

## II-566 - ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA NO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO ANAERÓBIAS

**Thiago Emanuel Possmoser Figueiredo Nascimento<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia *campus* de Ji-Paraná.

**João Paulo Papaleo Costa Moreira**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia *campus* de Ji-Paraná.

**Leonardo Rosa Andrade**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia *campus* de Ji-Paraná.

**Eni Alves Dias Mendes Rodrigues**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia *campus* de Ji-Paraná.

**Johannes Gerson Janzen**

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2006). Professor Adjunto II da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua João dos Santos Filho, 58 – Bairro Centro – Ji-Paraná -RO - CEP: 76900-140 -Brasil - Tel: +55 (69) 3421-5587 - e-mail: [emmanueljpa@hotmail.com](mailto:emmanueljpa@hotmail.com).

### RESUMO

As lagoas de estabilização são consideradas a melhor opção para tratamento de esgoto de pequenas e médias comunidades devido à simplicidade, eficiência, flexibilidade e baixo custo de sua construção e operação. Apesar das vantagens em seu emprego, no Brasil, poucos estudos são direcionados para avaliar os aspectos físicos e muitas vezes são utilizados aproximações “caixa-preta”. Entre os aspectos físicos influenciáveis nesses sistemas, pode ser citado o regime hidráulico que por sua vez é influenciado pelas propriedades físicas da água, parâmetros de escoamento e aspectos geométricos. Portanto esse estudo insere no esforço para avaliar a melhor relação comprimento (L) *versus* largura (B) com o intuito de promover a otimização de lagoas de estabilização. Para simulação utilizou-se de ferramenta computacional *Computational Fluid Dynamics* – CFD, ao qual, as equações de conservação de massa, movimento e energia foram discretizadas e resolvidas através de volume de controle. O fechamento da equação de movimento se deu através do modelo k-ε. De maneira geral observou-se em todos os experimentos o aparecimento de zonas mortas, regiões de recirculação contracorrente. O *Bypassing* ocorre da entrada para a saída da lagoa. Notou-se a existência de um caminho preferencial no meio da lagoa e duas zonas mortas localizadas à esquerda e à direita do jato de entrada. As zonas morta e caminhos preferenciais são indesejáveis por alterar o tempo de detenção hidráulico teórico influenciando na eficiência do tratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geometria, Comprimento x Largura, CFD, lagoas de estabilização, Hidrodinâmica.

### INTRODUÇÃO E OBJETIVO

As lagoas de estabilização são consideradas a melhor opção para o tratamento de esgotos domésticos de pequenas e médias comunidades, principalmente em regiões em desenvolvimento, em virtude de sua simplicidade, eficiência, flexibilidade e baixo custo de construção e operação (VON SPERLING, 1996).

Diversos pesquisadores têm desenvolvido modelos, incluindo as variáveis consideradas relevantes, para estabelecer formulação matemática para o projeto de lagoas de estabilização. Apesar dos esforços, o objeto de estudo tem-se mostrado arduo a quantificações definitivas. Um aspecto que tem impedido o desenvolvimento de uma equação matemática geral para o projeto de lagoas de estabilização é a falta de uma abordagem racional que considere todos os processos físicos, químicos e biológicos. Entre os processos físicos mais complexos encontra-se a hidráulica da lagoa, uma vez que esta está sujeita à influência de propriedades físicas da água e dos sólidos, parâmetros do escoamento e parâmetros geométricos da lagoa. É necessário o desenvolvimento de uma abordagem fundamentada através de critérios científicos na determinação de parâmetros de projetos e de condições de funcionamento de lagoas de estabilização, para a otimização do sistema de tratamento, levando em consideração o regime hidráulico, e não mais as aproximações “caixa-preta” utilizadas atualmente. Técnicas modernas de medição e de simulação computacional são capazes de fornecer este avanço (SHILTON, 2001).

