

Artigo Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v13n22019p213-222


Submetido em: 5 dez. 2019

Aceito em: 5 dez. 2019


Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

Nikolas Gomes Silveira de Souza  <https://orcid.org/0000-0002-5724-2911>


Mestrando em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense - Campus Macaé - Macaé/RJ - Brasil. E-mail: nichsouz@msn.com.

Laura Isabel Weber  <https://orcid.org/0000-0001-6037-4969>


Doutora em Oceanografia Biológica pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Coordenadora e Professora de Curso Licenciatura em Biologia do NUPEM/UFRJ - Campus Macaé - Macaé/RJ - Brasil. E-mail: liweberc@gmail.com

Samantha Eslava Martins  <https://orcid.org/0000-0001-8094-7234>


Doutora em Oceanografia Biológica pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG) - Professora associada I de Ecotoxicologia Aplicada à Ambientes Aquáticos Continentais da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) - Campus Rio Grande - Rio Grande/RS - Brasil. E-mail: samanthamartins@furg.br

Jader Lugon Junior  <http://orcid.org/0000-0001-8030-0713>

Doutor em Modelagem Computacional (UERJ). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense - Campus Macaé - Macaé (RJ) - Brasil. E-mail: jlugonjr@gmail.com.

Victor Barbosa Saraiva  <https://orcid.org/0000-0002-9130-8902>

Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico e coordenador do Laboratório de Ecotoxicologia e Microbiologia Ambiental (LEMAM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense Campus Cabo Frio - Cabo Frio/RJ - Brasil. E-mail: victor.saraiva@ifff.edu.br

Manildo Marcião de Oliveira  <https://orcid.org/0000-0003-4245-7132>

Doutor em Ciências (Biociências Nucleares) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico e coordenador do Laboratório de Ecotoxicologia e Microbiologia Ambiental (LEMAM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense Campus Cabo Frio - Cabo Frio/RJ - Brasil. E-mail: manildodpicf@gmail.com

A influência do metal em corpos hídricos mostra-se capaz de gerar danos à biota aquática; por esse motivo, métodos eficazes para predição desses metais e de suas concentrações limite são importantes, de forma a garantir a estabilidade do ambiente. O propósito do trabalho foi coletar amostras de água na Lagoa de Imboassica, no período do verão de 2019, para obtenção dos parâmetros químicos, que foram inseridos no programa Biotic Ligand Model (BLM WindWard Software 2.1) para obtenção de resultados de toxicidade aguda do cobre, utilizando como organismo modelo o peixe *Onchorhynchus mykiss*. A toxicidade (CL_{50}) variou de 23,14 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ até 758,94 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, resultando em um critério de qualidade de água de 354,61 \pm 163,39 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Os resultados mostram o BLM como uma ferramenta compatível com a necessidade do gestor que requer dados rápidos e precisos de concentração limite de contaminante metálico no ambiente aquático, a fim de contribuir com os princípios de sustentabilidade no ambiente aquático.

Palavras-chave: BLM. Lagoa de Imboassica. Cobre. Brasil. Macaé.



Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

Nikolas Gomes Silveira de Souza et al.

Use of ecotoxicological modelling in Imboassica Lagoon, Macaé – RJ: a brief analysis

The influence of metals in water bodies may generate damage to the aquatic biota, thus, effective methods for predicting these compounds and their maximum allowed concentrations are important to ensure environmental stability. The purpose of this work was to collect water samples in Imboassica Lagoon, in the summer of 2019, to obtain the chemical parameters, which were inserted in the Biotic Ligand Model program (BLM WindWard Software 2.1) in order to obtain copper acute toxicity results, using the fish *Onchorhynchus mykiss* as model organism. Toxicity (LC_{50}) ranged from 23.14 $\mu\text{g.L}^{-1}$ to 758.94 $\mu\text{g.L}^{-1}$ resulting in a Water Quality Criteria (WQC) of $354,61 \pm 163,39 \mu\text{g.L}^{-1}$. The results showed BLM as a tool compatible with the manager's need to obtain fast and accurate data on limit concentration of trace metals in the aquatic environment in order to contribute to the principles of sustainability.

