



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA HIDRODINÂMICA NO PERFIL DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO ANAERÓBIA DA AMAZÔNIA OCIDENTAL: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE CACOAL – RO

Sandra Ferronato Francener¹; Vinicius Alexandre Sikora de Souza²; Edilene da Silva Pereira³
Gunther Brucha⁴; Alexandre Silveira⁵

RESUMO

Este estudo objetivou verificar a influência do comportamento hidrodinâmico, obtido através da ferramenta de *Computational Fluid Dynamics* (CFD), no perfil da remoção de matéria orgânica na lagoa de estabilização anaeróbia da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) sanitário da cidade de Cacoal, Estado de Rondônia. Os ensaios de DQO foram realizados em triplicata, seguindo metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). Para simulação do comportamento hidrodinâmico da lagoa de estabilização anaeróbia da Estação de Tratamento de esgoto sanitário da cidade de Cacoal, foi utilizado um software CFD (Fluidodinâmica Computacional), que emprega o método dos volumes finitos. Constatou-se no que se refere ao perfil de remoção da matéria orgânica, a existência de uma instabilidade na zona de entrada da lagoa, gerada possivelmente pela presença de zonas de recirculação presentes nessa região, enquanto que nas zonas intermediária e de saída verifica-se uma relativa homogeneidade, influenciado pelo fluxo menos pistonado que possibilita uma mistura completa.

Palavras-Chave: Eficiência Hidrodinâmica; Fluidodinâmica Computacional; Demanda Química de Oxigênio.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PROFILE HYDRODYNAMIC REMOVAL OF ORGANIC MATTER IN ANAEROBIC LAGOON OF STABILIZATION OF THE WESTERN AMAZON : SEWAGE TREATMENT PLANT HEALTH OF CACOAL- RO

ABSTRACT

This study aimed to verify the influence of hydrodynamic behavior , obtained through the tool of *Computational Fluid Dynamics* (CFD) , the profile of organic matter removal in anaerobic stabilization pond of Sewage Treatment Plant (WWTP) health Cacoal City , State Rondônia . COD tests were performed in triplicate, following the method described in *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). To simulate the hydrodynamic behavior of the anaerobic stabilization pond treatment plant sewage from the city of Cacoal, we used a software CFD (*Computational Fluid Dynamics*), which employs the finite volume method. It was noted with regard to the profile of removal of organic matter , the existence of an instability in the entry zone of the pond, possibly generated by the presence of recirculation zones present in this region , whereas in the intermediate zones and exit is verified relatively homogeneous , less influenced by the flow slug allowing complete mixing .

Keywords: Hydrodynamic Efficiency , *Computational Fluid Dynamics* , Chemical Oxygen Demand.

1 Mestranda em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela Universidade Federal do Paraná, Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

2 Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR. Endereço: Rua Ipiranga, 104, Ap. 202, Bairro Laranjeira, Rio de Janeiro – RJ, CEP: 22231-120

3 Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

4 Professor Adjunto II do Instituto de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos.

5 Professor da Universidade Federal de Alfenas, Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto sanitário, segundo Matsumoto e Takeuti (2002), consiste basicamente na modificação de suas características físico-químicas e biológicas, de tal forma que possam ser lançados em corpos receptores dentro dos padrões exigidos pelos órgãos de controle de poluição ambiental, ou ainda, serem reutilizados. Dentre as várias tecnologias de tratamento de esgotos disponíveis, no Brasil, as lagoas de estabilização são amplamente utilizadas. Monteggia; Além Sobrinho (1999) atribuem tal fato às condições climáticas favoráveis, à simplicidade operacional e ao baixo custo de implantação e operação, além de apresentar eficiência satisfatória em condições ambientais adequadas.