No contexto de técnicas de simulação computacional, alguns pesquisadores têm empregado recentemente a ferramenta *Computational Fluid Dynamics* (CFD) para o estudo do comportamento hidrodinâmico interno da lagoa e a sua influência sobre outros processos. A existência de poucos estudos mostra a necessidade de mais trabalhos na área, particularmente no Brasil. CFD é uma ferramenta computacional utilizada para resolver as equações de conservação de massa, calor e quantidade de movimento utilizando técnicas numéricas. A utilização de CFD permite o estudo combinado das diversas variáveis que influenciam o comportamento hidrodinâmico de lagoas de estabilização. Assim, é possível tanto otimizar o funcionamento de lagoas já existentes, através de mudanças geométricas e operacionais, como projetar lagoas otimizadas. Ademais, é possível obter resultados com detalhamento quase ilimitado, de forma não-intrusiva, reduzindo substancialmente o tempo e os custos quando comparados com métodos convencionais. A economia obtida através do uso de CFD, quando comparada com métodos de concepção convencional (no saneamento), chega a ser de 60%.

Neste estudo, é utilizada a ferramenta CFD para avaliar o impacto da geometria da lagoa no seu comportamento hidrodinâmico. Os resultados obtidos permitirão o projeto de lagoas de estabilização mais eficientes. Nota-se assim que o presente estudo se enquadra dentro dos múltiplos esforços que estão sendo realizados no sentido de obter um melhor entendimento dos mecanismos que ocorrem no interior de lagoas de estabilização.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### • Condições Experimentais

Na Tabela 1 são apresentadas as condições experimentais. Foram realizadas quatro simulações com diferentes relações entre o comprimento (L) e a largura (B) da lagoa. A relação L/B está entre 1 e 4. Von Sperling (2002) sugere para dimensionamento de lagoas anaeróbias uma relação L/B entre 1 e 3. O tempo de detenção hidráulico (TDH) foi considerado constante e igual a 3 dias. A recomendação da literatura é que o TDH deve estar entre 3 a 5 dias, para temperaturas acima de 20°C (Nuvolari, 2003). Foi adotada uma profundidade de 4m (Von Sperling, 2002). A velocidade de entrada para as quatro simulações foi mantida constante. Consequentemente, a vazão de entrada (Q) e o diâmetro (D) foram variados.

Tabela 1. Condições experimentais

Lagoa	Comprimento x Largura (m)	V(m <sup>3</sup> )	TDH(d)	Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m)	L/B (m/m)	U(m/s)
1	20x20	1600	3	0,0062	0,01	1	0,9
2	40x20	3200	3	0,0123	0,015	2	0,9
3	60x20	4800	3	0,0185	0,02	3	0,9
4	80x20	6400	3	0,0247	0,02	4	0,9

### • CFD

CFD é uma poderosa ferramenta utilizada para aperfeiçoar projetos ou avaliar opções de otimização antes e após a execução do projeto. Essa ferramenta de modelação pode ser utilizada para simular escoamentos permanentes ou transitórios de um ou mais fluidos, em até três dimensões espaciais (JANZEN et al., 2007). Na ferramenta CFD, as equações, da conservação da quantidade de movimento, conservação da massa e da energia, são discretizadas e resolvidas iterativamente para diversos volumes de controle. Como resultado, uma aproximação do valor de cada variável em pontos específicos dentro do domínio é obtida. Para o “fechamento” das equações da quantidade de movimento foi utilizado o modelo k-ε (Shilton, 2001). Nas paredes, foi utilizada como condição de contorno a condição de não-deslizamento. Na entrada, foi especificada a vazão. Na superfície foi adotada a condição de superfície plana em que as diferentes grandezas não apresentam gradientes normais à superfície. O domínio computacional está indicado na Figura 1. A entrada está localizada na “esquerda” do domínio e a saída na “direita” do domínio.

