

Modelo da dispersão de um poluente para preservação da Lagoa da Pampulha

Model of the dispersion of a pollutant for the preservation of the Pampulha Lagoon

André Lopes FRISSO [1](#); Vinícius Antonio da Silva FOCA [2](#); Ângelo Almeida FREITAS [3](#); Arinos Alves da Silva LOPES [4](#); Jaqueline Maria DA SILVA [5](#)

Recibido: 09/12/16 • Aprobado: 19/01/2017

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
 - [2. Metodologia](#)
 - [3. Resultados obtidos](#)
 - [4. Considerações finais](#)
- [Referências](#)

RESUMO:

A humanidade tem agido de forma desenfreada com o manejo dos recursos naturais, o que torna a vida na Terra impossível e arrisca a vida e a sobrevivência das futuras gerações. Estes recursos que estão sendo extraídos desenfreadamente são hídricos, minerais e energéticos. Podem ser encontrados na literatura muitos modelos matemáticos e computacionais criados para estudar as consequências da ação antrópica (processo derivado da ação humana). Este estudo visa analisar e modelar o comportamento de contaminantes dispersos na Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte – MG) utilizando o modelo Difusão-Advecção de equações diferenciais, visando a preservação da lagoa para as futuras gerações.

Palavras-chave: Dispersão de contaminantes, águas rasas, modelagem matemática, modelagem computacional.

ABSTRACT:

Humanity has acted rampant with the management of natural resources, which make life on Earth impossible risking the lives and the survival of the future generations. These resources being extracted rampantly are the water, mineral and energy ones. It can be found in the literature many mathematical and computational models created to study the consequences of human action within the environment. This study aims to analyze and model the behavior of dispersed contaminants in the Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte - MG) using the diffusion-advection model of differential equations, aiming the preservation of the lake for the future generations.

Keywords: Dispersion of contaminants, low water, mathematical modeling, computational modeling.

1. Introdução

Pesquisadores de diversas áreas da ciência tem observado que, com o passar dos anos, as consequências das ações antrópicas, ou seja, alterações provocadas pelas ações do homem, no meio ambiente tem se tornado cada vez mais prejudiciais para o ecossistema como um todo.

Uma possível explicação pode ser a má gestão dos recursos naturais por parte da administração pública e pela falta de conhecimento da população sobre cuidados para com o meio ambiente e as consequências de suas ações para com o mesmo, que será deixado para as gerações futuras (J. M. da Silva, 2005). As consequências de tais ações antrópicas trazem à tona a necessidade de discutir e propor intervenções e iniciativas que visam minimizar o impacto das ações da sociedade no meio ambiente.

Para uma gestão correta dos recursos hídricos é necessário um conjunto mínimo de instrumentos principais, os quais tornarão possíveis avaliar o grau de eficácia do sistema implantado. Esses instrumentos são: uma base de dados e informações socialmente acessíveis, a definição clara dos direitos de uso, o controle de impacto sobre os sistemas hídricos e o processo de tomada de decisão (Porto e Porto, 2008).

É sabido que dentre os 500 maiores rios do planeta mais da metade sofrem com problemas de poluição, como é o exemplo do Rio Tietê, na cidade de São Paulo, que recebe mais de 400 toneladas diárias de esgotos em seu leito (Abril, 2016).

Este trabalho apresenta a discussão de um estudo detalhado envolvendo a modelagem do fenômeno de dispersão de poluentes diversos na Lagoa da Pampulha, localizada na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais.

A barragem que inicialmente represava as águas que deram origem à Lagoa da Pampulha rompeu-se devido à erosão interna dos caminhos de percolação da água no corpo da mesma. Após a histórica e catastrófica ruptura da represa iniciou-se o processo de reconstrução e revitalização do local, sendo projetada e construída com todos os recursos tecnológicos disponíveis na época (Resk, Bezerra-Neto e Coelho, 2007).