Como variante dessa forma de tratamento as lagoas anaeróbias são definidas por Kato *et al.* (1999) como reatores abertos de grandes dimensões, com baixa carga orgânica aplicada e tempo de retenção celular alto. Nestas, ocorrem os processos biológicos de digestão anaeróbia, na qual a matéria orgânica afluenta é convertida principalmente a metano (CH₄) e Dióxido de Carbono (CO₂).

Blouin *et al.* (1988) ressaltam que o tratamento biológico nas lagoas anaeróbias

é normalmente projetado para a biodegradação máxima da matéria orgânica das águas residuárias.

Nessa concepção, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) se apresenta como um indicativo da eficiência desse sistema de tratamento, pois o mesmo é um parâmetro usado para mensurar a quantidade de oxigênio consumida durante a oxidação química de todas as substâncias oxidáveis presentes no esgoto, sendo dessa forma um indicador indireto da matéria orgânica (IMHOFF, 1996; BUENO, 2011).

Embora esses sistemas são denominados de simples instalação e operação como explicitado anteriormente, Shilton (2001) ressalta no entanto, que os mecanismos envolvidos no tratamento e estabilização da matéria orgânica são tão complexos como nos demais sistemas de tratamento.

Diversos pesquisadores têm desenvolvido modelos, incluindo as variáveis consideradas relevantes, para estabelecer formulação matemática para o projeto de lagoas de estabilização, dentre os quais se destacam: Nameche; Vasel (1998); Abbas *et al.* (2006). Apesar dos esforços, o objeto de estudo tem-se mostrado arduo a quantificações definitivas. Nameche; Vasel (1998) destacam que 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 e importantes, que geralmente não são considerados nas equações preditivas, encontra-se a hidráulica da lagoa, uma vez que conforme Torres *et al.* (1999) e Abbas *et al.* (2006), a mesma está sujeita à influência de fatores hidrológicos, geométricos e dinâmicos, entre outros. A maioria das equações de projeto não considera as diferenças na eficiência hidráulica devido a diferentes configurações de entrada e saída, geometria e chicanas.

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. Para Shilton (2001), as ferramentas de simulação computacional fornecem este avanço.

Muitos estudiosos 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, dentre os quais destacam-se: Wood *et al.* (1996); Shilton (2001); Shilton; Mara (2005); Banda *et al.* (2006).

A existência de poucos estudos mostra a necessidade de mais trabalhos na área, particularmente no Brasil. Nesse sentido, o CFD que é uma ferramenta computacional utilizada para resolver as equações de conservação de massa, calor e quantidade de movimento utilizando técnicas numéricas permite o estudo combinado das diversas variáveis (físicas, hidrológicas, geométricas e dinâmicas) que influenciam o comportamento hidrodinâmico das lagoas de estabilização. Assim, é possível tanto otimizar o funcionamento de lagoas já existentes, através de mudanças em sua configuração, como projetar lagoas otimizadas.

O objetivo deste estudo é verificar a influência do comportamento hidrodinâmico, obtido através da ferramenta de *Computational Fluid Dynamics* (CFD), no perfil da remoção de matéria orgânica na lagoa de estabilização anaeróbia da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) sanitário da cidade de Cacoal, Estado de Rondônia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do local de coleta

O município de Cacoal possui área de aproximadamente 3.792,805 Km² e população de 78.574 habitantes (IBGE, 2010), se situa na porção centro-leste do Estado de Rondônia (FIGURA 1), sendo a sua sede administrativa às margens da BR 364 a aproximadamente 480 km da capital – Porto Velho. Localizado na região hidrográfica do Amazonas possui características climáticas típicas da mesma, conforme o último Boletim Climatológico de Rondônia, desenvolvido com dados coletados em 2008, Cacoal/RO apresenta temperatura média anual de 25 °C, variando de 20,7 °C a 31,3 °C e no mesmo ano a precipitação pluviométrica foi de 2008,8 mm (RONDÔNIA, 2010).