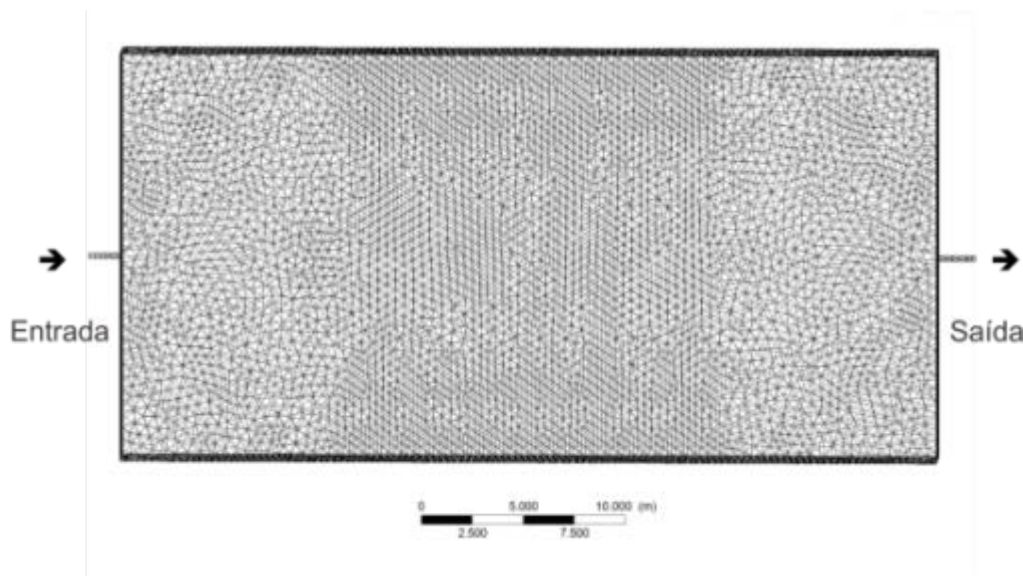


Figura 1. Domínio computacional da lagoa (para  $L/B=2$ ).

## RESULTADOS

As Figuras ( 2, 3, 4, 5) mostram os mapas de contorno da velocidade instantânea e linhas de corrente, no plano  $z = 2$  m para as  $L/B = 1$ ,  $L/B = 2$ ,  $L/B = 3$  e  $L/B = 4$ , respectivamente. De maneira geral, nota-se a existência, na parte “inferior” e “superior” da lagoa, de zonas mortas, regiões de circulação contracorrente. Nas regiões de circulação são encontradas velocidades extremamente baixas que favorecem a sedimentação. Bypassing ocorre da entrada para a saída nos quatro experimentos. Esse é o padrão de escoamento usualmente esperado quando a entrada e a saída estão posicionadas no meio da “largura” da lagoa (Shilton, 2001). Apesar de para as diferentes condições experimentais o comportamento hidrodinâmico ser aproximadamente similar, há algumas diferenças. Para  $L/B = 1$ , ocorre a formação de quatro vórtices de grande escala, incluindo dois vórtices um pouco acima e abaixo da saída da lagoa, e, dois vórtices principais no centro da lagoa. No experimento 2, para  $L/B = 2$ , é possível avaliar a existência de vários vórtices na lagoa. Para  $L/B = 3$ , ocorre a forma de três vórtices de grande escala, incluindo um vórtice principal na região esquerda do centro e dois vórtices na região direita do centro. Finalmente, para  $L/B = 4$ , ocorre um vórtice principal, próximo da região central da lagoa, e vórtices secundários ao redor do vórtice principal. Os resultados obtidos mostram que a geometria da lagoa influencia o seu tempo de detenção real.

