



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
Reg.: 120.2.095 – 2011 – UFVJM
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 08 – Ano IV – 10/2015
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Modelagem dos efeitos da variação do nível hidrométrico na interação de peixes

Prof^ª. Dr^ª. Jaqueline Maria da Silva
Doutora em Modelagem Computacional pelo Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC
Docente do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - ICET
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Minas Gerais - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4343491423219191>
E-mail: jaqueline.silva@ufvjm.edu.com

José de Kalais Rebouças Santos
Discente do Bacharelado em Ciência e Tecnologia - UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/6568210019698292>
E-mail: kalaissantos@hotmail.com

Ana Paula de Oliveira
Discente do Bacharelado em Ciência e Tecnologia - UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/9766875757728130>
E-mail: paula.mmm@hotmail.com

Thyago Souza do Nascimento
Discente do Bacharelado em Ciência e Tecnologia - UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/6326853539103233>
E-mail: thyago_msc@hotmail.com

Resumo: No presente artigo propõe-se o uso e o estudo de um modelo matemático de competição do tipo Lotka-Volterra para descrever a interação entre duas espécies de peixes isoladas que serão analisadas sob regime predatório. Alterações em modelos de predação foram e são continuamente propostas e melhoradas. O

resultado desta evolução pode ser encontrado na literatura. Visando tornar este tipo de estudo mais representativo biologicamente, o modelo proposto considera a influência da variação do nível hidrométrico (que aumenta ou diminui a probabilidade de encontro do predador com a presa) no convívio das espécies de peixes mais densas presentes no reservatório da Usina Hidrelétrica de Santa Clara (Nanuque/MG). O estudo analítico do modelo visa a analisar o comportamento interacional das espécies ao longo de um intervalo de tempo, quando o mesmo é submetido a perturbações nas condições iniciais, a fim de avaliar possíveis conseqüências ambientais, como por exemplo, a extinção. Os resultados mostram grande instabilidade do sistema com o fator considerado, que se torna propício à presa quando ocorre um aumento do volume de água e ora propício ao predador quando ocorre a diminuição, reforçando a fundamental importância do uso sustentável dos recursos naturais e do desenvolvimento de políticas de prevenção ambiental.

Palavras-chave: dinâmica de populações, peixes, modelagem matemática, modelo Lotka-Volterra.

1. INTRODUÇÃO

As populações, de um modo geral, estão continuamente sofrendo alterações em suas densidades por diversos fatores naturais, abióticos e externos, devido a ação do homem. No município de Nanuque, localizado na região do Vale do Mucuri no Estado de Minas Gerais, foi construída a Usina Hidrelétrica de Santa Clara (U.H.S.C.) e, apesar de utilizarem de um recurso natural não poluente, os diversos impactos ambientais provocados pela construção de uma usina hidrelétrica são quase sempre irreversíveis.

A desfiguração do ambiente natural após a barragem apresenta características muito diferentes do antigo regime hidrológico do rio Mucuri na região, prejudicando em diversos aspectos a biodiversidade lacustre da bacia, principalmente os impactos causados sobre a ictiofauna local. Segundo estudo de variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da usina, constatou-se uma abundante densidade de peixes, identificando 67.838 exemplares de 31 espécies (Pompeu & Martinez, 2006). No Brasil, a maioria dos peixes de importância comercial e de subsistência são popularmente conhecidos como de piracema, isto é, peixes que migram rio acima para efetuar sua reprodução. Além dos obstáculos naturais, estes peixes precisam contornar as ameaças, muitas vezes

intransponíveis criadas pelo homem, tais como a poluição, a pesca predatória e as barragens (Begon et. al., 2007).

O Estado de Minas Gerais concentra 12% das microrregiões mais pobres do Brasil. A maioria dos municípios mais pobres do estado estão localizados nas áreas do norte e nordeste pertencentes as mesorregiões do Vale do Jequitinhonha, Vale do Mucuri e parte do noroeste do Estado (Racchumi, 2006). Localizada no Nordeste do estado, a mesoregião do Vale do Mucuri apresenta baixa expectativa de vida, escolaridade e renda per capita. É uma região onde a população é altamente dependente de atividades primárias para a subsistência familiar, sendo a pesca e a agropecuária, as principais fontes alimentícia e econômica (Nanuque-MG, 2014).