Keywords: BLM. Imboassica Lagoon. Copper. Brazil. Macaé.

Uso de modelos ecotoxicológicos en la Laguna de Imboassica Macaé - RJ: un breve análisis

La influencia del metal en los cuerpos de agua puede causar daños a la biota acuática, por lo tanto, los métodos efectivos para predecir estos compuestos y sus concentraciones máximas permitidas son importantes para garantizar la estabilidad ambiental. El propósito de este trabajo fue recolectar muestras de agua de la Laguna de Imboassica, durante el verano de 2019, para obtener los parámetros químicos a introducir en el programa Biotic Ligand Model (BLM WindWard Software 2.1) para obtener resultados de toxicidad aguda del cobre, utilizando como organismo modelo al pez *Onchorhynchus mykiss*. La toxicidad (LC_{50}) varió de 23,14 $\mu\text{g.L}^{-1}$ a 758,94 $\mu\text{g.L}^{-1}$, resultando en un criterio de calidad del agua de $354,61 \pm 163,39 \mu\text{g.L}^{-1}$. Los resultados muestran el BLM como una herramienta compatible con la necesidad del administrador en obtener datos rápidos y precisos sobre la concentración límite de trazas de metales en el medio ambiente acuático para contribuir a los principios de mantención del ambiente acuático.

Palabras clave: BLM. Laguna de Imboassica. Cobre. Brasil. Macaé.



Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

Nikolas Gomes Silveira de Souza et al.

1 Introdução

Os parâmetros padrão de qualidade de água compõem uma ferramenta poderosa para o processo de gestão de recursos hídricos. No Brasil, utilizam-se vários indicadores que buscam usar parâmetros químicos, físicos e biológicos na geração de índices que facilitem a interpretação dos resultados pelo público leigo e auxiliem o gestor na tomada de decisões (ANA, 2016). No Brasil, o Índice de Qualidade de Águas (IQA) é o índice mais usado, porém não leva em consideração compostos tóxicos presentes no ambiente, tais como metais, agrotóxicos e poluentes orgânicos persistentes (POPs). No IQA, os parâmetros de temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduos totais são utilizados para avaliar a qualidade da água para fins de potabilidade (AGRIZZI *et al.*, 2018). Contudo, esses índices são empregados não levando em consideração os usos múltiplos do recurso e os aspectos locais (PASSOS *et al.*, 2018). Em relação a estes últimos, torna-se necessária a derivação de critérios de qualidade de água para contaminantes que sejam mais relevantes para uma determinada região, que seja sítio específico, tais como critério de qualidade para metais (GONDEK *et al.*, 2018).

No Brasil, há estudos destinados a avaliar a concentração de metais no ambiente aquático ora por uma visão macro, tal como bacia-hidrográfica (MACHADO; MOURA, 2019), ora por uma visão mais local (TREVIZANI *et al.*, 2019). O BLM (Biotic Ligand Model) é um modelo de predição baseado no equilíbrio fornecido pela especiação de metais em sua forma dissolvida, dentre eles o cobre, além de considerar as formações de complexos orgânicos e inorgânicos, com foco no sítio de toxicidade aguda do organismo, o ligante biótico (SANTORE *et al.*, 2001). Apesar de originalmente ter sido desenvolvido para organismos de ambientes de clima temperado (KRULL; BARROS, 2012), sua ampla base de dados permite estudos para atender a especificidade do local. Embora o BLM esteja validado para diversos metais, as aplicações são comumente restritas ao cobre, como, por exemplo, em: estudo no Rio Paraná (Brasil), utilizando peixes ciprinídeos expostos ao cobre (NATALE; LEIS, 2008); *Daphnia magna* exposto ao cobre no rio Yeongsan, Coréia do Sul (PARK *et al.*, 2018); A exposição dos organismos *Daphnia lumholtzi*, *Ceriodaphnia cornuta* e *Danio rerio* ao cobre nos rios Dongnai e Mekong, Vietnam (BUI, 2016). É comum também a comparação desse modelo com outros, validando e reforçando a qualidade do BLM perante os demais (GLOVER, 2018). O modelo se mostrou tão eficaz que a União Europeia e a USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos EUA) adotaram o modelo em sua normatização e, conseqüentemente, legislação (USEPA, 2007).