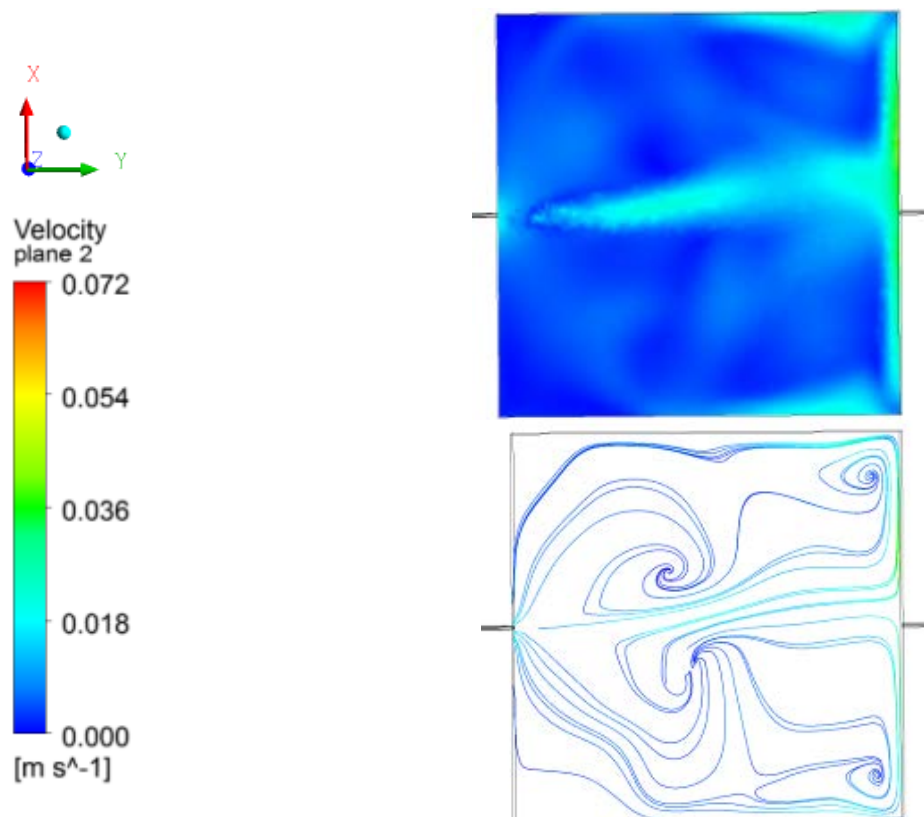


Figura 2. Distribuição de velocidade instantânea para  $z = 2\text{m}$  para  $L/B = 1$

