

II-562 - MODELAGEM HIDRODINÂMICA E DA REMOÇÃO DE *ESCHERICHIA COLI* DE UMA LAGOA DE MATURAÇÃO

Silvano Porto Pereira⁽¹⁾

Biólogo, mestre e doutor em Engenharia Civil, área de Concentração Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Coordenador de P&D da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

Paulo Cesar Colonna Rosman

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mestre pela COPPE/UFRJ e Ph.D. pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT). Professor adjunto da COPPE/UFRJ.

Elder Sandro Porto dos Santos

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Ronner Braga Gondim

Engenheiro Civil pela UFC, mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Técnica de Lisboa. Engenheiro Civil da CAGECE.

Carlos Adler Saraiva Paiva

Engenheiro Químico pela UFC. Técnico em Química da CAGECE

Endereço⁽¹⁾: Rua Tomás Lopes, 85 – Praia de Iracema - Fortaleza - CE - CEP: 60060-260 - Brasil - Tel: (85) 3101-1895 - e-mail: silvanopereira@terra.com.br

RESUMO

Dentre os sistemas de lagoa de estabilização, o processo de lagoas de maturação é utilizado para redução de patógenos, nas quais as ações de predação e competição da microbiota, associadas a condições físicas e químicas do ambiente, respondem pelo decaimento destes microrganismos. A modelagem computacional é uma ferramenta integradora, sem a qual dificilmente se consegue uma visão dinâmica dos processos complexos próprios dos sistemas ambientais. Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver modelos computacionais para simulação do comportamento da hidrodinâmica e da remoção de *Escherichia coli* em uma lagoa de maturação chicanada. A região modelada foi delimitada a partir imagens georreferenciadas do *Google Earth*, de uma lagoa de maturação real, enquanto a batimetria foi adotada como sendo constante, correspondendo à profundidade prevista em projeto (1,5m) e área superficial de 6.873 m². Foi adotada uma malha com 615 elementos biquadráticos e 2.689 nós. Os modelos utilizados para modelagem da hidrodinâmica e da remoção de *E. coli* na região de interesse fazem parte do SisBaHiA[®], sendo usados os modelos bidimensionais hidrodinâmicos, de transporte Euleriano e de transporte Lagrangeano. O modelo representou bem o comportamento geral da lagoa de maturação, apresentando velocidades de escoamento compatíveis com a escala da lagoa e resultados bastantes satisfatórios, também produzindo um excelente efluente com concentração final de *E. coli* abaixo de 100 NMP/100mL.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas de Maturação, Modelagem Computacional, Decaimento Bacteriano.

INTRODUÇÃO

Lagoas de estabilização são sistemas de tratamento de águas residuárias amplamente utilizados em todo mundo, proporcionando diversos benefícios ao meio ambiente e à saúde pública. Esse tipo de sistema é utilizado com sucesso e com grandes vantagens, por ter grande simplicidade operacional e uma boa eficiência na remoção de poluentes (PASSOS, 2012). São sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica se dá pela oxidação bacteriológica, seja ela aeróbia ou anaeróbia, e/ou redução fotossintética pelo fitoplâncton. De acordo com a forma predominante pela qual se dá esta estabilização, as lagoas costumam ser classificadas em: anaeróbias, facultativas, estritamente aeróbias, de maturação, de polimento, aeradas e com macrófitas (JORDÃO, PESSOA, 2011).

As lagoas de maturação são usadas ao final de um sistema clássico de lagoas de estabilização, com o intuito de reduzir organismos patogênicos como bactérias, vírus, cistos e protozoários e ovos de helmintos (JORDÃO, PESSOA, 2011). Nelas as ações de predação e competição da microbiota, associadas a condições físicas e

químicas do ambiente, respondem pela remoção dos patógenos. Geralmente projetadas com pequenas profundidades, as lagoas de maturação podem atingir elevadas eficiências na remoção de microrganismos. Bactérias e vírus são removidos ou inativados, principalmente, em razão da exposição prolongada à radiação solar, pH alcalino e elevados valores de oxigênio dissolvido. Tais fatores estão associados à atividade fotossintética das algas (CURTIS *et al.*, 1992).

