

## OBTENÇÃO DO REGIME DE VAZÕES ECOLÓGICAS NO RIO FORMOSO – MINAS GERAIS

Hugo Alexandre Soares Guedes <sup>1\*</sup>; Demetrius David da Silva <sup>2</sup>; Iara de Castro e Oliveira <sup>3</sup>;  
Abrahão Alexandre Alden Elebon <sup>4</sup>; Gabriela Vieira Capobianco <sup>5</sup>; Vítor Souza Martins <sup>5</sup>;  
Bárbara Batista Porto <sup>5</sup> & Luana Lisboa <sup>6</sup>

**Resumo** – Objetivou-se, neste trabalho, modelar hidrodinamicamente o ecossistema aquático visando determinar o regime de vazões ecológicas em um trecho de 1 km de extensão no rio Formoso - MG. A simulação de habitats disponíveis e a sua relação com as vazões no rio Formoso foram realizadas utilizando-se o modelo hidrodinâmico River2D, que consiste em um modelo bidimensional utilizado para estudar os efeitos das alterações de vazões sobre o ecossistema aquático. Foram quantificadas *in situ* diversas variáveis hidráulicas, hidrológicas e biológicas em quatro campanhas de campo. A caracterização do micro-habitat foi feita em três seções transversais equidistantes de 500 metros, nas quais foram realizadas coletas de dados de velocidade, profundidade, vazão, cobertura e substrato, além de inventariar a composição taxonômica da ictiofauna no rio. A biologia das espécies, por meio da modelagem de habitat, identificou as espécies *Hypostomus auroguttatus* (cascudo), *Oligosarcus hepsetus* (lambari-cachorro) e *Leporinus mormyrops* (timburé) como bioindicadoras da qualidade do ecossistema aquático. O modelo hidrodinâmico River2D se mostrou apto a ser utilizado nas simulações hidráulicas e de habitat no trecho estudado no rio Formoso. O regime de vazões ecológicas variou entre 2,70 e 4,99 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, referentes aos meses de agosto e janeiro, respectivamente.

**Palavras-Chave** – Ecohidrologia; Modelagem hidrodinâmica; Recursos Hídricos; Ecossistema.

## OBTAINING THE ENVIRONMENTAL FLOW REGIME IN FORMOSO RIVER – MINAS GERAIS

**Abstract** – This study aimed at modelling hydrodynamically the aquatic ecosystem with the purpose of determining the environmental flow regime in one section of 1 km far in Formoso River - MG. Simulation of available habitats and their relation to flows in Formoso River, as well as the determination of the ecological hydrograph, were done by using the hydrodynamic model River2D, which consists in a bidimensional model used to study the effects of flow changes on aquatic ecosystem. Several hydraulic, hydrologic and biologic variables were quantified *in situ* in four field campaigns. The characterization of the microhabitat was done in three equidistant cross sections of 500 meters, in which were collected data about speed, depth, flow, cover and substrate, besides cataloguing the taxonomic composition of the ichthyofauna in the river. The biology of the species, by means of habitat modelling, permitted being the species *Hypostomus auroguttatus*, *Oligosarcus hepsetus* and *Leporinus mormyrops* bio-index of quality of the aquatic ecosystem. The hydrodynamic model River2D proved to be apt to be used in hydraulic and habitat simulations in section studied in

<sup>1</sup> Professor Adjunto I, CEng/UFPEl, Departamento de Engenharia Civil, CEP 96010-280, Pelotas/RS. E-mail: [hugo.hydro@gmail.com](mailto:hugo.hydro@gmail.com).

<sup>2</sup> Professor Associado IV, DEA/UFV, CEP 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [demetrius@ufv.br](mailto:demetrius@ufv.br).

<sup>3</sup> Mestranda em Engenharia Agrícola, Recursos Hídricos e Ambientais, DEA/UFV, CEP 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [iaracasoli@yahoo.com.br](mailto:iaracasoli@yahoo.com.br).

<sup>4</sup> Professor D401, IFES/ES, CEP 29700-060, Colatina/ES. E-mail: [abrahaoelesbon@gmail.com](mailto:abrahaoelesbon@gmail.com).

<sup>5</sup> Bolsista de Iniciação Científica CNPq, DEA/UFV, CEP 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [gvcapobianco@gmail.com](mailto:gvcapobianco@gmail.com); [vitormartins9@yahoo.com.br](mailto:vitormartins9@yahoo.com.br); [barbara.porto@ufv.br](mailto:barbara.porto@ufv.br).