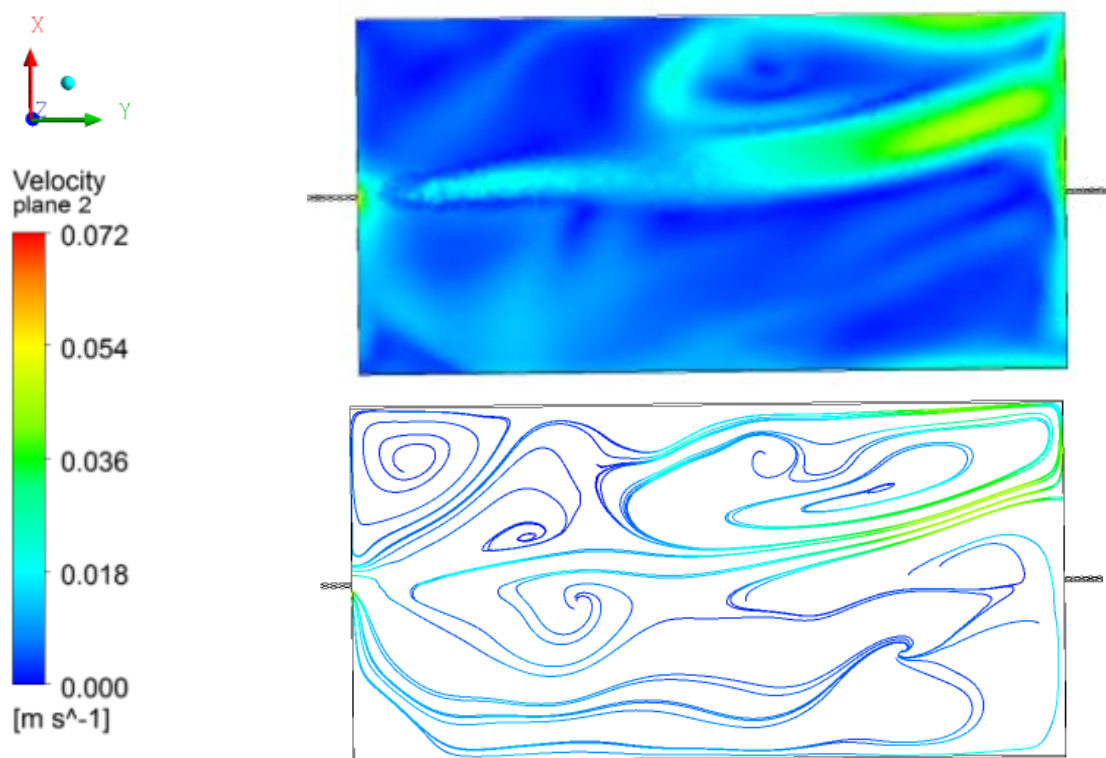


Figura 3. Distribuição de velocidade instantânea para  $z = 2\text{m}$  para  $L/B = 2$



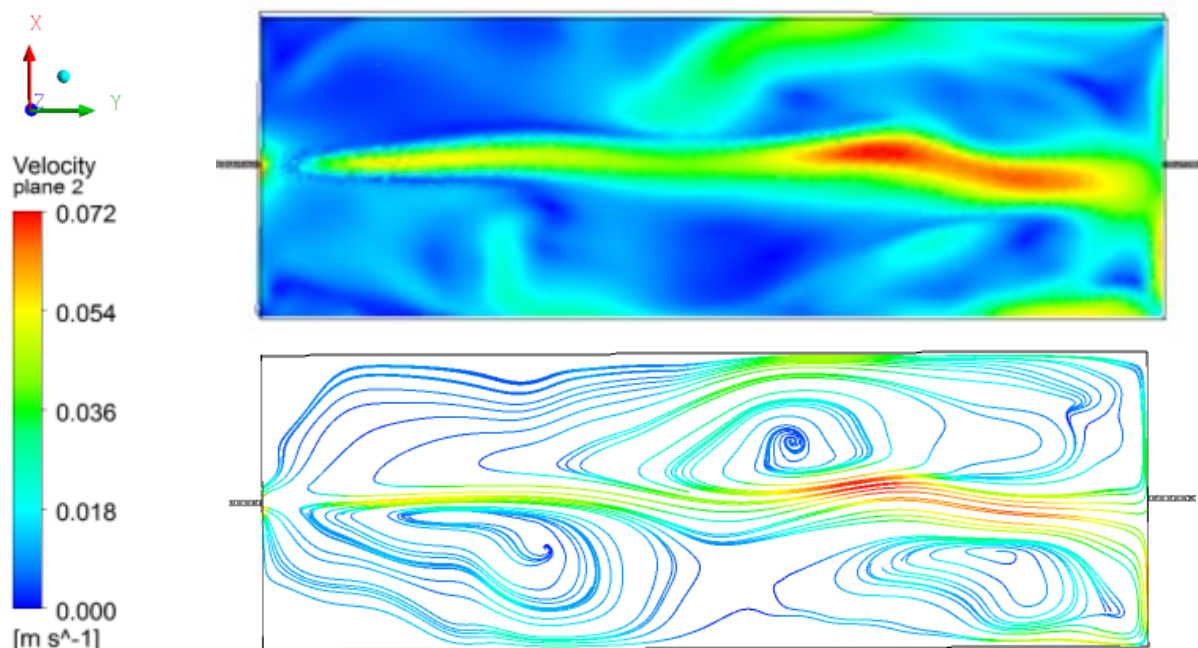


Figura 4. Distribuição de velocidade instantânea para  $z = 2\text{m}$  para  $L/B = 3$