Diante do que foi exposto, evidencia-se a necessidade de analisar os impactos ambientais relacionados à dispersão de dejetos na lagoa. Este estudo apresenta um estudo detalhado de um modelo matemático e computacional capaz de simular e prever a contaminação das águas por poluentes específicos (Lopes, Souza, Gomes e Silva, 2016). Assim, usando a mesma metodologia adotada na referência acima citada, o modelo matemático foi analisado também de forma computacional e mostrou-se como uma ferramenta científica eficaz de analisar o que foi observado por meio de imagens da lagoa via satélite de modo de forma preditiva e dinâmica, sendo também possível analisar e discutir o comportamento das atividades antrópicas visando otimizar o uso de recursos financeiros públicos, tempo e também a eficiência do processo de recuperação da área contaminada.

2. Metodologia

Para a metodologia de pesquisa utilizou-se o seguinte modelo matemático para dispersão-advecção:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = a \nabla^2 C - \mathbb{V} \nabla C - \sigma C + f, t \in I \text{ e } (x, y) \in \Omega$$

onde a é o coeficiente de difusibilidade presente na região $\Omega | \Omega \in \mathbb{R}^2$, σ é o decaimento do poluente, \mathbb{V} é o campo vetorial, C é a concentração, t é o instante, f é a fonte local (pontual) e I é o intervalo de tempo, sendo que $I (0, t]$ (Prestes, Frederico, Meyer e Poletti, 2013).

Os dados utilizados no modelo foram as velocidades dos ventos e suas direções predominantes (apresentados na Tabela 1) a uma altitude de 854 metros em relação ao nível do mar, coletados por meio da estação meteorológica da Pampulha – A521, no período de 12 de julho de 2016 a 19 de agosto de 2016. Os dados estão disponíveis no site do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (INMET, 2016). A estação meteorológica da Pampulha disponibiliza as características do vento a cada hora, possibilitando a realização do cálculo de uma média

aritmética de tais velocidades:

$$V_{\text{vento}} = 6,58 \text{ km/h}$$

Tal cálculo proporciona um estudo dinâmico da ocorrência da dispersão de contaminantes em meio líquido, já que o mesmo é variável de poluente para poluente devido a características inerentes ao mesmo, como massa específica e viscosidade.

Ademais, foi calculada a média das direções do vento:

$$\theta = 131,35^\circ$$

A simulação da dispersão da dispersão do lago foi feita utilizando as discretizações do modelo segundo (Lopes, Souza, Gomes e Silva, 2016).

Adotando a aproximação linear clássica da Equação de Ekman (Lopes, Souza, Gomes e Silva, 2016) e tendo como base o vetor da velocidade dos ventos (V_φ) atuantes na superfície da lagoa como sendo 3% da média das velocidades dos ventos (V_{vento}), tem-se:

$$V_\varphi = 0,03 \times 6,58 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 0,1974 \text{ km/h}$$

Realizando o cálculo da decomposição da velocidade dos ventos, tem-se:

$$u = 0,1974 \times \sin 131,35^\circ = 0,1481 \text{ km/h}$$

$$v = 0,1974 \times \cos 131,35^\circ = -0,1304 \text{ km/h}$$

O intervalo de tempo em horas utilizado para o estudo foi $(0, T]$ com $0 < T \leq 936$, referente a 39 dias. Para a difusibilidade, adota-se:

$$\alpha = \frac{1,96843341}{936} = 2,103 \times 10^{-3} \frac{\text{km}^2}{\text{h}}$$

O decaimento adotado foi (Prestes, Frederico, Meyer e Poletti, 2013):

$$\sigma = 0,0002 \text{ h}^{-1}$$

As informações que foram coletadas do INMET estão apresentadas na Tabela 1.

3. Resultados obtidos

Por meio dos parâmetros calculados que foram utilizados na simulação computacional, com o auxílio do software Matlab, foi possível a obtenção dos resultados apresentados em: Figura 1, Figura 2, Figura 3 e Figura 4.