A necessidade da aplicação de modelos computacionais para estudos, projetos e auxílio à gestão de recursos hídricos é inquestionável, face à complexidade do ambiente em corpos de água naturais ou não. Modelos são ferramentas integradoras, sem as quais dificilmente se consegue uma visão dinâmica de processos nestes complexos sistemas ambientais (Feitosa e Rosman, 2007). Uma de suas aplicações envolve previsão e análise de fenômenos físicos ou físico-químicos que ocorrem em escoamentos de fluidos, relacionados com a ação e a interação de fatores como dissipação, difusão, convecção, interações com superfícies, condições de contorno e turbulência (PASSOS, 2012).

Com a introdução da fluidodinâmica computacional (CFD) para previsão de padrões de fluxo em lagoas de estabilização, o seu interesse tem crescido, especialmente associado a aplicações práticas. Neste sentido, há uma série de estudos descrevendo a utilidade de CFD como uma ferramenta para a melhoria da concepção e avaliação hidráulica destes sistemas (ALVARADO, *et al.* 2011). No entanto, Shilton 2008, relata que, as contribuições científicas são limitadas e existentes no que diz respeito à validação adequada dos modelos de CFD em relação aos dados experimentais em sistemas de grande escala.

No trabalho desenvolvido por Passos em 2012 é relatado o quanto a modelagem hidrodinâmica demonstrou ser bastante útil na avaliação das condições de lagoas de estabilização. A partir do modelo, foi possível verificar a ocorrência de curtos-circuitos, zonas mortas, zonas de recirculação e vórtex, dispersão de constituintes e uma estimativa mais próxima da realidade do tempo de detenção hidráulico nas lagoas.

Von Sperlig 1998, fala que naturalmente mais estudos são sempre necessários, a fim de confirmar ou ajustar os modelos derivados. É importante salientar que qualquer estudo de modelagem, principalmente no decaimento de coliformes deve apresentar explicitamente informações básicas, que nem sempre estão incluídos na maioria dos artigos. As informações mínimas exigidas são: regime de fluxo adotado, dados físicos da lagoa (comprimento, largura, profundidade), temperatura e vazão.

OBJETIVO

Avaliar a hidrodinâmica e a remoção de *Escherichia coli* em uma lagoa de maturação chicanada, por meio do uso de modelagem computacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os modelos utilizados para modelagem da hidrodinâmica e da remoção de *E. coli* na região de interesse fazem parte do SisBaHiA[®] - Sistema Base de Hidrodinâmica Aplicada. Para tanto foram usados os modelos hidrodinâmicos bidimensionais, de transporte Euleriano e de transporte Lagrangeano. Embora a ferramenta permitisse a simulação de escoamentos 3D, optou-se pelo modelo 2DH devido às baixas profundidades e homogeneidade vertical da lagoa.

REGIÃO MODELADA

A região modelada (Figura 1) foi delimitada a partir de imagens georreferenciadas do *Google Earth*, de uma lagoa de maturação real, enquanto a batimetria foi adotada como sendo constante, correspondendo à profundidade prevista em projeto (1,5m). Conforme Figura 1, a lagoa possui 3 chicanas e dimensões de 77m por 94m, implicando em um volume de 10.857 m³. Foi adotada uma malha com 615 elementos biquadráticos e 2.689 nós.