Dentre vários motivos que podem aumentar a biodisponibilidade de metais na água, um dos mais contundentes é o despejo de esgoto. O lodo doméstico possui diversos metais pesados associados, dentre os quais o cobre (NETTO, 2007). O cobre, como explica Solomon (2009), é um metal que pode ser tóxico aos organismos aquáticos e ao ecossistema, pois ele determina alterações no transporte passivo e ativo de íons pela membrana branquial de peixes e crustáceos causando um dano no funcionamento da osmorregulação (CRÉMAZY *et al.*, 2016; PAGANINI; BIANCHINI, 2009).

Este trabalho tem como objetivo a aplicação do BLM para previsão da toxicidade do cobre na Lagoa de Imboassica no período de verão (período úmido) com intuito de utilizá-lo para a derivação de critérios de qualidade de água para esse ambiente aquático costeiro.



Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

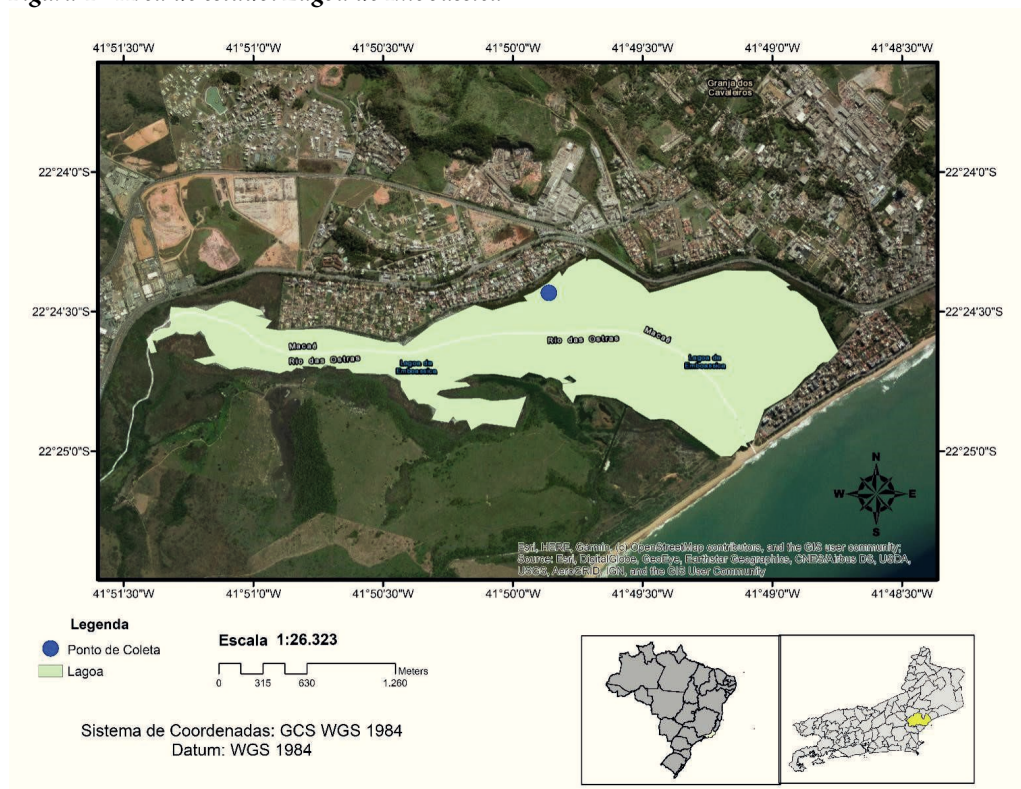
Nikolas Gomes Silveira de Souza et al.