Os parâmetros utilizados na simulação foram os seguintes: as componentes u e v , referente à velocidade de propagação dos ventos, decaimento e difusibilidade obtidos por meio de (Prestes, Frederico, Meyer e Poletti, 2013).

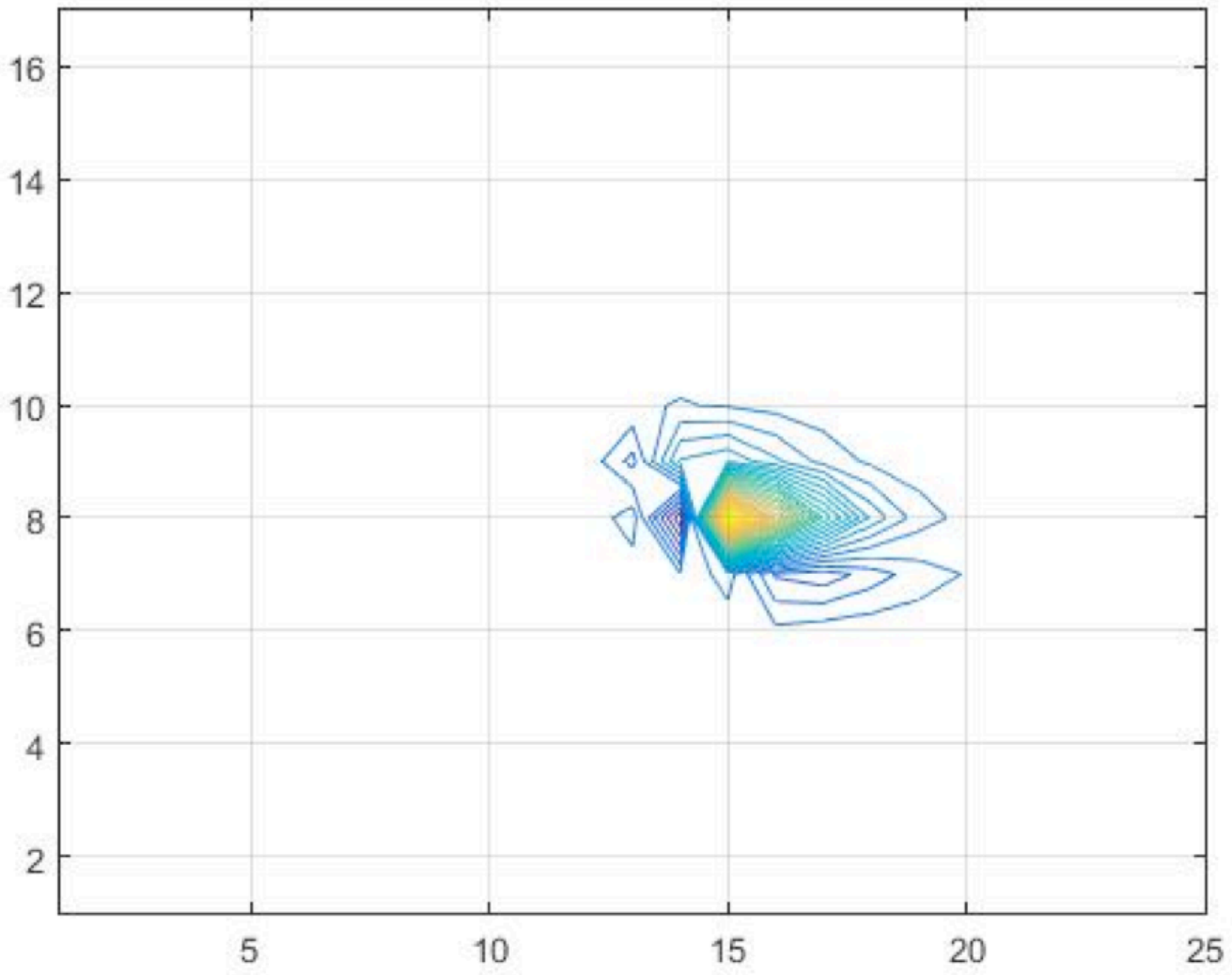


Figura 1: t=1

Figura 1: Malha retangular da lagoa da Pampulha na cidade de Belo Horizonte - MG, obtidas pelo software GMSH.