<sup>6</sup> Doutoranda em Engenharia Agrícola, Recursos Hídricos e Ambientais, DEA/UFV, CEP 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [luanaaaufv@yahoo.com.br](mailto:luanaaaufv@yahoo.com.br).

\* Autor Correspondente responsável pela submissão

Formoso River. Environmental flow regime varied from 2,70 to 4,99 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, referring to August and January, respectively.

**Keywords** – Ecohydrology; hydrodynamic modeling; water resources; ecosystem.

## INTRODUÇÃO

Os rios têm um importante papel na manutenção dos ecossistemas ribeirinhos e das comunidades humanas. Globalmente, no entanto, esses corpos hídricos foram severamente impactados por uma variedade de atividades humanas que resultou na perda de muitas das funções do seu ecossistema original.

No Brasil, a situação da poluição hídrica tem se agravado devido ao aumento das cargas poluidoras urbanas, uso inadequado do solo e de insumos agrícolas, erosão, desmatamento e mineração. Estes fatores vêm degradando os recursos hídricos e os ecossistemas aquáticos, diminuindo a disponibilidade de água para os múltiplos usos e conduzindo os habitats naturais ao estresse.

Diante deste quadro, percebeu-se a inadequação das soluções existentes nas práticas de gestão das águas para alcançar a sustentabilidade dos recursos hídricos. Assim, a Ecohidrologia surgiu como uma ferramenta sustentável dos recursos hídricos, a qual trata do estudo das inter-relações funcionais entre a hidrologia e o ecossistema aquático (Zalewski, 2002).

Segundo a UNEP-IETC (2004), a abordagem ecohidrológica baseia-se no pressuposto de que a sustentabilidade dos recursos hídricos pode ser alcançada por meio da restauração e manutenção do ciclo da água, dos ciclos de nutrientes e dos fluxos de energia, utilizando os ecossistemas aquáticos como ferramenta de gestão.

No Brasil, os fatores bióticos são pouco considerados nos processos hidrológicos, sendo a preocupação focada no manejo inadequado das quantidades de água e na redução da biodiversidade e extinção das espécies, limitando-se à noção de que seriam necessárias vazões remanescentes, ou “vazões ecológicas”, que deveriam ser mantidas no rio durante as épocas de estiagem (Collischonn *et al.*, 2005).

Entretanto, são cometidos equívocos ao abordar esses dois termos, sendo necessário melhor conceituá-los. A vazão remanescente é a quantidade de água que permanece no leito dos rios após as retiradas para atender aos usos múltiplos, como abastecimento público, industrial, irrigação, dessedentação de animais, geração de energia elétrica, entre outros.

Já a vazão ecológica é a quantidade de água a ser mantida no rio de forma a assegurar a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, mantendo o equilíbrio entre as demandas antrópicas e a perda de diversidade genética das espécies envolvidas. De acordo com Collischonn *et al.* (2005), a vazão ecológica deve ser analisada conforme a sua variabilidade sazonal, sendo necessário determinar o regime mensal de vazões ecológicas a ser mantido no curso d'água de forma a assegurar a biodiversidade aquática.

Devido à complexidade em aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo dos anos, o uso de modelos matemáticos para sistemas de suporte à decisão tem sido uma importante ferramenta para testar cenários alternativos e implementar metodologias ecohidrológicas visando à gestão sustentável do uso da água e dos ecossistemas.

Diante do exposto, este trabalho objetivou-se modelar hidrodinamicamente o ecossistema aquático visando determinar o regime de vazões ecológicas no rio Formoso – MG.

## MODELO ECOHIDROLÓGICO RIVER2D

O modelo hidrodinâmico River2D, desenvolvido na Universidade de Alberta – Canadá, é utilizado para estudar os efeitos das alterações de vazões sobre o ecossistema aquático. Consiste em um modelo hidrodinâmico bidimensional hidráulico e de habitat, desenvolvido especificamente para uso em rios e córregos naturais. É um modelo fundamentado no método de Elementos Finitos, baseado na formulação conservadora de *Petrov-Galerkin*, sendo capaz de apresentar soluções em diferentes regimes de escoamento (Steffler e Blackburn, 2002).