2 Material e Método

2.1 Área de estudo e coleta de água

A coleta da água na Lagoa de Imboassica foi realizada nas coordenadas geográficas 22° 24' 25.632" S e 41° 49' 54.487" W (Figura 1) medidas pelo sistema de projeção WGS1984 no período de dezembro/2018 até março/2019. Os materiais utilizados foram recipientes (garrafas) de vidro de 500 ml, com tampa hermética. A amostra não excedeu 15 min de trajeto entre a coleta e o destinatário para análise dos parâmetros: pH, temperatura e carbono orgânico dissolvido (COD). As 04 coletas foram realizadas a pé, próximo à margem e na superfície da lagoa. Os procedimentos de coleta e armazenamento foram realizados conforme o Guia Nacional de Coleta (ANA, 2011).

Figura 1 - Área de estudo. Lagoa de Imboassica



Fonte: Os autores (2019)

Todos os conteúdos foram colocados isolados da luz solar, em recipiente de isopor, e encaminhados ao laboratório (TESALAB: Tecnologia em Serviços Ambientais) para a determinação dos parâmetros através dos métodos padronizados (Tabela 1).

Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

Nikolas Gomes Silveira de Souza et al.

Tabela 1. Parâmetros e métodos utilizados para análise dos parâmetros físico-químicos da Lagoa de Imboassica

Parâmetros	Método	Metodologia
COD (mg.L ⁻¹)	Standard Methods	5310 TOC B
Sulfato (mg.L ⁻¹)	SM 4500-SO4 E	Colorimétrico
pH	SM 4500-H B	Eletrométrico
Cloreto (mg.L ⁻¹)	SM 45000 Cl- B	Titulométrico
Sódio (mg.L ⁻¹)	EPA 6010 C	ICP
Cálcio (mg.L ⁻¹)	EPA 6010 C	ICP
Potássio (mg.L ⁻¹)	EPA 6010 C	ICP
Magnésio (mg.L ⁻¹)	EPA 6010 C	ICP
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	SM 2320 B	Titulométrico
Temperatura (°C)	SMWW – 23º. Ed.	Eletrométrico*
Sulfeto (mg.L ⁻¹)	SM 4500 S2-D,H	ICP

Fonte: Os autores (2019)

Nota: * parâmetro obtido no local

2.2 Predição da tolerância ao cobre pelo Programa BLM Windward 2.1

A seguir, procedeu-se à utilização do software Windward BLM Software 2.1, gratuitamente disponível (<https://www.windwardenv.com/biotic-ligand-model/>), para a obtenção de uma predição da toxicidade do cobre num modelo animal escolhido para esse fim e aplicável à Lagoa de Imboassica.

A truta *Oncorhynchus mykiss* é uma espécie de peixe habitante de rios em regiões montanhosas, em ambientes de clima temperado (SOUZA, 2015). Embora esta não seja nativa da lagoa, trata-se de uma espécie com apelo forte com relação à saúde pública em função do seu uso direto como alimento para o homem, e já consta sua padronização para testes toxicológicos e calibração para o cobre no BLM. Portanto, foi a espécie escolhida para as simulações sob as condições da Lagoa de Imboassica. Os dados de entrada, os parâmetros físico-químicos da Lagoa, foram inseridos no programa BLM a fim de obter-se a toxicidade do cobre para o peixe *O. mykiss*, simulando a exposição aguda (96h), bem como derivar um critério de qualidade de água do cobre para a Lagoa em condições de verão. O Software BLM WindWard 2.1 permite realizar predições de toxicidade e quantificar a concentração de espécies químicas de um dado metal contaminante, dentro de seu banco de dados, a partir dos dados de entrada.

Foi arbitrado o valor de 10% de ácidos húmicos, conforme instituído pela USEPA (2007) e predefinido pelo modelo BLM. O BLM, que também fornece o Critério de Qualidade de Água (WQC), baseado nas condições previstas no EPA (2007), permitiu a obtenção de valores para a toxicidade aguda do metal em Critério de Concentração Máxima (CCM).

Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

Nikolas Gomes Silveira de Souza et al.

3 Resultados

Em novembro de 2019, anterior ao período de coleta deste estudo, houve a abertura da barra que separa a Lagoa de Imboassica do mar, fato que teve influência nos parâmetros físico-químicos da lagoa entre dezembro/2018 e março/2019, como observado na Tabela 2. Apesar disso, foi realizada a análise levando em consideração a capacidade do BLM de se adequar à dinâmica do corpo hídrico em estudo.