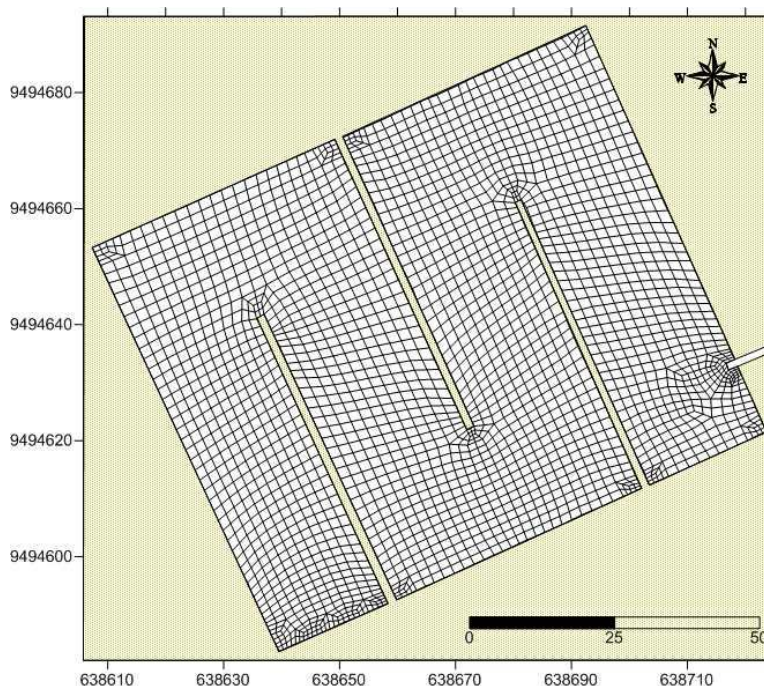


Figura 1 - Domínio de modelagem, incluindo malha e chincanas.

VAZÃO E CONCENTRAÇÃO AFLUENTE DE ESCHERICHIA COLI

Para a vazão afluyente foram utilizados os valores de vazão constante correspondentes à vazão de projeto ($0,0225 \text{ m}^3/\text{s}$) da estação. Foi considerada uma concentração de *Escherichia coli* presente na entrada da lagoa: $1 \times 10^5 \text{ NMP}/100\text{mL}$, representando uma capacidade de remoção de *E. coli* da unidade à montante da lagoa de maturação de 2 log, para um esgoto bruto típico de $10^7 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$.

DECAIMENTO BACTERIANO

Dentre os agentes responsáveis pelo decaimento bacteriano, a foto-oxidação induzida pela radiação solar se mostra como o mais importante. A morte celular pela radiação UV é causada, principalmente, por sua ação sobre o DNA, sendo a faixa de 260nm a mais efetiva. A concentração de certa substância presente em um corpo de água, em um dado instante de tempo, depende das reações cinéticas de produção e consumo às quais ela está submetida. Pela Lei de Chick a relação entre a concentração de determinada população de bactérias (C) e o tempo é dado por:

$$dC/dt = -kC, \text{ cuja solução analítica é } C = C_0 e^{-kt}$$

Neste trabalho o decaimento bacteriano foi considerado constante ao longo do dia, utilizando-se a relação apresentada von Sperling (2007) corrigida para a temperatura local (30°C): $K_{bT} = (0,542H^{-1,259}) * 1,19^{(T-20)}$. Uma vez que a profundidade da lagoa em estudo é de 1,5m, o coeficiente de decaimento adotado foi de 1,84/dia.

DADOS DE VENTO

Usou-se como forçante meteorológica um vento médio permanente e uniforme de $3,1 \text{ m/s}$ e 96° , obtido a partir do histórico dos últimos 12 meses disponibilizado pelo Sistema Integrado de Dados Ambientais (<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>).

RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 2 mostra o comportamento das velocidades ao longo da lagoa em situação estacionária. A circulação na área de estudo é dominada por baixas velocidades, com média em torno de $0,0007 \text{ m/s}$ ($2,6 \text{ m/h}$), com exceção da entrada ($0,01 \text{ m/s}$) e saída da lagoa e em alguns pontos próximos à primeira chicana devido à convergência do fluxo (Figura 2).