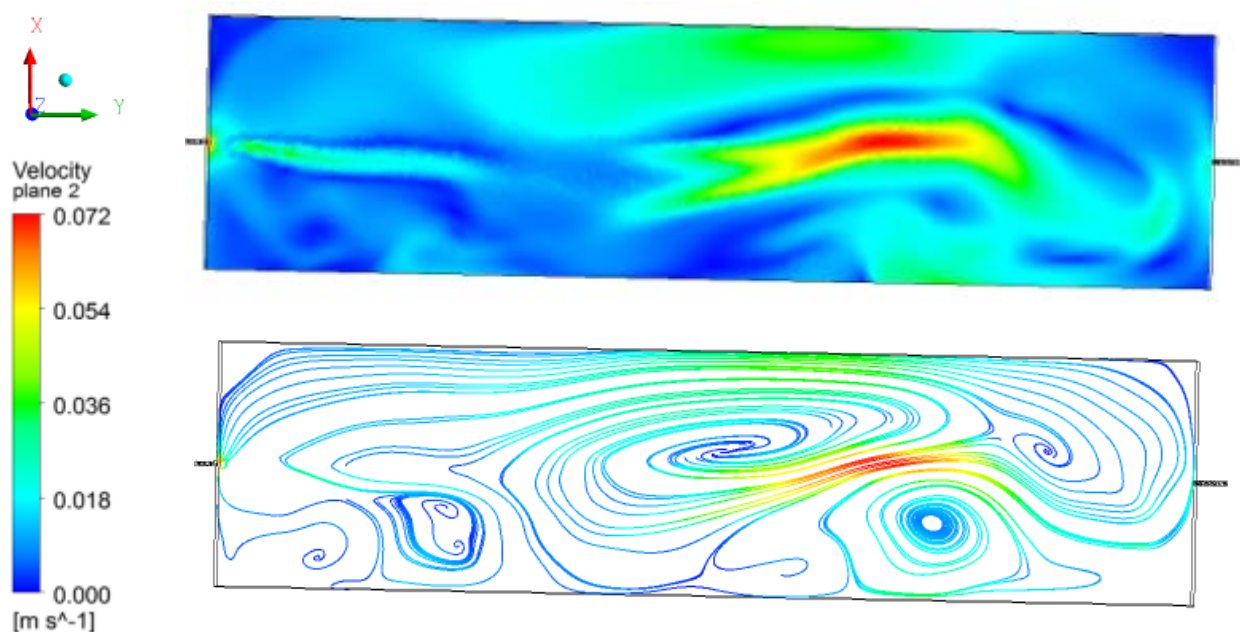


Figura 5. Distribuição de velocidade instantânea para  $z = 2\text{m}$  para  $L/B = 5$

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta CFD é uma ferramenta valiosa para auxiliar o engenheiro no projeto e operação de lagoas de tratamento. Neste estudo, a ferramenta CFD foi utilizada para estudar o efeito da geometria no comportamento hidrodinâmico de lagoas de estabilização anaeróbias. Através das simulações foi possível avaliar qualitativamente as zonas mortas e caminhos preferenciais existentes no interior da lagoa. Os resultados apontam para a existência de um caminho preferencial no meio da lagoa e duas zonas mortas localizadas à esquerda e à direita do jato de entrada. As zonas mortas e caminhos preferenciais alteram o tempo de detenção hidráulico teórico influenciando a eficiência do tratamento.

## **AGRADECIMENTOS**

Presta-se o agradecimento a Vinicius Alexandre S. Souza pela monitoria prestada para a realização das simulações. Ao qual se dedica a realização desse trabalho.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. NUVOLARI, A. Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
2. SHILTON, A. Studies Into the Hydraulics of Waste Stabilisation Ponds. New Zealand: MU. Teses (Pós-Doutorado em Philosophy ), Massey University, 2001.
3. SILVA FILHO, P. A. da. Diagnóstico Operacional de Lagoas de Estabilização. Natal: UFRN, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 20007.
4. VON SPERLING, M. Lagoas de Estabilização. 2 Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2002.