A ETE de Cacoal/RO está localizada sob as coordenadas geográficas: 16°26'55.87"S, 68°28'20.24"O e 170 metros de altitude (Figura 1). É composta por: lagoas anaeróbias e facultativas. A lagoa anaeróbia em estudo recebe uma carga de 800 ml/s de efluente a ser tratado. Além disso, tal sistema possui uma estrutura atípica para lagoas anaeróbias, tanto pelo seu formato que não é retangular, quanto pela presença de chicanas que é comumente empregada em

lagoas facultativas. Na data da coleta de amostras, a mesma estava operando como unidade principal desse sistema há aproximadamente 04 meses.

A coleta de amostras foi realizada em maio de 2010, com auxílio de garrafa coletora nas caixas de entrada e saída, e em 21 pontos da lagoa, sendo: 07 na zona de entrada em seção transversal entre a chicana e a margem esquerda; 07 na zona intermediária entre a chicana e a margem direita; e 07 na zona de saída (Figura 1).

Análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os ensaios de DQO foram realizados em triplicata, seguindo metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

O método usado na determinação da concentração é o espectrofotométrico pelo qual a DQO é quantificada através da produção de íons Cr³⁺ de coloração azul. Na determinação dessa concentração os ensaios são aquecidos em digestor a 150°C por 02 horas e a leitura realizada em espectrofotômetro sob o comprimento de onda de 620 nm.

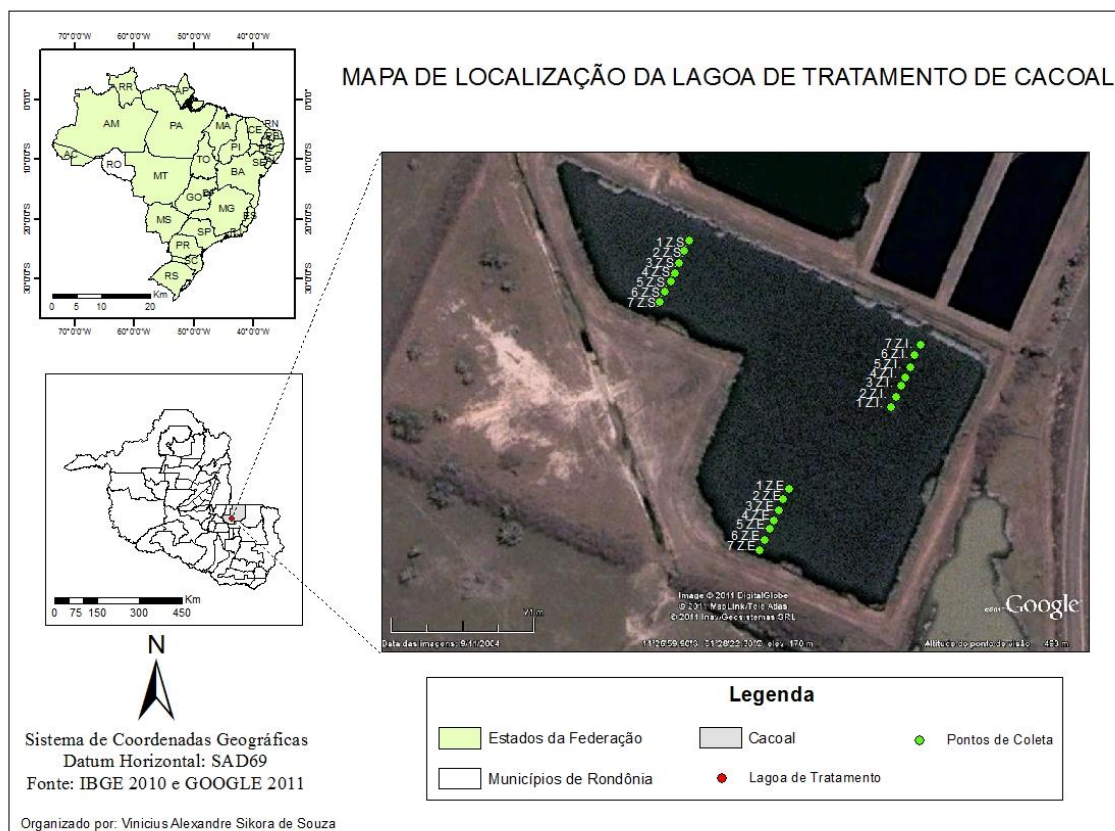


Figura 1: Representação esquemática da lagoa de estabilização anaeróbia, com as zonas onde foram efetuadas as coletas.