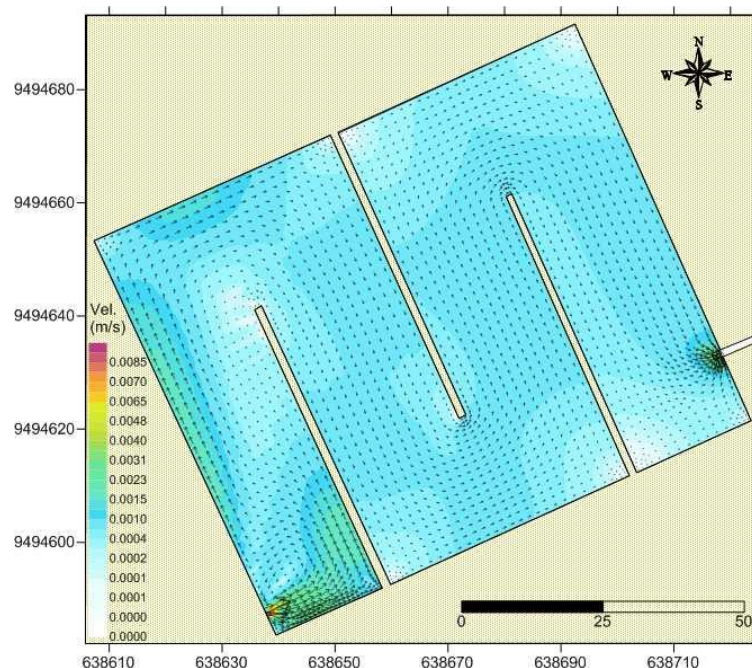


Figura 2 – Comportamento típico das correntes da área sob ação de uma vazão afluyente de 0,0225m³/s.

Uma vez que, para os volumes e vazões indicadas, a lagoa possui um Tempo de Detenção Hidráulico (TDH) de 5,58 dias, simulou-se no modelo de transporte a renovação da água desta lagoa durante um período equivalente ao TDH, chegando-se às taxas de renovação mostradas na Figura 3, a qual mostra que apenas pouco mais de 60% da água é renovada na saída da lagoa decorridos os 5,58 dias (Figura 3).

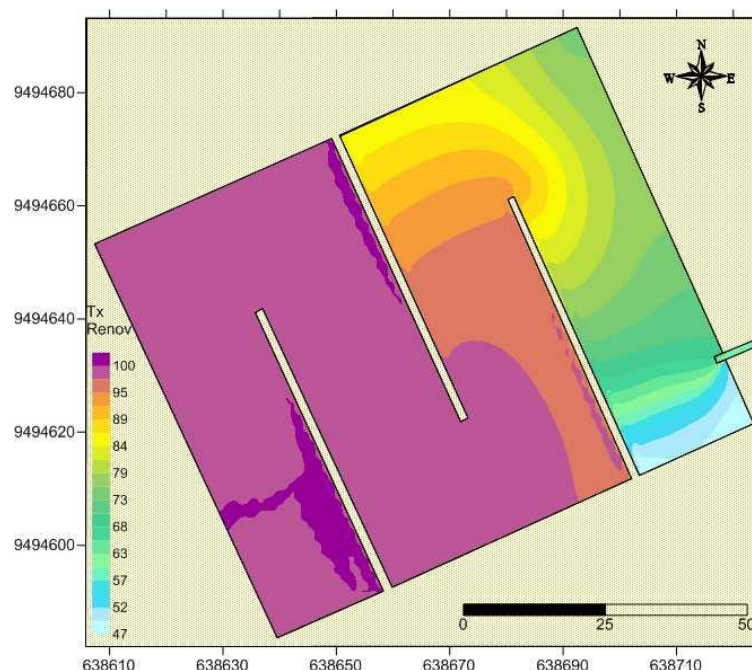


Figura 3 – Taxas de renovação de água decorrido o Tempo de Detenção Hidráulica equivalente (5,58 dias).