Considerando os fatos mencionados, bem como sua importância para as populações que sofrem suas consequências, é fundamental realizar estudos científicos sobre a interação entre espécies de peixes considerando a influência externa do homem.

A Modelagem Matemática, através de simulação computacional de modelos, é uma ferramenta científica que possibilita analisar dinâmicas de crescimento e interação entre espécies, uma vez que pode apresentar perspectivas futuras para o comportamento de um determinado sistema ambiental.

O trabalho proposto visa analisar comportamento de um modelo Lotka-Volterra modificado, no intuito de avaliar matematicamente a vulnerabilidade causada pela influência da variação do volume hidrométrico no regime predatório de convivência entre o lambari x curimatá e o lambari x piau-branco, que são as espécies de peixes mais densas presentes no lago da U.H.S.C.

2. METODOLOGIA

2.1. Espécies de Peixes Analisadas

A U.H.S.C. foi construída sobre o rio Mucuri, nas proximidades do município de Nanuque. Sua barragem de 60 m de altura e 240 m de comprimento, resultou na formação de um reservatório com cerca de 18 km de extensão, no qual ocupa uma área de aproximadamente 7,5 km².

Segundo estudo de variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina, realizado por (Pompeu & Martinez, 2006), através da realização

de seis ciclos diários e noturnos de transposição (atração, captura, transporte e liberação), constatou-se durante quatro meses de pesquisa, uma abundante densidade de peixes por espelho d'água, identificando 67.838 exemplares de 31 espécies. A Tabela 1 apresenta as espécies de maior densidade identificadas no estudo.

Dentre elas destacam-se o lambari, espécie do gênero *Astyanax sp.* Este gênero é o mais diversificado e comum das bacias hidrográficas brasileiras, totalizando 21% de toda a ictiofauna neotropical, indicando a grande importância ecológica do mesmo (Silva et al., 2007). De pequeno porte, tem o seu tamanho variando entre 10 e 15 cm. É um gênero onívoro, se alimenta de flores, frutos, pequenos crustáceos, peixes, insetos e detritos (Cassemiro et al, 2002). Possui característica de predador por apresentar cardápio variado que inclui a desova de peixes maiores (Houde & Zastrow, 2014).

Por sua vez, o gênero *Leporinus sp* pertence à família *Anostomidae* que inclui 12 gêneros e 138 espécies catalogadas. Quanto aos hábitos alimentares, este gênero apresenta variações, porém, a grande maioria são frugívoros e insetívoros, a exemplo do piau-branco e do piau-capim. Já o curimatá, do gênero *Prochilodus sp*, é uma espécie detritívora, alimentando-se de micro-organismos e sedimentos orgânicos. De características semelhantes, tanto o piau-branco e o piau-capim quanto o curimatá, realizam longas migrações devido a piracema e compreendem um dos grupos mais importantes em espécies de valor econômico em termos de pesca e piscicultura (Avelino, 2007). De médio porte, estas espécies, possuem, geralmente cerca de 30 a 40 cm quando adultos, o que as torna comercialmente viável para as populações de baixa renda (Houde & Zastrow, 2014).

Tabela 1: Principais espécies de peixes presentes na Usina Hidrelétrica de Santa Clara.

Espécie	Nome Científico	Quantidade	Densidade
Lambari	<i>Astyanax intermedius</i>	30.469	44,91
Curimatá	<i>Prochilodus vimboides</i>	23.012	33,92
Piau-branco	<i>Leporinus conirostris</i>	5.825	08,29
Piau-capim	<i>Leporinus steindachneri</i>	4.943	07,59
Outros	---	3.587	05,29

Fonte: (Pompeu & Martinez, 2006).

2.2. Modelo com a influência da variação do nível hidrométrico

Embora seja historicamente criticado por ser um sistema conservativo, o modelo Lotka-Volterra representou um marco para os estudos de populações em Ecologia Teórica, uma vez que tenta abordar comunidades e não apenas uma população ou uma espécie (Silva, 2011).