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos da Lagoa de Imboassica durante o período amostrado (dados de entrada no BLM) e toxicidade aguda do cobre em *O. mykiss* (dados de saída do BLM)

Parâmetros da água	Período amostrado			
	Dez/2018	Jan/2019	Fev/2019	Mar/2019
Temperatura (°C)	23,3	32	30,3	23,4
pH	6,7	8,14	9,2	8,52
COD (mg.L ⁻¹)	5,5	13	11	19
HA (%)	10	10	10	10
Ca (mg.L ⁻¹)	75	58	55	45
Mg (mg.L ⁻¹)	193	192	128	140
Na (mg.L ⁻¹)	1616	1948	1085	1220
K (mg.L ⁻¹)	67	84	49	45
(SO ₄) ²⁻ (mg.L ⁻¹)	212,9	162,2	82,4	169,8
Cl (mg.L ⁻¹)	3595	2855	1995	935,7
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	4,015	54,66	20,21	30,97
S ⁻² (mg.L ⁻¹)	0,050	0,050	0,050	0,100
CL ₅₀ (µg.L ⁻¹)	23,14	497,57	712,63	758,94

Fonte: Os autores (2019)

O valor encontrado de CCM para o cobre nos padrões EPA (2007) pelo programa BLM no período estudado foi de $354,61 \pm 163,39 \mu\text{g.L}^{-1}$.

4 Discussão

Estudando alguns meses da dinâmica de uma lagoa costeira, podemos observar a utilidade do BLM na aquisição de informações ecotoxicológicas preditivas para um determinado metal. Em nosso estudo, os valores atribuídos à toxicidade aguda do cobre para o peixe *O. mykiss* foram marcados pela dinâmica de abertura artificial de barra arenosa (AABA). No mês de novembro de 2018, foi realizada a abertura artificial de barra arenosa, com conseqüente diminuição do nível da lagoa (FONTES, 2018). Em dezembro, após o fechamento natural da barra, tem início um aumento do nível da lagoa com a contribuição dos rios do continente e efluentes urbanos (esgoto), provocando o aumento da toxicidade pelo cobre. A alteração do volume mudou parâmetros físico-químicos importantes relacionados com a biodisponibilidade do cobre na água; entre eles, destacamos o pH, Sulfato e Alcalinidade. O pH mais ácido aumenta a disponibilidade de íon cúpricos livres (Cu^{2+}), aumentando a toxicidade do cobre (PARK *et al.*, 2018). O pH e Carbono Orgânico Dissolvido (DOC) contribuíram de forma direta na toxicidade do cobre livre, como observado para *Daphnia Magna* (RYAN *et al.*, 2009). Em relação ao DOC, nas espécies *Acipenser transmontanus* e *Ceriodaphnia dubia* mostrou efeito protetor para a toxicidade do cobre (IVEY *et al.*, 2019). Em nosso estudo, observamos que os dois parâmetros podem ter influenciado na toxicidade do cobre. A alcalinidade baixa também propicia uma maior biodisponibilidade do cobre, pela influência direta na especiação com formação de compostos de carbonatos (HYNE *et al.*, 2005). Os valores encontrados de toxicidade para o mês de dezembro foram semelhantes aos obtidos em outros estudos para outros organismos. Franco-de-Sá e Val (2014) encontraram valores de toxicidade do cobre, comparados com a legislação, para girinos de *Scinax ruber* e *Rhinella granulosa* (23,48 e 36,37 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de cobre) e ovos das espécies *Scinax ruber* (50,02 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de Cu) em águas do Rio Negro. Pont (2017), em seu estudo, combinou água do rio Solimões-Amazonas com água subterrânea, encontrando valores de toxicidade ao cobre para o gênero de peixe *Otocinclus* variando de 572,11 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de cobre (100% de água do rio Solimões-Amazonas) até 78,68 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (20% de água do rio + 80% de água subterrânea). Em especial para a espécie *Otocinclus hasemani*, encontraram-se 18,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$ cobre (para 100% de água do rio). No presente estudo, o resultado mostrou toxicidade aguda ao *O. mykiss* de 23,14 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de cobre nas condições da Lagoa de Imboassica. Nos meses subsequentes (janeiro, fevereiro e março), a toxicidade diminuiu, acompanhando o aumento do nível da lagoa. A avaliação de WQC CCM variou de 27,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em dezembro até 555,65 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em março, apresentando uma tendência semelhante à localizada na toxicidade CL_{50} .