A Figura 4 mostra a distribuição dos tempos de residência na lagoa, encontrando-se áreas com mais de 8 dias de tempo de residência e cerca de 50 % da área da lagoa com 5 dias de tempo de residência, correspondendo ambos os casos ao segmento inicial da lagoa onde há formação de pequenos vórtices e uma maior

homogeneização da massa d'água indicando um comportamento próximo a um tanque de mistura completa (Figura 2).

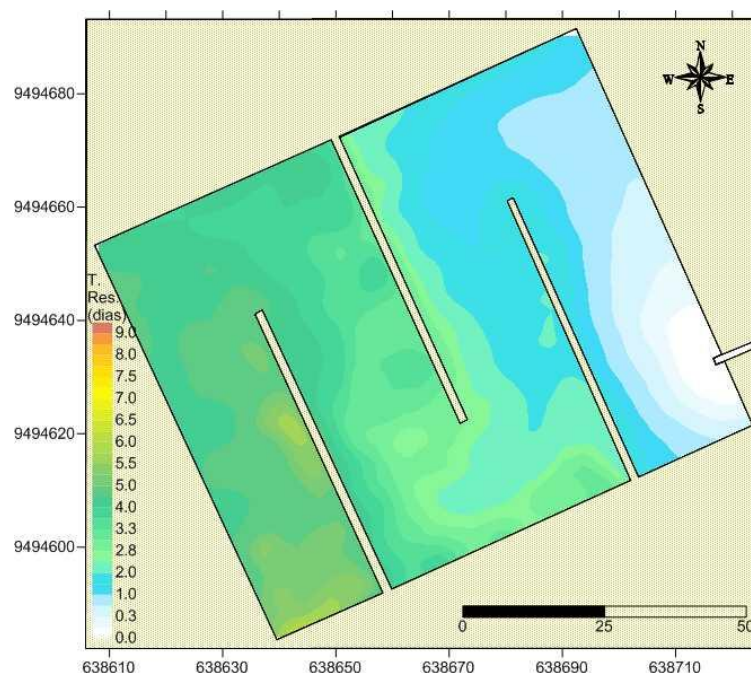


Figura 4 – Distribuição dos tempos de residência na lagoa de maturação.

Quanto à qualidade bacteriológica do efluente, observa-se na Figura 5 que a lagoa produz um excelente efluente com concentração final de *E. coli* abaixo de 100 NMP/100mL. Tais resultados podem ainda ser melhores caso se leve em consideração as condições de forte insolação local. Esta hipótese será testada ao longo do projeto quando da inclusão e validação de modelo de decaimento que incorpore variáveis ambientais locais, como o usado por Feitosa e Rosman (2007), utilizando-se o modelo proposto por Mancini (1978) e levando em consideração a radiação solar obtida de estação meteorológica instalada na região, com estimativas da extinção da luminosidade ao longo da coluna d'água obtidas pela profundidade de Secchi da lagoa. Aliado a isto, serão testados e propostas outras configurações de lagoas e posição das chicanas, a exemplo de Olukanni e Ducoste (2011), de modo a reduzir a área necessária com manutenção de uma adequada eficiência do tratamento.