É sabido que o modelo tradicional de Lotka-Volterra não considera a influência da variação hidrométrica na interação entre peixes do tipo presa e predador. O aumento do volume de água dificulta a captura de peixes do tipo presa por peixes do tipo predadores uma vez que o meio fica mais diluído. Analogamente, quando ocorre a diminuição do volume de água, há favorecimento da captura da presa pelo predador. As variações no volume de água provocam alterações na densidade de peixes devido a aspectos quantitativos e qualitativos, bióticos e abióticos, visto a limitada capacidade de determinado ambiente suportar condições que sejam favoráveis a sobrevivência de uma comunidade em crescimento excessivo. O que também causa grande impacto na biodiversidade aquática da bacia, visto o grande volume de água retido no reservatório da Usina, é o controle do escoamento da água, impedindo a migração dos peixes rio acima para realizar a reprodução (piracema).

Baseado na premissa de que a oscilação do nível de água está diretamente relacionada com a variação da quantidade das espécies de peixes, considera-se que a função (2) representa as possíveis oscilações do regime hidrológico do rio Mucuri, decorrente ao aumento do volume de água em períodos de chuva e diminuição nos períodos de seca.

$$I = \left[\frac{1}{1 + \eta \sin(2\pi t/365)} \right] \quad (2)$$

Na função (2), o parâmetro η representa o peso da variação do nível de água ao longo de um intervalo de tempo diário, sendo $0 < \eta < 1$. Considerando os fenômenos ambientais acima, propõe-se o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax - \alpha xy \left(\frac{1}{1 + \eta \sin(2\pi t / 365)} \right) \\ \frac{dy}{dt} = -by + \beta xy \left(\frac{1}{1 + \eta \sin(2\pi t / 365)} \right) \end{cases} \quad (3)$$

Neste modelo matemático de competição, considera-se a quantidade $x(t)$ de presas e $y(t)$ de predadores em uma população. O parâmetro a é a taxa de crescimento de presas, b é a taxa de mortalidade de predadores, α é a taxa de mortalidade das presas devido à interação com predadores e β é a taxa de conversão de biomassa de presas capturadas por predadores. Os pontos de equilíbrio do modelo (3) são:

$$\begin{aligned} P_1 &= (0, 0) \\ P_2 &= \left(0, \frac{a [1 + \eta \sin(2\pi t / 365)]}{\alpha} \right) \\ P_3 &= \left(\frac{b [1 + \eta \sin(2\pi t / 365)]}{\beta}, 0 \right) \\ P_4 &= \left(\frac{b [1 + \eta \sin(2\pi t / 365)]}{\beta}, \frac{a [1 + \eta \sin(2\pi t / 365)]}{\alpha} \right) \end{aligned}$$

O ponto P_1 indica a extinção de ambas populações. Os pontos P_2 e P_3 , indicam a extinção de pelo menos uma das espécies, ora presa e ora predador, respectivamente. O ponto P_4 , indica a coexistência entre presas e predadores, considerando a variação do nível hidrométrico. Os resultados obtidos pela simulação computacional do modelo (3) para a interação lambari *versus* curimatá e lambari *versus* piau-branco são apresentados nas Figuras 1 e 2 nas subseções 3.1. e 3.2. que seguem.

3. Resultados e Discussões

Para as simulações computacionais do modelo empregou-se as densidades populacionais obtidas por Pompeu & Martinez (2006) das espécies de peixes supracitadas na Tabela 1. Fixou-se empiricamente o parâmetro $\eta = 0.25$, $\eta = 0.5$ e

$\eta = 0.9$, portanto, não corresponde ao valor real. Demais parâmetros utilizados são apresentados nas Tabela 2 e 3 que seguem.

Tabela 2: Parâmetros empregados na simulação do modelo (3) para interação Lambari x Curimatá.

Presa	a	α	Predador	b	β
Curimatá	0,239	0,005	Lambari	0,055	0,001

Fonte: (Houde e Zastrow, *FishBase*, 2014).

Tabela 3: Parâmetros empregados na simulação do modelo (4) para interação Lambari x Piau-branco.

Presa	a	α	Predador	b	β
Piau-branco	0,554	0,012	Lambari	0,055	0,001

Fonte: (Houde e Zastrow, *FishBase*, 2014).