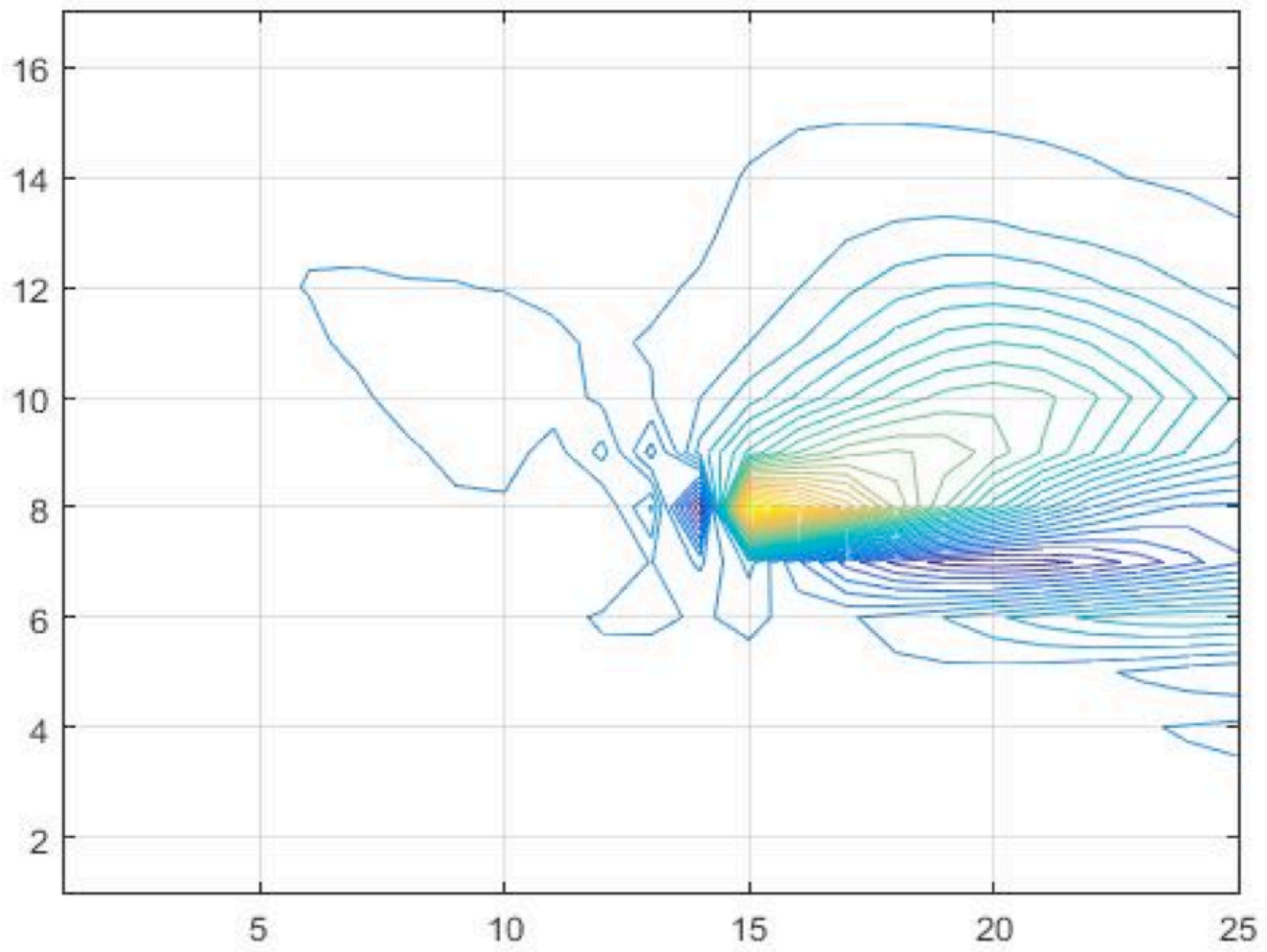


Figura 2: t=5

Figura 2: Transporte de contaminantes na Lagoa da Pampulha, com os parâmetros obtidos, calculados e apresentados com $t = 1$.