A resolução CONAMA 357/2005 apresenta os valores para o enquadramento de água separados em Sessões e Classes (BRASIL, 2005). A Lagoa de Imboassica é enquadrada como de água doce classe 2, sendo a abertura de barra arenosa condicionada ao cumprimento da Resolução do Comitê de Bacias Hidrográficas (CBH) Macaé Ostras nº 81, de 02 de março de 2018 (MACAÉ, 2018). O resultado apresentado no trabalho atual reforça a necessidade do cumprimento de critérios rígidos para abertura de barra arenosa dado o risco de mudança na ecotoxicidade de alguns metais, colocando em risco a biodiversidade do ambiente aquático.

Apesar de os resultados do BLM apresentarem CCM menos restritivos do que os valores limite estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 (9 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o cobre dissolvido, Água Doce Classe 2), ele



Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

Nikolas Gomes Silveira de Souza et al.

.....
leva em consideração a avaliação do ambiente aquático por características físico-químicas coerentes com a realidade do local estudado em questão. Desse modo, os valores do BLM são dinâmicos e verossímeis na realidade do ambiente aquático, assimilando facilmente variações sazonais.

5 Considerações Finais

O programa ecotoxicológico Biotic Ligand Model (BLM WindWard Software 2.1) foi usado na Lagoa de Imboassica e modelou a toxicidade aguda do cobre para a espécie de peixe padronizada *Onchorhynchus mykiss* (truta-arco-íris), indicando a capacidade de suporte desse ambiente aquático em relação a esse importante contaminante ambiental. Foi verificado que as alterações nos parâmetros físico-químicos provocados por abertura artificial de barra arenosa não passaram despercebidas pelo modelo.

O uso dessa tecnologia proporciona ao gestor uma ferramenta acessível que, aliada a outros parâmetros que incorporem a ecotoxicologia (ex. Biomarcadores), proporciona um diagnóstico mais fidedigno e eficaz para o monitoramento de efeitos biológicos de metais, sob as mais variadas condições dos diversificados corpos hídricos existentes no País.

Referências

AGRIZZI, D. V. *et al.* Qualidade da água de nascentes do Assentamento Paraíso. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 3, p. 557–568, jun. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018150701>.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. 2011. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>. Acesso em: 2019.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. *Portal da Qualidade das Águas*. 2016. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 18 set. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução no 357, de 17 de março de 2005*. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 10 set. 2019.

BUI, T.-K. L. *et al.* Copper toxicity and the influence of water quality of Dongnai River and Mekong River waters on copper bioavailability and toxicity to three tropical species. *Chemosphere*, v. 144, p. 872–878, 1 Feb. 2016.

CRÉMAZY, A. *et al.* Investigating copper toxicity in the tropical fish cardinal tetra (*Paracheirodon axelrodi*) in natural Amazonian waters: Measurements, modeling, and reality. *Aquatic Toxicology*, v. 180, p. 353–363, Nov. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.10.011>



Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

Nikolas Gomes Silveira de Souza et al.

.....
FONTES, M. Após abertura da barra, Lagoa de Imboassica sofre impactos ambientais. *ODEBATEON*, 2018 Disponível em: <https://www.odebateon.com.br/apos-abertura-da-barra-lagoa-de-imboassica-sofre-impactos-ambientais/>. Acesso em: 4 nov. 2019.

FRANCO-DE-SÁ, J. F. O.; VAL, A. L. Copper toxicity for *Scinax ruber* and *Rhinella granulosa* (Amphibia: Anura) of the Amazon: Potential of Biotic Ligand Model to predict toxicity in urban streams. *Acta Amazonica*, v. 44, n. 4, p. 491–498, Dec. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201400383>.

GLOVER, C. N. Defence mechanisms: the role of physiology in current and future environmental protection paradigms. *Conservation Physiology*, v. 6, n. 1, 1 Jan. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/conphys/coy012>.