Simulação numérica

Para simulação do comportamento hidrodinâmico da lagoa de estabilização anaeróbia da Estação de Tratamento de esgoto sanitário da cidade de Cacoal, foi utilizado um software CFD (Fluidodinâmica Computacional). O software emprega o método dos volumes finitos, que conforme Simões (2009) consiste na divisão da região de interesse em pequenas sub-regiões chamadas volumes de controle. As equações são discretizadas e resolvidas iterativamente para cada volume de controle. Como resultado, uma aproximação do valor de

cada variável pode ser obtida para cada ponto específico do domínio. Desta forma pode-se observar o comportamento do escoamento em cada ponto da região de interesse.

Na realização da simulação utilizou-se uma malha da ordem de 10^6 elementos, Figura 2. Além disso, empregaram-se as seguintes condições de contorno: na entrada, considerou-se velocidade horizontal uniforme e velocidade vertical igual a zero. Na saída, a pressão foi especificada igual a 0Pa, para que assim não houvesse resistência na saída do fluxo.

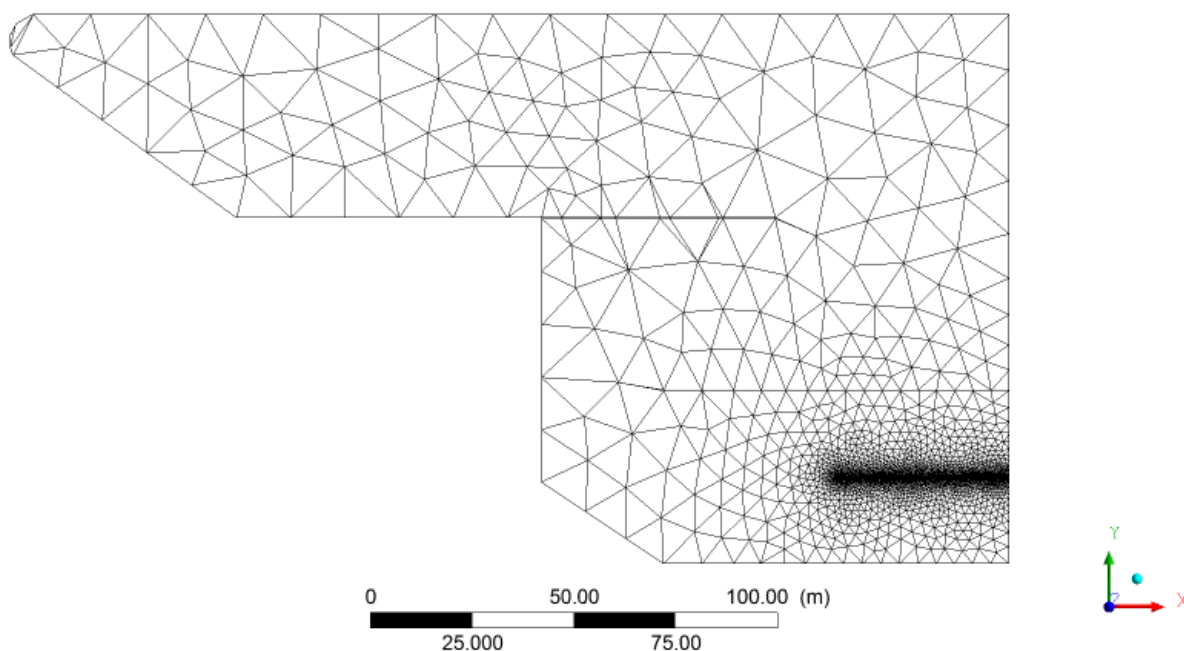


Figura 2: Malha utilizada na simulação.