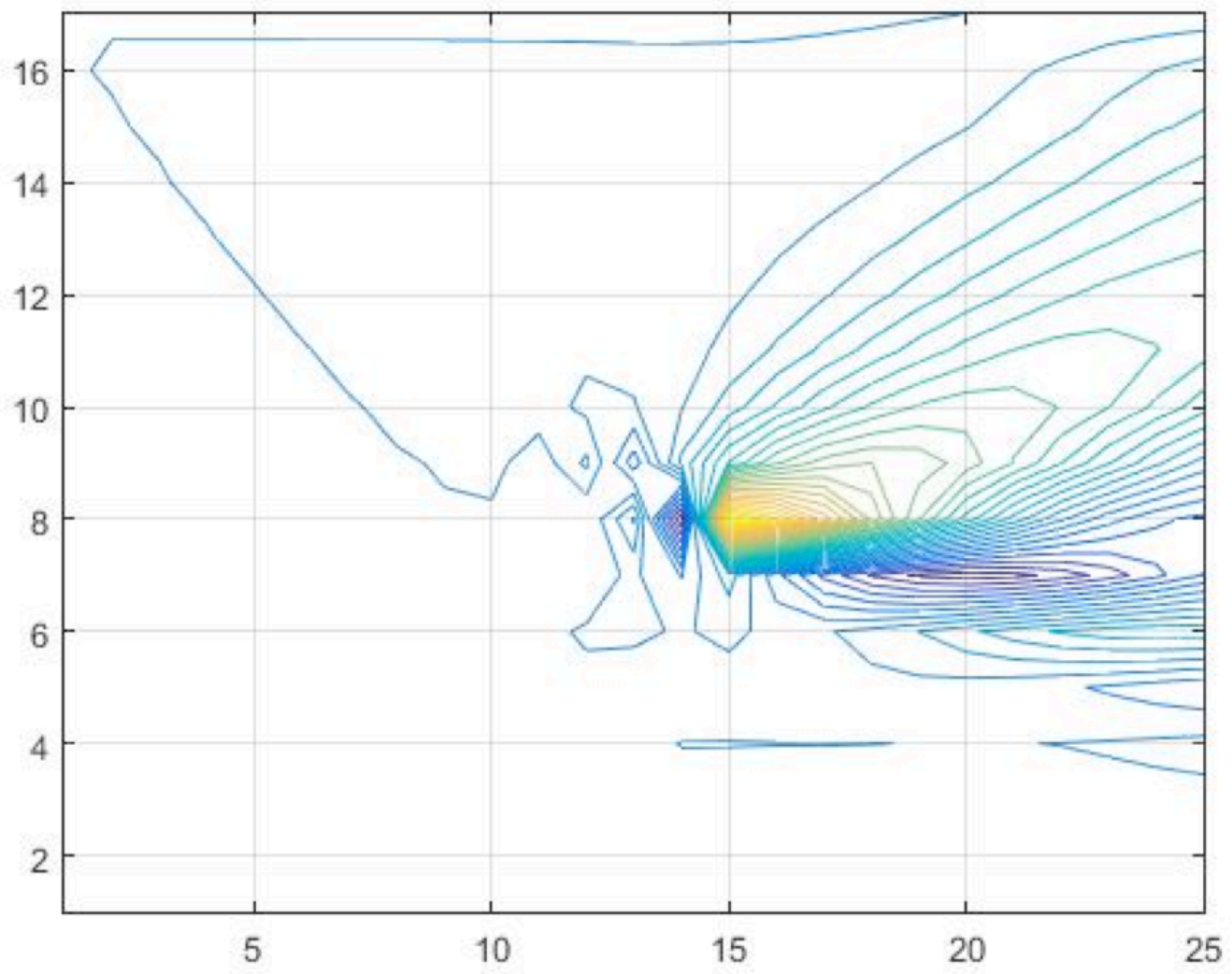


Figura 3: t=10

Figura 3: Transporte de contaminantes na Lagoa da Pampulha, com os parâmetros obtidos, calculados e apresentados com $t = 5$.