### a) Componente hidrodinâmico

O componente hidrodinâmico do modelo River2D é baseado nas Equações de Saint Venant, expressas de forma conservativa: equação de conservação de massa (Equação 1) e equações de conservação de momento nas direções x (Equação 2) e y (Equação 3). As variáveis dependentes são solucionadas em função das intensidades de descarga e profundidade nas direções x e y (Steffler e Blackburn, 2002).

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_x) + \frac{g}{2} \frac{\partial}{\partial x} H^2 = gH(S_{0x} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xx}) \right) + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{xy}) \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_y) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_y) + \frac{g}{2} \frac{\partial}{\partial y} H^2 = gH(S_{0y} - S_{fy}) + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{yx}) \right) + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{yy}) \right) \quad (3)$$

em que, H é a profundidade do escoamento [L], U e V são velocidades médias nas direções x e y, respectivamente [L T<sup>-1</sup>]; q<sub>x</sub> e q<sub>y</sub> são as intensidades de descarga nas direções x e y, respectivamente, sendo relacionadas com as componentes de velocidade, tais como q<sub>x</sub> = HU e q<sub>y</sub> = HV [L<sup>2</sup> T<sup>-1</sup>]; g é a aceleração da gravidade [L T<sup>-2</sup>] e ρ é a massa específica da água [M L<sup>-3</sup>]; S<sub>0x</sub> e S<sub>0y</sub> são as declividades do fundo nas direções x e y, respectivamente [L L<sup>-1</sup>]; S<sub>fx</sub> e S<sub>fy</sub> são as declividades da linha de energia correspondentes [L L<sup>-1</sup>]; τ<sub>xx</sub>, τ<sub>xy</sub>, τ<sub>yx</sub> e τ<sub>yy</sub> são as componentes do tensor horizontal turbulento [L<sup>2</sup> T<sup>-1</sup>].

Estas equações são utilizadas para simular as características hidráulicas do curso d'água. Após a obtenção da solução hidráulica, o modelo interpreta as informações de habitat fornecidas pelo analista, juntamente com os dados de vazão simulada, para gerar a Superfície Ponderada Utilizável (SPU) de cada espécie de peixe a ser analisada no estudo.

### b) Componente de habitat

O componente de habitat do modelo River2D é baseado na Superfície Ponderada Utilizável - SPU (BOVEE, 1982), conceito usado no método IFIM (método utilizado para estimar a quantidade disponível de habitat para diferentes vazões). A SPU é a quantidade de habitat físico disponível, expressa em m<sup>2</sup> por quilômetro linear do curso d'água, para as espécies de peixe em um dado escoamento (Equação 4).

$$SPU = \sum_{i=1}^n [f(V_i, P_i, S_i) A_i] \quad (4)$$

em que,  $A_i$  é a área do trecho do curso d'água em cada célula  $i$  [ $L^2$ ];  $V_i$  é a velocidade em cada célula [ $LT^{-1}$ ];  $P_i$  é a profundidade em cada célula [ $L$ ];  $S_i$  é a rugosidade efetiva ( $k_s$ ) do substrato em cada célula [ $L$ ]; e  $f(V_i, P_i, S_i)$  é o índice de aptidão combinado para a área  $A_i$  [ $L$ ].

A SPU é calculada por meio do Índice de Preferência de Habitat Composto (variando de 0,0 a 1,0), avaliado em cada ponto do domínio e da superfície utilizável associada a esse ponto. No River2D os pontos são os nós computacionais da malha discretizada e as superfícies utilizáveis são os Polígonos de Thiessen (Steffler e Blackburn, 2002).

A SPU em cada nó é calculada por meio da combinação de diferentes índices de preferência para profundidade, velocidade e índice de canal (informações de substrato e cobertura). As opções disponíveis no modelo para o cálculo da SPU são o produto triplo, média geométrica ou valor mínimo. O índice de preferência para cada parâmetro é avaliado por interpolação linear a partir das curvas de preferência de uma determinada espécie fornecida separadamente (Steffler e Blackburn, 2002).

As velocidades e as profundidades são obtidas diretamente a partir do componente hidrodinâmico do modelo. Os valores do índice de canal dependem do diâmetro do substrato (diferentes tipos de sedimentos no fundo do rio) e da cobertura (diferentes tipos de habitat) para as espécies de peixes e suas fases de vida. Estes valores são interpolados para cada nó computacional em um arquivo separado de índice de canal, podendo a interpolação ser linear (contínua) ou pelo vizinho mais próximo (discreta) (Steffler e Blackburn, 2002).