Adotou-se ainda que o topo da lagoa fosse de superfície livre e as paredes hidraulicamente lisas. Logo, considerou-se que a rugosidade das geometrias foi completamente coberta pela subcamada limite laminar. Assim, as asperezas das paredes não alcançariam o núcleo turbulento, gerando fontes de turbulência.

Além disso, o modelo de turbulência empregado nas simulações foi o *k-epsilon*, o qual resolve duas equações de transporte: (1) energia cinética, turbulenta, κ , (2) taxa de dissipação de energia, ϵ , sendo que tal modelo é apontado por Shilton (2001) como de uso para simulações em geral, por apresentar boa qualidade em termos de precisão para diversos problemas.

Ressalta-se que as condições de contorno do presente estudo foram as mesmas adotadas por Shilton (2001), onde o autor constatou ao comparar dados da hidrodinâmica de lagoas em experimentos laboratoriais com dados de simulações numéricas, que estes apresentam o mesmo comportamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de DQO realizados com amostras afluentes e efluentes apresentaram respectivamente concentrações de 564,66 e 168,16 mg.L⁻¹. Segundo Jordão e Pessoa (2005) para esgoto doméstico a DQO varia entre 200 e

800 com valor médio em torno de 400 mg.L⁻¹.

Oliveira; Von Sperling (2005) ao analisarem dados de 166 ETEs, sendo 33 do Estado de Minas Gerais e 133 de São Paulo envolvendo diversas tecnologias de tratamento, encontraram concentrações médias de DQO afluentes variando de 505 a 1616 mg.L⁻¹.

Naval, Silva e Silva (2002) ao analisarem amostras de esgoto afluentes à ETE de Palmas/TO (região Norte) encontraram DQO de 471,8 mg.L⁻¹. Esses resultados indicam que a qualidade do esgoto afluentes

à lagoa anaeróbia possui similaridade aos encontrados em outros estados do país caracterizados como típicos para esgoto bruto predominantemente doméstico.

Quanto a remoção de matéria orgânica, a lagoa em questão apresenta uma eficiência de 70,2%, similar aos 70% preconizados por Foresti, et al. (1999) para sistemas anaeróbios.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos pontos de coleta (zonas de entrada, intermediária e de saída) que formam o perfil de remoção de matéria orgânica.

Tabela 1: Resultados obtidos nos ensaios de Demanda Química de Oxigênio.

Pontos de coleta	Zona de entrada	Zona intermediária	Zona de saída (ZS) DQO (mg.L ⁻¹)
	(ZE) DQO (mg.L ⁻¹)	(ZI) DQO (mg.L ⁻¹)	
01	202,61	234,48	173,32
02	202,61	181,08	154,38
03	1008,25	182,80	177,63
04	278,41	188,83	173,32
05	1079,31	191,41	182,80
06	614,19	190,55	167,30
07	333,53	187,11	175,05

Na Figura 3, é possível verificar que a entrada submersa associada a presença das chicanas gera-se três campos de

recirculação próximas a entrada até o fim da primeira chicana, constata-se ainda que nos núcleos desses campos recirculantes

estão presentes as menores velocidades da lagoa, sendo as mesmas próximas de 0, logo tais campos atuam como zonas mortas nesse sistema. Além disso, é possível observar que após a passagem do fluido

pela segunda chicana, o mesmo apresenta um fluxo mais acelerado até a entrada, sendo presente nesse campo velocidades próximas a velocidade média.