3.1. Interação Lambari x Curimatá do modelo (3)

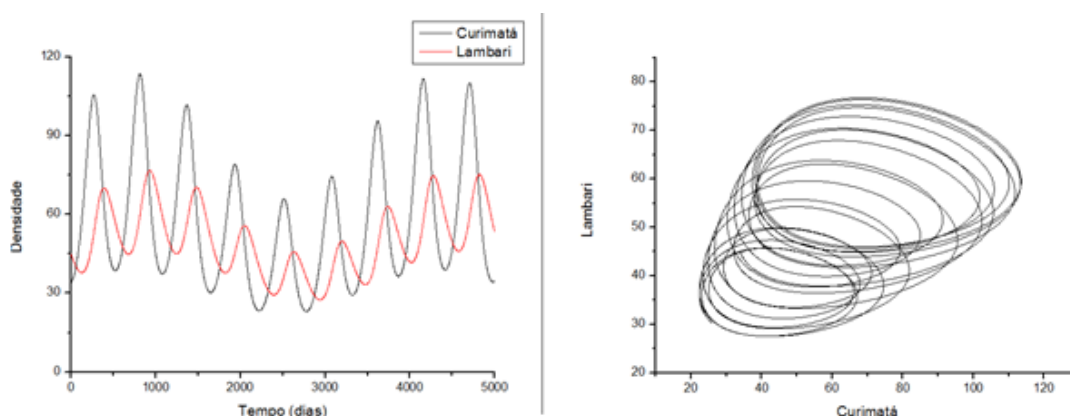


Figura 1(a): Interação Lambari x Curimatá ao longo do tempo com $\eta = 0.25$.

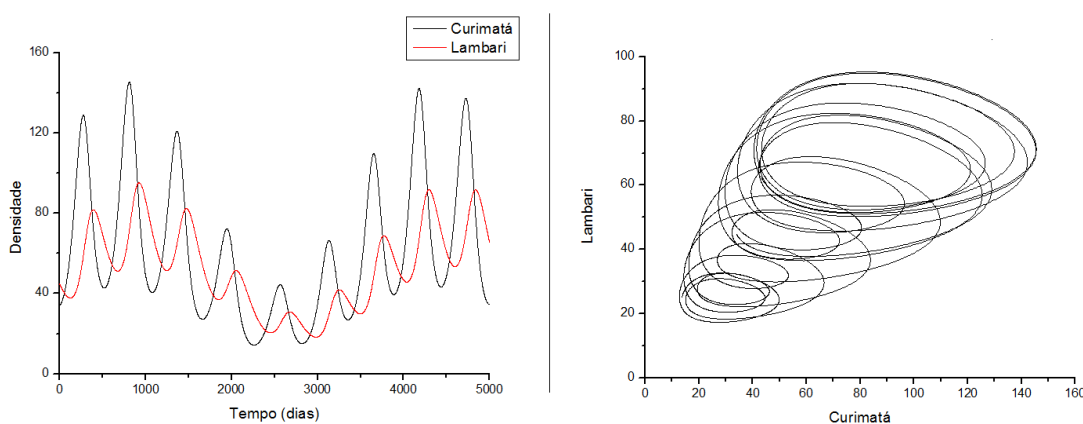


Figura 1(b): Interação Lambari x Curimatá ao longo do tempo com $\eta = 0.5$.

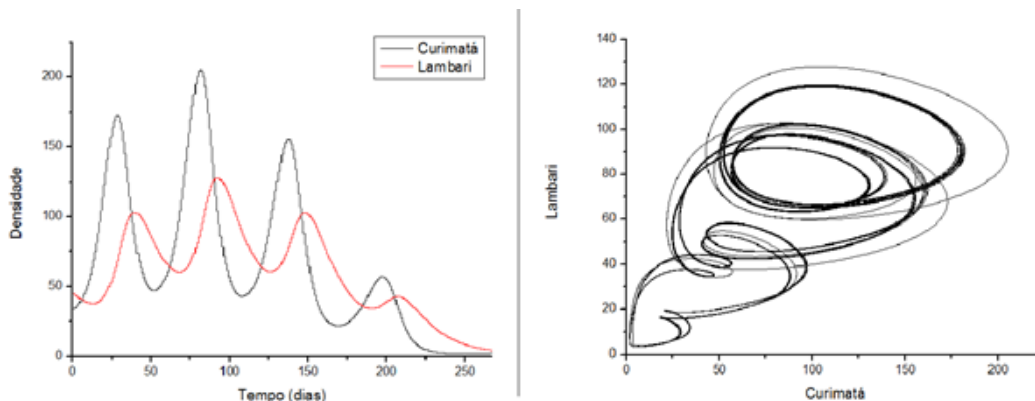


Figura 1(c): Interação Lambari x Curimatá ao longo do tempo com $\eta = 0.9$.