### c) Dados de entrada

As variáveis de entrada no modelo são divididas em dois grandes grupos: dados abióticos e bióticos. Os dados abióticos são compostos por variáveis relacionadas com a hidrologia local, como vazão, velocidade, substrato e profundidade, além de serem quantificadas, também, as variações do relevo da área de estudo.

A variável referente aos dados bióticos são as espécies de peixes presentes no local, determinadas em função da sua quantidade e diversidade. Somada às informações de velocidade, profundidade e substrato irão compor o Índice de Aptidão de Habitat (IAH) ou curvas de preferência das espécies-alvo. Os valores de IAH para cada variável são combinados formando um IAH global.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Região de estudo**

O estudo foi realizado no rio Formoso, o qual possui 76,7 km de extensão, afluente da margem direita do rio Pomba, localizado na região oeste da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, entre os paralelos 21°18' e 21°27' Sul e os meridianos 43°10' e 43°38' Oeste. A bacia do rio Formoso abrange parte dos municípios mineiros de Oliveira Fortes, Aracitaba, Tabuleiro e Santos Dumont, ocupando uma área aproximada de 398 km<sup>2</sup>.

A região específica de estudo, com área de contribuição igual a 180,7 km<sup>2</sup>, localiza-se nas porções íngremes do relevo da bacia, próximo ao município de Conceição do Formoso, distrito do

município de Santos Dumont, e possui áreas mais preservadas com a presença de mata ciliar e condições naturais, ou seja, sem a presença de urbanização.

### Atividades de monitoramento

Para calibrar e gerar os resultados por meio do modelo River2D foi necessário quantificar *in situ* diversas variáveis hidráulicas, hidrológicas e biológicas.

Desse modo, foram realizadas quatro campanhas de campo no rio Formoso, duas no período seco (Junho de 2011 e Julho de 2012) e duas no período chuvoso (Março de 2011 e Fevereiro de 2012), objetivando determinar o regime de vazões ecológicas. As vazões medidas no início do trecho monitorado no rio Formoso foram: 6,41 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (03/2011), 3,62 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (06/2011), 6,15 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (02/2012) e 3,29 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (07/2012).

As campanhas de campo foram feitas em um trecho de 1 km de extensão do rio Formoso, onde foram demarcadas três seções transversais equidistantes de 500 metros, nas quais foram realizadas coletas de informações de velocidade, profundidade, vazão, cobertura (diferentes tipos de habitat) e substrato (diferentes tipos de sedimento no fundo do rio), além de inventariar a composição taxonômica da ictiofauna no rio.

A velocidade do escoamento foi monitorada durante as duas primeiras campanhas de campo utilizando-se um micromolinete hidráulico M1 da SEBA Hydrometrie® nas seções transversais demarcadas. Na terceira campanha de campo a velocidade foi monitorada por meio de um molinete fluviométrico Newton da Hidromec®. Na quarta campanha utilizou-se o equipamento ADCP – *Acoustic Doppler Current Profiler*, modelo M9 RiverSurveyor da empresa Sontek®. A profundidade do escoamento foi medida por batimetria das seções transversais.

No mês de junho de 2012, característico do período seco na bacia, foi realizado o levantamento topobatimétrico utilizando-se uma Estação Total Topcon GTS 212, sendo demarcado todo o perfil batimétrico em seções transversais de 10x10 metros do trecho em estudo. Demarcaram-se, também, alguns pontos localizados nas margens do curso d'água, com intuito de realizar simulações considerando a planície de inundação no rio Formoso. Foram rastreados 1578 pontos por meio do GPS geodésico Promark II, permitindo o georreferenciamento do trabalho.

O índice de canal (IC) usado na determinação das curvas Índice de Aptidão de Habitat (IAH) é formado pela combinação de códigos pré-estabelecidos entre o substrato e a cobertura, sendo o primeiro número referente ao substrato e o segundo referente à cobertura.

A cobertura do canal foi caracterizada, segundo Pelissari e Sarmiento (2003), como: Ausente (código 0); Submersa (código 1); Aérea (código 2); e Submersa e Aérea (código 3). Valores de IAH próximos à unidade indicam grande aptidão da espécie para a variável analisada e valores de IAH próximos a zero indicam baixa aptidão.