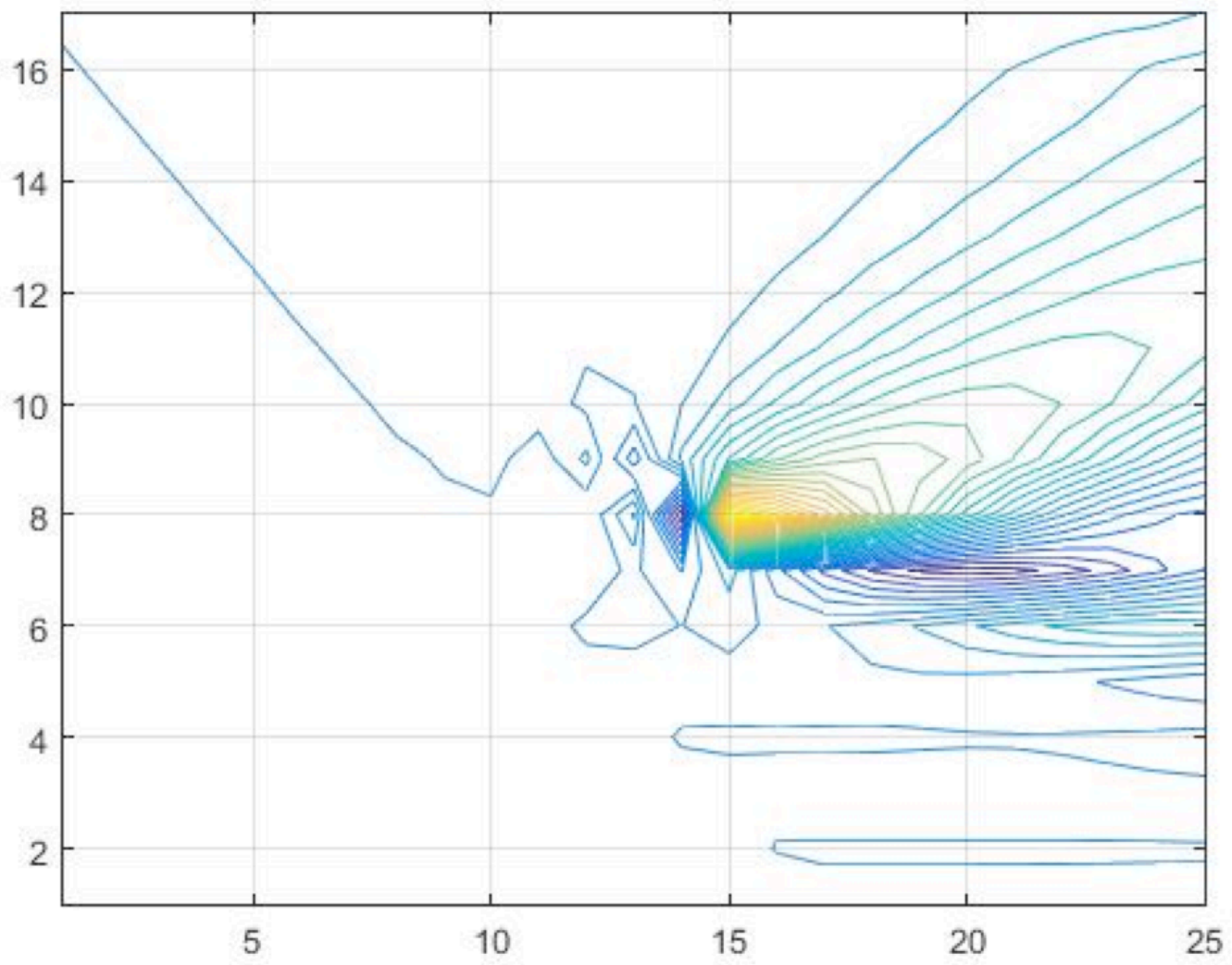


Figura 4: $t=25$

Figura 4: Transporte de contaminantes na Lagoa da Pampulha, com os parâmetros obtidos, calculados e apresentados com $t = 10$.



Figura 5: Transporte de contaminantes na Lagoa da Pampulha, com os parâmetros obtidos, calculados e apresentados com $t = 25$.

Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 é possível observar uma diferença na coloração da pluma que representa a dispersão de um poluente hipotético. Nota-se que as áreas em laranja representam uma maior concentração do poluente quando o tempo final é menor, e que com a ação dos ventos e dos efeitos difusivos o poluente tende a se propagar de forma a abranger uma área maior de menor concentração, representado pela cor azul na pluma.

Comparando a Figura 1 ($t = 1$) com a Figura 4 ($t = 25$) é possível observar a dispersão do poluente na lagoa, com os diferentes valores de tempo. Observa-se, por exemplo, uma área de transição (representado na pluma com a coloração verde) de um meio muito concentrado para um de menor concentração e o surgimento de uma área na cor roxa, em que o nível de poluição é maior que na área em azul e menor que a em verde.

