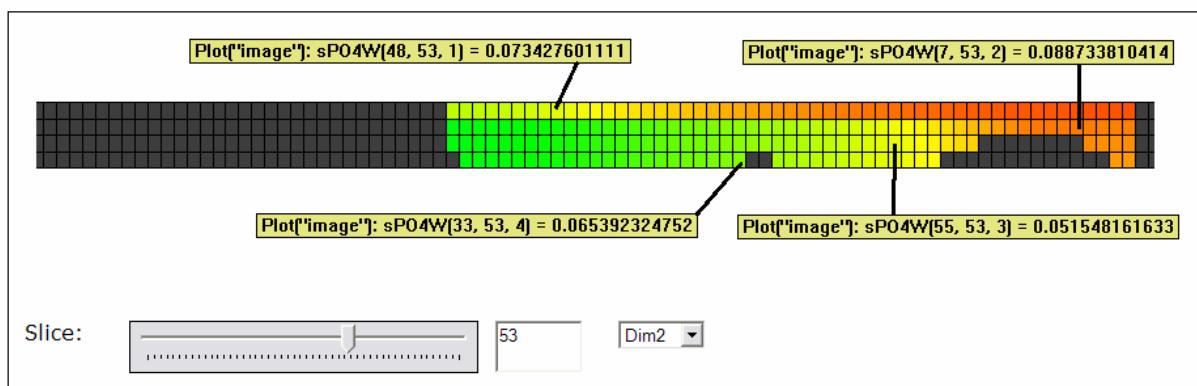


Figura 5 – Simulação da concentração de Fosfato nas 4 faixas de profundidade na linha 53 no braço do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães no trecho final da bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas, Tocantins.



## 6 Resultados e discussão

A constante necessidade de aprimoramento de ferramentas que permitam a interpretação de problemas ecológicos, aliada a uma facilitação operacional são fatores que permitem indicar o modelo IPH-TRIM3D-PCLake como uma ferramenta útil no trabalho em ecossistemas tropicais e subtropicais. Trabalhos já em andamento iniciaram a utilização deste modelo com sistemas de grades não estruturadas, o que possibilita toda uma nova gama de aplicação em sistemas com geometria mais complexa.

## Referências

- Angelini, R. 1999. Ecossistemas e modelagem ecologia. In: Pompêo, M.L.M. (ed.). **Perspectivas da Limnologia no Brasil**. pg. 1-16.
- Bonganha, C. A.; Guiguer Jr., N.; Pereira, S.Y.; Oliveira, L.C.; Ribeiro, M.L. 2007. Conceitos e fundamentos da modelagem matemática para gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos. **Revista Analytica**. Agosto/Setembro. N°30
- Cardoso, C. A.; Dias, C.T.D.; Martins, S.V.; Soares, C.P.B. 2006. Caracterização hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. In: **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.249-256.
- Casulli, V.; Cheng, R.T. 1992. Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow water flow. **Internacional Journal for Numerical Methods in Fluids**, v.15, p. 629-648.
- Cemin, G.; Schneider, V. E.; Finotti, A. R.; Reginaldo, P. A. R. 2007. Análise estrutura da paisagem da sub-bacia do Arroio Boa Vista, RS: uma abordagem em Ecologia de Paisagem. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abr., INPE, p. 3821-3828.
- Christofeletti, A. 2000. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.
- Collishonn, W.; Tucci, C. E. M. 2001. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.6 n.1 Jan/Mar, 95-118.
- Fragoso Jr., C.R., ; Van Nes, E.H.; Janse, Jan H.; Motta Marques, D. 2009a. IPH-TRIM3D-PCLake: A three-dimensional complex dynamic model for subtropical aquatic ecosystems. **Environmental Modelling & Software**. Volume 24, Issue 11, Nov., Pages 1347-1348
- Fragoso Jr., C.R., ; Finkler Ferreira, T.; Motta Marques, D. 2009b. 2009. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos**. São Paulo. Oficina dos textos.
- Gastaldini, M. C. C.; Seffrin, G. F. F.; Paz, M. F. 2002. Modelagem da qualidade da água do rio Ibicuí. In: **VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Vitória: ABES, set.
- Heathcote, I. W. 1998. **Integrated watershed management: principles and practice**. Danvers: Willy.
- James, A. 1996. A modelling water quality in lakes and reservoirs. In: James, A. A. **An introduction to water quality modeling**. New York: Wily.
- Jogensen, S. E. 1994. Models instruments for combination of ecological theory and environmental practice. **Ecological Modelling**, 75/76, p. 5–20.



## 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010

Reckhow, K. H. 1994. Water quality simulation modeling and uncertainty analysis for risk assessment and decision making. **Ecological Modelling**, 72 1-20. Elsevier Science B.V., Amsterdam.

Rivera, E. A. C. 2003. **Modelo Sistêmico para compreender o processo de eutrofização em um reservatório de Água**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos).

Rodrigues, L. L. 2001. **Geoprocessamento como ferramenta na identificação e classificação de fragmentos florestais com potencial para a soltura de fauna arborícola resgatada: estudo de caso da Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães (Lajeado, TO)**. Brasília: Universidade de Brasília, Brasília. Dissertação (Mestrado em Ecologia).

Silva, J. M. A. da. 2002. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)

Tucci, C. E. M. 2005. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH.

Tundisi, J. E. M. 2006. **Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para gestão integrada dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Médio Tocantins (TO)**. São Carlos: UFSCar. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais).

Tundisi, J. G. 1999. **Limnologia no Século XXI: perspectivas e desafios**. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia.

Tundisi, J. G.; Straškraba, M. 1999. Reservoir ecosystem functioning: Theory and application. In: Straškraba, M.; Tundisi, J. G. **Theoretical reservoir ecology and its applications**. São Carlos. p. 565-583.

Tundisi, J.G.; Matsumura -Tundisi, T. 2008. **Limnologia**. São Paulo: Oficina dos textos.

Westervelt, J. 2001. **Simulation modeling for watershed management**. New York: Springer-Verlog.

Zocoler, J. V. S.; Momesso, N. F. G.; Carvalho, W. L. P. de. 2005. Imagens de Satélite Como Complemento ao Estudo Local de Impactos Sócio-Ambientais Ocorridos no Município de Ilha Solteira, Causados Pela Construção das Usinas Hidrelétricas de Ilha Solteira, Jupiá e Três Irmãos. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, Brasil, 16-21 abr., INPE, p. 1389-1396.