A coleta de substrato (sedimento do fundo do rio) foi feita em cada seção transversal demarcada nos trechos em estudo por meio de uma draga Petersen de penetração vertical e capacidade de coleta de 3,20 litros. Os materiais coletados foram encaminhados para o Laboratório de Propriedades Físicas do Solo, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), para análise da granulometria dos agregados. Os substratos foram assim codificados: Argila (código 1); Silte (código 2); Areia (código 3); Cascalho (código 4); Seixo (código 5); Pedra (código 6); Matacão (código 7); e Leito Rochoso (código 8).

As curvas IAH foram elaboradas associando as informações de velocidade, profundidade e índice de canal (substrato e cobertura) com a diversidade de peixes coletados no trecho monitorado

no rio Formoso. Posteriormente, essas curvas foram inseridas no módulo de habitat do modelo River2D.

As amostragens de peixes foram feitas nas mesmas seções onde foram determinados o substrato, a velocidade e a profundidade do escoamento, totalizando 24 amostras (seis amostras em cada campanha de campo). Em cada seção de monitoramento foram posicionadas redes de espera no período da tarde e retiradas na manhã seguinte, de modo a ficarem por um período médio de 12 horas, conforme metodologia descrita por Ribeiro e Zuanon (2006).

Foram dispostas em cada seção de monitoramento sete redes de espera com malhas de 15, 20, 25, 30, 35, 40 e 50 mm, equidistantes de 10 metros a jusante da seção transversal monitorada, de forma a não haver superposição de redes.

Os peixes coletados foram separados por malha de rede e acondicionados em sacos plásticos furados e rotulados, sendo colocados em tambores com solução de formol a 10%. No final dos experimentos de campo, os peixes foram conduzidos ao Laboratório de Sistemática Molecular Beagle, do Departamento de Biologia Animal - UFV, para dar sequência ao reconhecimento das espécies e da sua fase de vida. A classificação dos táxons foi feita com base em Reis *et al.* (2003).

Na sequência, elaboraram-se os histogramas de frequência de uso para cada espécie coletada associada às diversas variáveis de micro-habitat (profundidade, velocidade e índice de canal), indicadoras do habitat. As informações de micro-habitat foram divididas em classes de frequência, sendo os valores de preferência divididos pelo maior valor de preferência, de modo que o índice de aptidão de habitat (IAH) final variasse entre zero (habitat não adaptado) até um (habitat ótimo).

Definiu-se, então, quais espécies seriam utilizadas na determinação da vazão ecológica (espécies bioindicadoras), sendo que, para tal, utilizou-se uma análise multicritério, com a presença de uma equipe multidisciplinar, de modo a procurar uma solução de compromisso entre várias fases do ciclo de vida (jovem e adulto) e entre várias espécies simultaneamente.

A análise multicritério com objetivo de determinar as espécies bioindicadoras no trecho analisado foi realizada com base no conhecimento da ocorrência de alguma delas em condições já alteradas por barragens.

### **Regime de vazões ecológicas**

A determinação da vazão ecológica mensal foi feita por meio da relação entre as vazões simuladas e a SPU. A técnica utilizada foi baseada em uma matriz de otimização, onde as vazões simuladas foram relacionadas com a SPU de cada espécie estudada.

A matriz de otimização de SPU envolve a definição de uma vazão para cada mês do ano que minimize a redução da área de habitat disponível. Ou seja, quanto maior a SPU maior é a aptidão da espécie para uma determinada vazão simulada. A aplicação desta técnica consiste na construção de uma matriz para cada mês, na qual as colunas se referem às vazões e as linhas às espécies consideradas no estudo (Pelissari *et al.*, 2001).

As vazões simuladas foram selecionadas considerando-se várias porcentagens da vazão média mensal, 10 a 100%, de modo que a vazão máxima ecológica a ser alcançada seria igual à vazão natural do curso d'água. A partir dos IAHs elaborados para cada uma das espécies determinou-se a SPU para as vazões simuladas, cujos valores foram posicionados na matriz.

Analisando-se cada coluna (correspondente a um valor de vazão) selecionou-se o valor mínimo da SPU, registrando-os na última linha da matriz. Esse procedimento teve como objetivo

garantir a permanência da espécie mais vulnerável no trecho de estudo. O maior valor destas linhas, referentes aos valores mínimos, correspondeu à maximização da área de habitat disponível (Gomes, 2011). Esse processo foi repetido em todos os meses do ano.