3.2. Interação Lambari x Piau-branco do modelo (3)

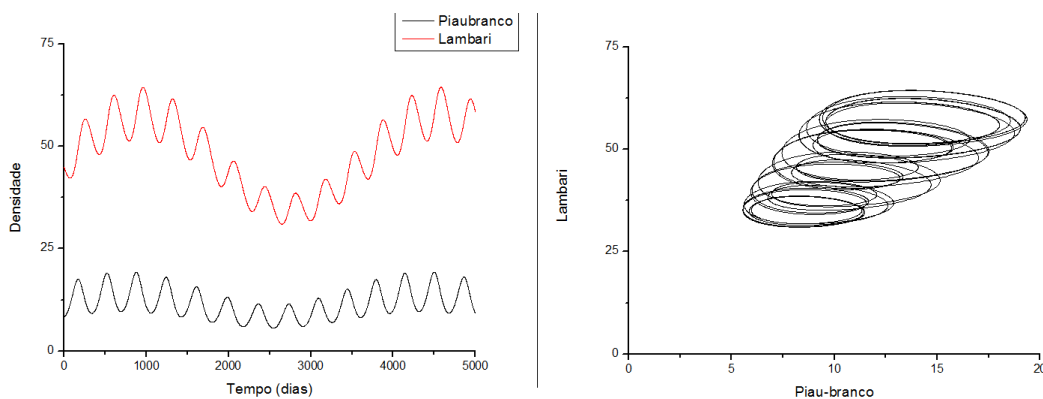


Figura 2(a): Interação Lambari x Piau-branco ao longo do tempo com $\eta = 0.25$.

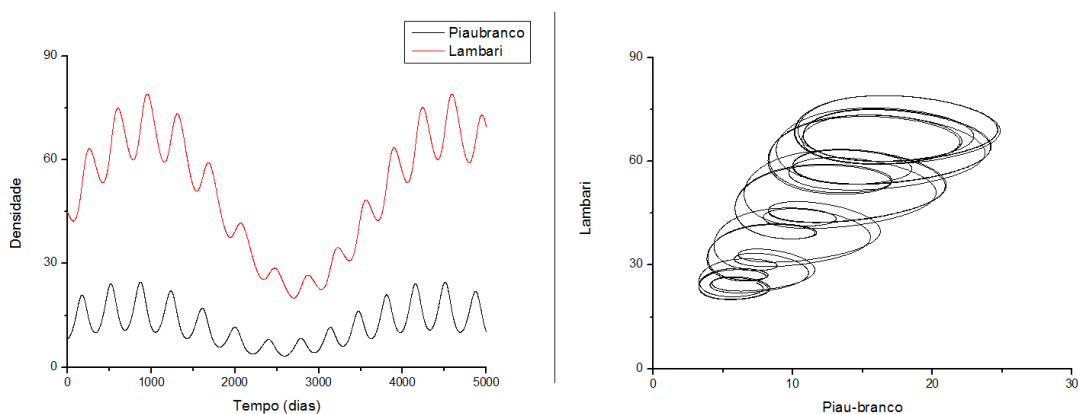


Figura 2(b): Interação Lambari x Piau-branco ao longo do tempo com $\eta = 0.5$.