DATA	VELOCIDADE (m/s)	GRAUS	DIREÇÃO
12/07/2016	0,61	191,58	SW
13/07/2016	1,13	95,25	SE
14/07/2016	1,02	142,13	SE
15/07/2016	1,01	195,21	SW
16/07/2016	1,58	201,46	SW
17/07/2016	1,26	207,04	SW
18/07/2016	0,91	167,79	SE
19/07/2016	2,61	90,88	SE
20/07/2016	2,33	112,46	SE
21/07/2016	1,96	131,63	SE
22/07/2016	2,18	105,04	SE
23/07/2016	3,11	91,38	SE
24/07/2016	2,43	85,83	NE
25/07/2016	1,32	115,50	SE
26/07/2016	1,73	85,25	NE
27/07/2016	1,18	149,92	SE
28/07/2016	1,83	108,75	SE

29/07/2016	3,18	96,21	SE
30/07/2016	2,92	100,50	SE
31/07/2016	2,56	92,83	SE
01/08/2016	1,65	110,46	SE
02/08/2016	1,13	116,58	SE
03/08/2016	1,99	108,38	SE
04/08/2016	2,87	97,96	SE
05/08/2016	2,62	86,33	NE
06/08/2016	1,29	89,92	NE
07/08/2016	0,97	148,54	SE
08/08/2016	1,15	121,67	SE
09/08/2016	1,78	166,42	SE
10/08/2016	1,45	177,63	SE
11/08/2016	1,72	174,54	SE
12/08/2016	2,04	104,13	SE
13/08/2016	2,57	108,46	SE
14/08/2016	1,76	134,25	SE
15/08/2016	1,45	204,67	SW
16/08/2016	1,90	201,17	SW
17/08/2016	1,24	206,29	SW
18/08/2016	1,21	103,67	SE
19/08/2016	3,68	94,83	SE