No presente estudo adotou-se como parâmetro de determinação da vazão ecológica mensal o valor mínimo da SPU na matriz de otimização por representar a situação mais crítica para determinada espécie em análise, de forma que as demais espécies estariam sendo conservadas no ecossistema aquático (Gomes, 2011).

## RESULTADOS

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentadas a profundidade e a velocidade de escoamento ao longo do trecho estudado no rio Formoso, respectivamente. Observa-se que a profundidade e a velocidade máxima encontrada foram iguais a 1,45 m e 3,09 m s<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Profundidade (m)**

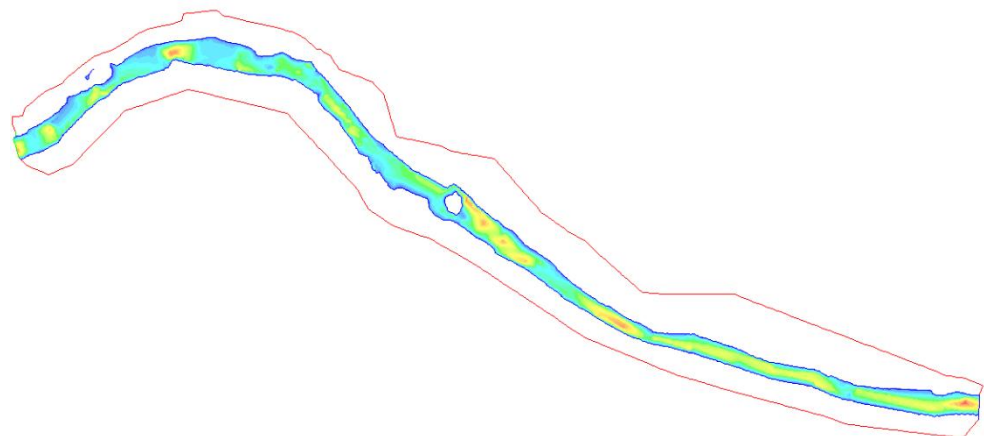
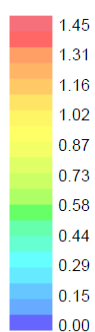


Figura 1 – Representação da profundidade de escoamento ao longo do trecho monitorado no rio Formoso com a vazão igual a 6,41 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

**Velocidade (m s<sup>-1</sup>)**

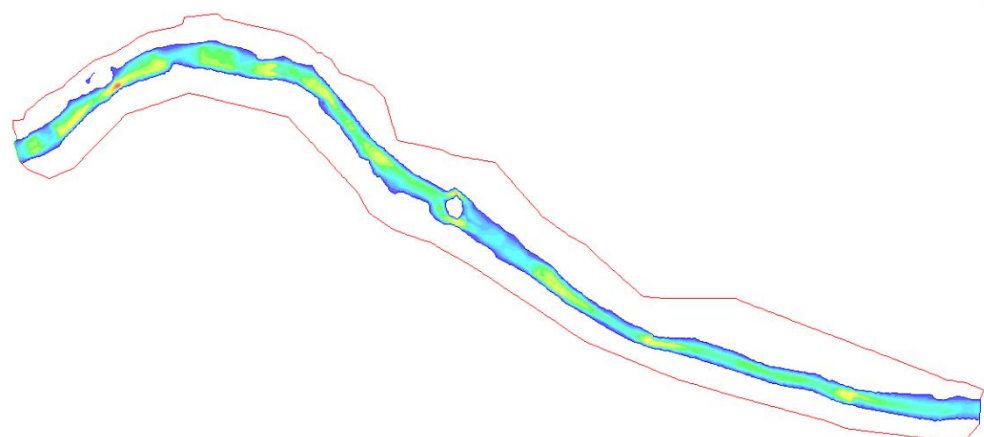
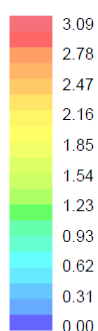


Figura 2 – Representação da velocidade de escoamento ao longo do trecho monitorado no rio Formoso com a vazão igual a 6,41 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

A análise multicritério realizada pela equipe multidisciplinar de profissionais permitiu definir que as espécies *Hypostomus auroguttatus* (cascudo), *Oligosarcus hepsetus* (lambari-cachorro) e

*Leporinus mormyrops* (timburé) seriam as espécies bioindicadoras do ecossistema aquático no rio Formoso, uma vez que, com base no número de indivíduos encontrados nas campanhas de campo, as populações possivelmente flutuarão conforme os valores de vazão, e que poderiam aparecer ou desaparecer se as vazões fossem incompatíveis com a sua biologia. Conseqüentemente, essas espécies foram utilizadas para a determinação da vazão ecológica no rio Formoso.