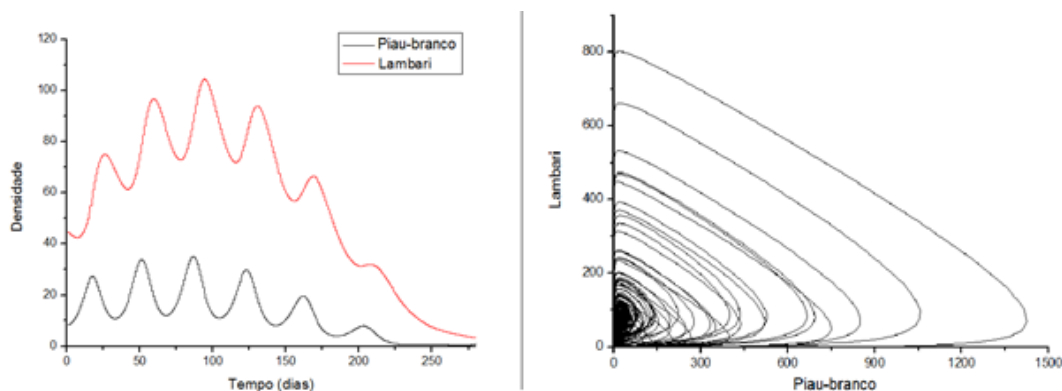


Figura 2(c): Interação Lambari x Piau-branco ao longo do tempo com $\eta = 0.9$.

Os gráficos apresentados nas Figuras 1 e 2 apresentam a influência da variação do volume hidrométrico na interação do Lambari \times Curimatá e Lambari \times Piau-branco, empregando-se $\eta = 0.25$, $\eta = 0.5$ e $\eta = 0.9$, respectivamente. Ao contrário do piau-branco, observa-se inicialmente densidades quantitativamente semelhantes entre o lambari e o curimatá, estas que são as espécies mais densas da Usina. Nota-se com o incremento do parâmetro $\eta = 0.25$ para $\eta = 0.5$, a ocorrência de maiores oscilações na quantidade de presas e predadores em intervalos de tempo cada vez menores nos gráficos da Figura 1(b) e 2(b) em relação a 1(a) e 2(a). Contudo, nota-se que a população de lambari (predador) ao chegar em sua densidade mínima, a população de piau-branco e curimatá (presas) retorna a crescer, e assim sucessivamente. Desta forma, as espécies chegam a um estágio repetitivo de crescimento e decaimento populacional, coexistindo ao longo do tempo. Porém, para uma perturbação mais expressiva do meio, apresentado nos gráficos da Figura 1(c) e 2(c) com $\eta = 0.9$, as espécies presa, curimatá e piau-branco, crescem consideravelmente em um primeiro momento, conseqüentemente maior será probabilidade de captura pelo predador. No segundo momento, devido a intensa predação, a densidade de presas apresenta uma decadência gradativa, extinguindo-se em aproximadamente 225-250 dias. Uma vez que o modelo considera a presa como única fonte de alimento dos predadores, poucos dias depois, o lambari também vai ao colapso. Logo, verifica-se então que a variação na quantidade de peixes por espelho d'água se acentua proporcionalmente ao aumento do valor do parâmetro η , onde o sistema torna-se propício à presa quando ocorre um aumento do volume de água e ora propício ao predador quando ocorre a diminuição.

Conclusão

Os resultados obtidos pelas simulações confirmam os pressupostos teóricos e mostram a vulnerabilidade dos peixes em virtude da adulteração do meio natural, seja por uma pequena perturbação, seja por um grande distúrbio, decorrente do parâmetro η considerado.

Em virtude do que foi mencionado, observou-se que a variação do volume hidrométrico exerce forte influência no convívio de competição entre as espécies de peixes. Pela observação dos aspectos analisados, entende-se que presas e predadores tendem a coexistir ao longo do tempo, mesmo com variações consideráveis do volume hidrométrico, como é exposto nas simulações gráficas de $\eta \leq 0.5$. Contudo, como se é esperado logicamente, estipulando-se $\eta = 0.9$ para uma variação mais hipotética do regime hidrológico, tanto presa quanto predador vão ao colapso devido a regulação de espaço estabelecida, que aumenta a possibilidade de predação em um meio mais denso. Obviamente, quanto maior for a perturbação mais instável fica o comportamento temporal do sistema.

Para uma avaliação mais apurada de como estes parâmetros modificam a estabilidade do sistema, como trabalho futuro pretende-se fazer uma análise da estabilidade dos pontos de equilíbrio deste modelo, bem como desenvolvê-lo de forma a considerar a interação de multi-espécies na dinâmica bem como um parâmetro E representando o esforço de pesca.