GONDEK, J. C. et al. Framework for derivation of water quality criteria using the biotic ligand model: Copper as a case study: Derivation of Water Quality Criteria Using the BLM. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 14, n. 6, p. 736–749, Nov. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.4062>.

HYNE, R. V. et al. Influence of water chemistry on the acute toxicity of copper and zinc to the cladoceran *ceriodaphnia cf dubia*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 24, n. 7, p. 1667, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1897/04-497R.1>.

IVEY, C. D. et al. Influence of dissolved organic carbon on the acute toxicity of copper and zinc to white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) and a cladoceran (*Ceriodaphnia dubia*). *Environmental toxicology and chemistry*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.4592>

KRULL, M.; BARROS, F. Key Issues in Aquatic Ecotoxicology in Brazil: A Critical Review. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, v. 7, n. 2, p. 57–66, 5 Dec. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5132/jbse.2012.02.009>

MACAÉ. *Resolução CBH Macaé nº 81, 2018*. Critérios Para Abertura Emergencial da Barra Arenosa da Lagoa Imboassica. Disponível em: <http://cbhmacae.eco.br/site/index.php/2018/07/17/resolucao-cbh-macae-n-812018-criterios-para-abertura-emergencial-da-barra-arenosa-da-lagoa-imboassica/>. Acesso em: 1 out. 2019

MACHADO, F. S.; MOURA, A. S. *Educação, Meio Ambiente e Território* 3. 1. ed. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

NATALE, O. E.; LEIS, M. V. Biotic Ligand Model estimation of copper bioavailability and toxicity in the Yacyretá Reservoir on the Paraná River. *Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, v. 13, n. 3, p. 231–244, 2008.

NETTO, A. P. *Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário*. 2007. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-07052007-143501>.

PAGANINI, C. L.; BIANCHINI, A. Copper accumulation and toxicity in isolated cells from gills and hepatopancreas of the blue crab (*callinectes sapidus*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 28, n. 6, p. 1200, 2009. DOI: <http://doi.wiley.com/10.1897/08-182.1>.

Uso de modelagem ecotoxicológica na Lagoa de Imboassica Macaé-RJ: uma breve análise

Nikolas Gomes Silveira de Souza et al.

PARK, J. *et al.* Validation of a biotic ligand model on site-specific copper toxicity to *Daphnia magna* in the Yeongsan River, Korea. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 149, p. 108–115, Mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.029>.

PASSOS, A. L. L.; MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA FILHO, E. C. Critérios para Avaliação da Qualidade de Água no Brasil. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 7, n. 2, p. 290–303, 30 Aug. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2018v7i2.p290-303>.

PONT, G. D. *et al.* Potential of the Biotic Ligand Model (BLM) to Predict Copper Toxicity in the White-Water of the Solimões-Amazon River. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 98, n. 1, p. 27–32, Jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1986-1>.

RYAN, A. C.; TOMASSO, J. R.; KLAINÉ, S. J. Influence of pH, hardness, dissolved organic carbon concentration, and dissolved organic matter source on the acute toxicity of copper to *Daphnia magna* in soft waters: implications for the biotic ligand model. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 28, n. 8, p. 1663-1670, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1897/08-361.1>

SANTORE, R. C. *et al.* Biotic ligand model of the acute toxicity of metals. 2. Application to acute copper toxicity in freshwater fish and *Daphnia*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 20, n. 10, p. 2397–2402, Oct. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.5620201035>

SOLOMON, F. *Impacts of Copper on Aquatic Ecosystems and Human*. 2009. Disponível em: http://www.aqua2use.net/files/6714/1409/9604/Impacts_of_Copper_on_Aquatic_Ecosystems_and_human_Health.pdf. Acesso em: 7 nov. 2019

TREVIZANI, T. H. *et al.* Assessment of metal contamination in fish from estuaries of southern and southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 5, p. 308, May 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-019-7477-1>

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Aquatic Life Criteria Copper*. Policies and Guidance. 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/wqc/aquatic-life-criteria-copper>. Acesso em: 11 ago. 2019.