Nas Figuras 3, 4 e 5 estão apresentadas as curvas de Índice de Aptidão de Habitat (IAH) para cada uma das espécies bioindicadoras selecionadas no rio Formoso em função da profundidade, da velocidade e do índice de canal (IC).

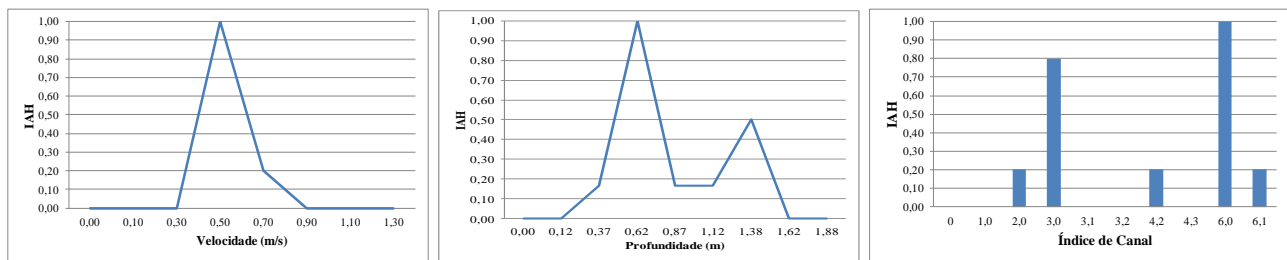


Figura 3 – Curvas de IAH para a espécie *Hypostomus auroguttatus* (cascudo).

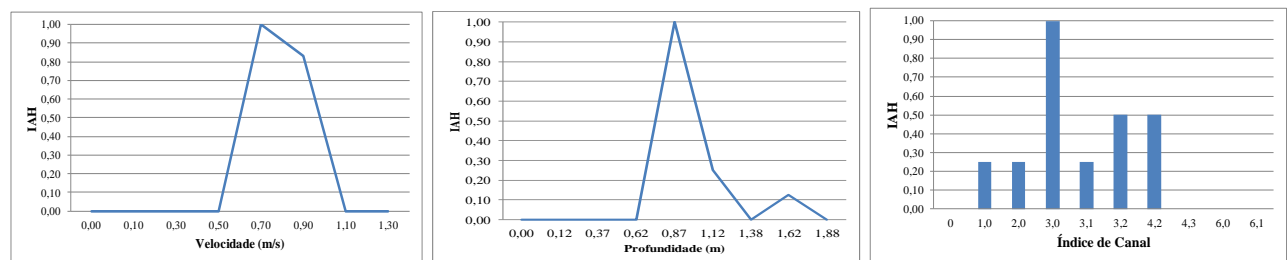


Figura 4 – Curvas de IAH para a espécie *Oligosarcus hepsetus* (lambari-cachorro).

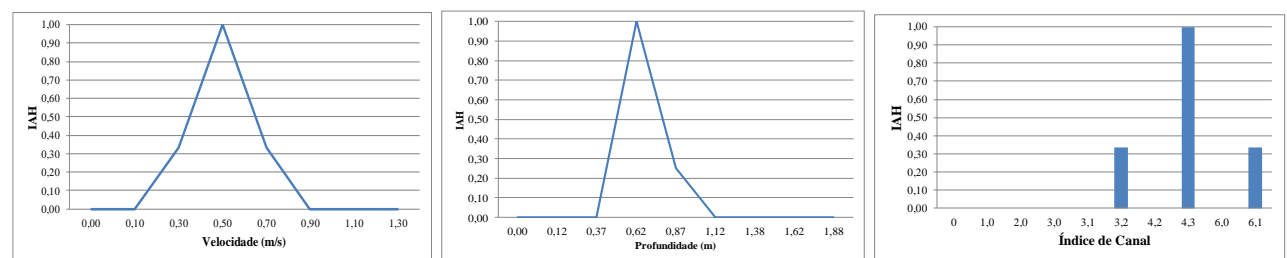


Figura 5 – Curvas de IAH para a espécie *Leporinus mormyrops* (timburé).