Tabela 1: Velocidade do vento, medido na estação automática de Belo Horizonte, Pampulha – MG, obtido pelo (INMET, 2016)

4. Considerações finais

A lagoa da Pampulha é um importante atrativo da cidade de Belo Horizonte e faz parte do Complexo Arquitetônico da Pampulha. O reservatório, a princípio, tinha como finalidade o abastecimento hídrico da população e que com o passar dos anos passou por um processo de urbanização desenfreada culminando em um forte processo de eutrofização e assoreamento, florações de Cyanobacteria e macrófitas aquáticas (Resk, Bezerra-Neto e Coelho, 2007).

Após a análise dos dados obtidos vê-se que, inicialmente, ao serem disseminados, os poluentes encontram-se dispostos de maneira mais concentrada no local de despejo, representada nas figuras pela área em vermelho. Com o passar do tempo a área de abrangência da contaminação se expande e a concentração inicial diminui. Este fenômeno ocorre pelo fato de que fatores naturais (difusivos) e externos (advectivos) agem sobre a dispersão de tais dejetos no meio líquido, podendo contaminar grande parte do corpo hídrico e tornando-se irreversível a descontaminação do local.

Os resultados apresentados pela simulação do modelo que foram discutidos mostram que ações de investigação usando modelos matemáticos e simulações computacionais que analisem a dispersão de poluentes em meio líquido são essenciais. De fato, pois tais ações podem minimizar os esforços necessários para recuperar uma área poluída por se tratar de um bom resultado aproximado sobre a ação de contaminantes quando dispersos em águas rasas. A minimização desses esforços auxiliará os órgãos públicos responsáveis pelo monitoramento e pela gestão de recursos naturais na tomada de decisões que influenciarão as futuras gerações.

Referências

- [1] A. A. S. Lopes, and L. C. Souza, and J. L. Gomes, J. M. Silva, Modelagem do comportamento dispersivo de material impactante em um lago por meio da Equação de Difusão – Advecção. Revista C&N, Santa Maria v.38 n.2, 2016, Mai.-Ago.p.756-763.
- [2] J. M. da Silva. Sustentabilidade em uma Estrutura de Sistemas Integrados. 2005. 84 p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Laboratório Nacional de Computação Científica, LNCC. Petrópolis, RJ – Brasil, Junho 2005.
- [3] INMET (2016). Instituto nacional de meteorologia. URL <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>.
- [4] Prestes, M. F. B., ao Frederico C. A. Meyer, J., Poletti, E. C. C. (2013). Dispersão de material impactante em meio aquático: modelo matemático, aproximação numérica e simulação computacional - reservatório do salto grande, americana-sp. Biomatemática, 23(1), 43 – 56.
- [5] Resk, R. P.; Bezerra-Neto, J.F.; Coelho, R.M.P. Nova batimetria e avaliação de parâmetros morfométricos da Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, Brasil). Revista Geografias, Belo Horizonte, v.5, p.24-37, 2007.
- [6] Porto, Monica F. A. And Porto, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. Estud. av. [online]. 2008, vol.22, n.63, pp.43-60. ISSN 0103-4014.
- [7] Abril, R. (2016). Como é possível recuperar um rio poluído. URL <http://mundoestranho.abril.com.br/ambiente/como-e-possivel-recuperar-um-rio-poluido/>.

1. computational modeling. 1. Discente do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia – UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil. E-mail: frissoandre@gmail.com

2. Discente do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia – UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil. E-mail: vinicius.sp.foca@gmail.com

3. Discente do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia – UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil. E-mail: angeloalmeida25@gmail.com

4. Discente do curso de Engenharia de Produção – UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil. E-mail: arinos_alves@hotmail.com

5. Docente do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia – UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil. E-mail: jaqueline.silva@ufvjm.edu.br

[\[Índice\]](#)

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]