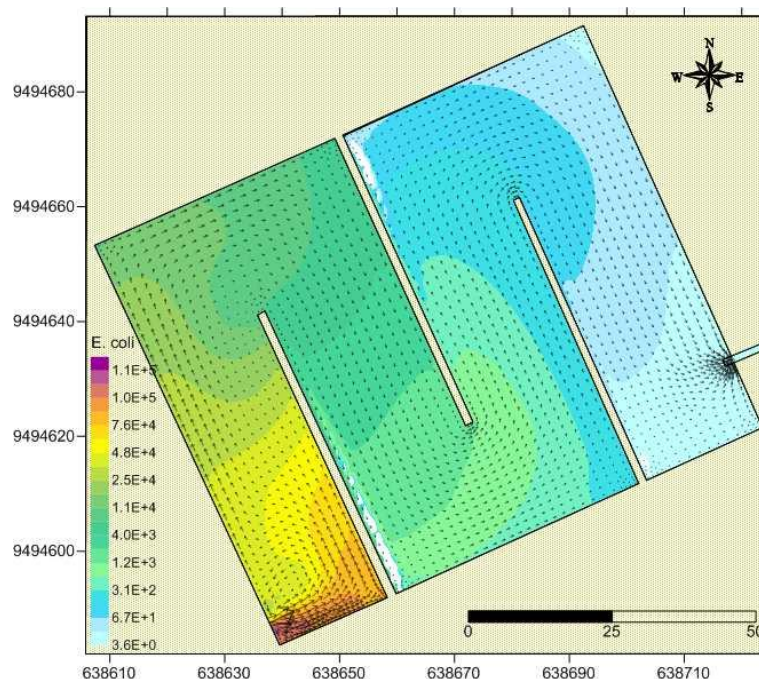


Figura 5 – Distribuição de *E. coli* ao longo da lagoa a partir de um afluente com concentração de 10⁵ NMP/100mL .

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo representou bem o comportamento geral da lagoa de maturação, apresentando velocidades de escoamento compatíveis com a escala da lagoa e resultados bem satisfatórios quanto à remoção de *E. coli*. Uma vez que a distribuição das taxas de renovação indicou a existência de área com comportamento semelhante a tanque de mistura completa, há possibilidade de otimização da geometria da lagoa de modo a reduzir seu tamanho, mantendo uma eficiência de tratamento semelhante. Novas simulações devem ser realizadas incorporando-se dados de vento e taxas de decaimento bacteriano estimados para as condições ambientais locais, além de geometrias otimizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVARADO, A.; VEDANTAM, S.; GOETHALS, P.; NOPENS, I.; A Compartmental Model to Describe Hydraulics in Full-scale Waste Stabilization Pond. SciVerse ScienceDirect. 2011
2. CURTIS, T. P.; MARA, D. D.; SILVA, S. A. Influence of pH, oxygen, and humic substances on ability of sunlight to damage faecal coliforms in waste stabilization pond water. Applied and Environmental Microbiology, Stockholm, v. 58, n. 4, p. 1335-1343, 1992.
3. FEITOSA, R. C.; ROSMAN, P. C. C. Emissários Submarinos de Esgoto: Aspectos de Qualidade de Água e Modelagem Computacional. Métodos Numéricos em Recursos Hídricos, v. 8. p.209, 2007. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
4. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A.. Tratamento de Esgotos Domésticos, ed.6, 2011. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
5. MANCINI, J. L. Numerical estimates of coliforms mortality rates under various conditions. Journal Water Pollution Control Fed, v. 50, n. 11, p. 2477–2484, 1978.
6. OLUKANNI, D. J; DUCOSTE, J.J. Optimization of waste stabilization pond design for developing nations using computational fluid dynamics. Ecological Engineering, 17, p. 1878–1888, 2011.
7. PASSOS, R. G, Avaliação de Desempenho de Lagoas de Estabilização por Meio de Dados de Monitoramento e Modelagem em Fluidodinâmica Computacional (CFD). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Dissertação, Belo Horizonte-2012.

8. SHILTON, A; KREEGHER,S; GRIGG, N; Comparison of Computation Fluid Dynamics Simulation Against Tracer Data From a Scale Model and Full-sized Waste Stabilization Pond. Journal of Environmental Engineering-Asce 134. 2008.
9. VON SPERLING, M. Performance Evaluation and Mathematical Modelling of Coliform Die-off in Tropical and Subtropical Waste Stabilization Ponds. Pergamon 1998
10. VON SPERLING, M. Princípio do Tratamento Biológicos de Águas Residuárias. Vol. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005. 452 p.