Referências

BASSANEZI, R. C. *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática*. São Paulo: Editora Contexto, 2006. 392 p.

BASSANEZI, R. C.; FERREIRA, J. R. *Equações diferenciais e suas aplicações*. São Paulo: Ed. Harbra, 1988. 572 p.

STEWART, J. *Cálculo*, Volume 1. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 634 p.

LOTKA, A. J. *Elements of physical biology*. Baltimore: Williams and Wilkins Company, 1925. 460 p.

ANDRIAN, I. F.; SILVA, H. B. R.; PERETTI, D. Dieta de *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758) (Characiformes, Characidae), da área de influência do reservatório de Corumbá, Estado de Goiás, Brasil. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 23, n. 2, p. 435-440, 2001.

POMPEU, P. S.; MARTINEZ, C. B. *Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, rio Mucuri, leste brasileiro*. Revista Brasileira de Zoologia, Curitiba, v. 23, n.2, 2006.

PONTON, D.; MÉRIGOUX, S. *Description and ecology of some early stages of fishes in the River Sinnamary* (French Guiana, South America). Folia Zoologica, Brno, v. 50, n. 1, p. 1-116, 2000.

CASSEMIRO, F.A.S.; HAHN, N.S.; FUGI, R. *Avaliação da dieta de Astyanax altiparanae Garutti&Britski, 2000 (Osteichthyes, Tetragonopterinae) antes e após a formação do reservatório de Salto Caxias, Estado do Paraná, Brasil*. Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 2, p. 419-425, 2002.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; LARA, M. dos S. *Índices para identificação de conflitos pelo uso da água: proposição metodológica e estudo de caso*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 7-15, 2012.

SILVA, J. M. *Modelos para a Dinâmica de Vegetação em Áreas Alagáveis Amazônicas*. Tese de Doutorado - Laboratório Nacional de Computação Científica, Petrópolis - RJ, 2011.

HOUDE, E. D.; ZASTROW, C.E. *Fishbase*. Disponível em: <<http://www.fishbase.org/>>. Acesso em: 22 Agosto 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NANUQUE-MG. Características. Disponível em: <http://www.nanuque.mg.gov.br/novo_site/index.php?nivel=1&exibir=secoes&ID=6>. Acesso em: 15 Junho 2014.

SILVA, D. A.; ALBANO, J. O.; CHELLAPPA, S. *Ecologia Reprodutiva de Astyanax bimaculatus Linnaeus 1758 (Characidae: Tetragonopterinae) Na Lagoa do Piató, Açú, Rio Grande do Norte*. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 8, 2007, Caxambu-MG. Anais...Caxambu: Sociedade de ecologia do Brasil, 2007.

FRAGOSO Jr., C. R.; FERREIRA, T. F.; MARQUES, D. M. *Modelagem Ecológica em Ecossistemas Aquáticos*. Oficina de Textos. 2009.

PAES, E. T.; BLINDER, P. B.; BASSANEZI, R. C. - "O meio ambiente como fator de predação: um estudo populacional do *Donax Gemmula*", Biomatemática II, (1992), pp 134-142

FIORI, A. F. ; FRANZOZI, L. ; VALDIERO, A. C. ; RASIA, L. A. ; *Análise do ponto de equilíbrio no modelo Lotka-Volterra*. In: CMAC Sul, Congresso de Matemática Aplicada e Computacional, 2014. v. 2.

RACCHUMI, J. A. R. . *Análise Espacial da Pobreza Municipal no Estado de Minas Gerais 1991-2000*. 2006.

AVELINO G.S. *Análise Filogenética das Espécies de Leporinus (Ostariophysi: Characiformes: Anostomidae) das Bacias do Prata e São Francisco*, 2007. Dissertação de mestrado - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, São Paulo. p. 1- 4.

Texto científico recebido em: 19/09/2015

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 24/11/2015

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

www.facebook.com/revistavozesdosvales

UFVJM: 120.2.095-2011 - QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524 - ISSN: 2238-6424

Periódico Científico Eletrônico divulgado nos programas brasileiros *Stricto Sensu*

(Mestrados e Doutorados) e em universidades de 38 países,

em diversas áreas do conhecimento.