Na Tabela 1 está apresentada a matriz de otimização para o mês de janeiro da Superfície Ponderada Utilizável (SPU) para o trecho monitorado. Cabe ressaltar que a metodologia de obtenção de SPU, em função da vazão média, foi feita para todos os meses do ano. A vazão ecológica mensal foi calculada em função da porcentagem da vazão média mensal.

Tabela 1 – Matriz de otimização para determinação da vazão ecológica no mês de janeiro no rio Formoso.

Espécies bioindicadoras	JANEIRO ( $Q_{\text{média}} = 9,98 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )									
	% em relação à vazão média mensal x SPU ( $\text{m}^2 \text{ km}^{-1}$ )									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>Hypostomus auroguttatus</i>	37,02	96,46	127,76	120,96	99,17	70,53	59,05	59,20	55,80	53,85
<i>Leporinus mormyrops</i>	74,21	256,80	368,43	391,76	370,96	312,58	275,77	262,92	239,77	212,11
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	0,03	0,50	7,00	68,87	150,20	192,56	152,54	150,94	110,65	82,38
Mínimo da coluna	0,03	0,50	7,00	68,87	<b>99,17</b>	70,53	59,05	59,20	55,80	53,85
Máximo das mínimas	<b>SPU: 99,17 <math>\text{m}^2 \text{ km}^{-1}</math></b>					<b>Vazão ecológica: 4,99 <math>\text{m}^3 \text{ s}^{-1}</math></b>				



Na Figura 6 está apresentado o regime de vazões ecológicas determinado no rio Formoso. Observa-se que a vazão ecológica variou entre  $2,70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , referente ao mês de agosto (período seco), e  $4,99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , referente ao mês de janeiro (período chuvoso).

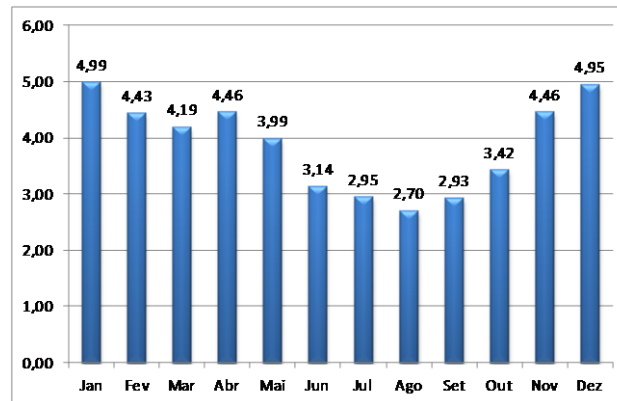


Figura 6 – Distribuição temporal do regime de vazões ecológicas ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) no rio Formoso.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A metodologia aplicada no estudo do regime de vazões ecológicas no rio Formoso foi eficaz e deve ser reaplicada em outros cursos d'água de modo a permitir a gestão sustentável dos recursos hídricos.
- O modelo hidrodinâmico River2D se mostrou apto a ser utilizado nas simulações hidráulicas e de habitat no trecho estudado no rio Formoso.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), que viabilizaram a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- COLLISCHONN, W., ANGRA, S. G.; FREITAS, G. K.; PRIANTE, G. R.; TASSI, R.; SOUZA, C. F. (2005). Em busca do hidrograma ecológico. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. *Anais...* João Pessoa – PB.
- PELLISSARI, V. B.; SARMENTO, R. (2003). Vazão ecológica para o rio Santa Maria da Vitória, ES. In: 5º Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente. *Anais...* ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- PELLISSARI, V. B.; SARMENTO, R.; TEIXEIRA, R. L. (2001). Vazão ecológica a ser considerada no licenciamento ambiental dos sistemas de abastecimento de água. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Anais...* João Pessoa, PB.
- REIS, R. E.; KULLANDER, S. O.; FERRARIS JR., C. F. (Org.). *Check list of the freshwater fishes of south and central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre. 2003. 742 p.
- STEFFLER, P.; BLACKBURN, J. (2002). *Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat*. University of Alberta, Canadá. 120 p.

UNEP – The United Nations Environment Programme, IETC – International Environmental Technology Centre (2004). *Integrated Watershed Management (Ecohydrology & Phytotechnology) Manual*.  
ZALEWSKI, M. (2002). *Guidelines for the integrated management of the watershed. Phytotechnology and ecohydrology*. UNEP, Division of Technology, Industry and Economics. Freshwater Management Series n.º.5., 188p.