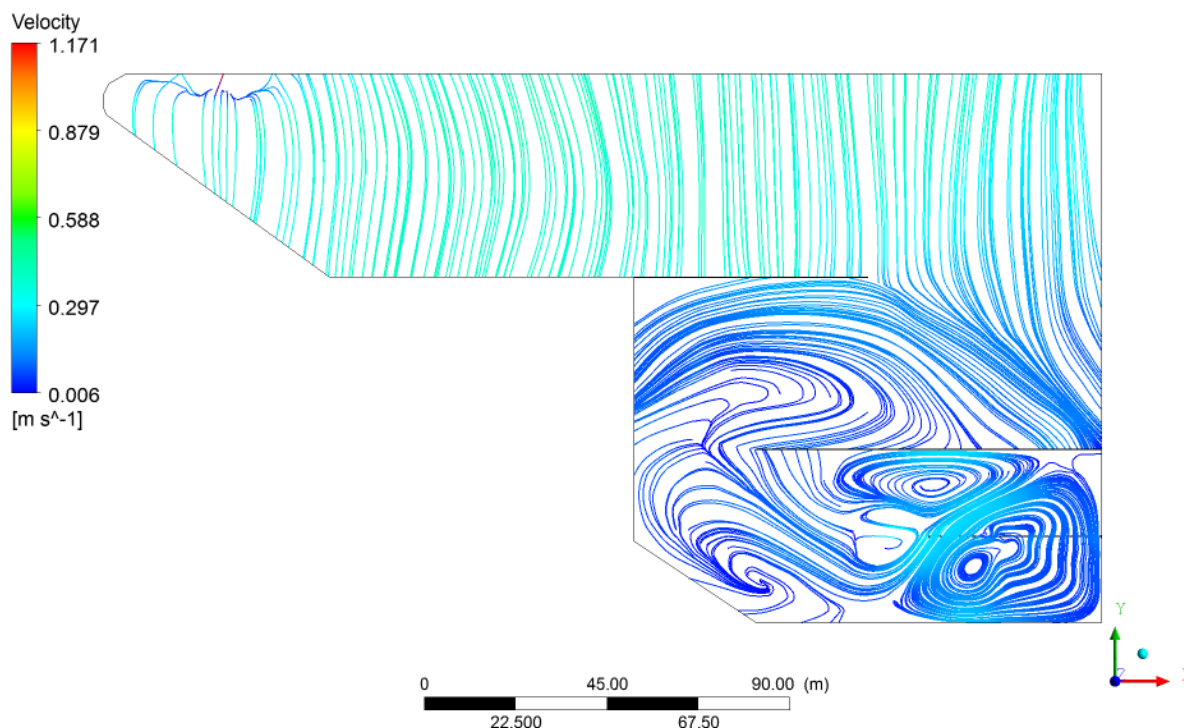


Figura 3: Linhas de corrente.

Ao comparar os dados da Tabela 1 com as linhas de contorno da Figura 3, verifica-se no que se refere o perfil de remoção da matéria orgânica, a existência de uma instabilidade na zona de entrada, gerado possivelmente pela presença de zonas de recirculação presentes nessa região, enquanto que nas zonas intermediária e de saída verifica-se uma relativa homogeneidade, influenciado pelo fluxo menos pistonado que possibilita uma mistura completa (MATSUMOTO, 2002).

Assim devido a estrutura não retangular da lagoa em estudo confirma-se as constatações do estudo Kellner; Pires (1998), onde tais autores constataram que as lagoas devem ter formas retangulares com distribuição uniforme do esgoto afluente para favorecer a distribuição do escoamento, enquanto outros formatos favorecem a formação caminhos preferenciais e curtos circuitos que interferem na dinâmica da lagoa anaeróbia

e conseqüentemente na eficiência de remoção de matéria orgânica da mesma.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a sua estrutura da lagoa anaeróbia em estudo seja propícia à formação de curto-circuito e caminhos preferenciais a mesma tem cumprido a sua principal função que é a remoção de matéria orgânica, o que mostra o potencial para aplicação de sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto sanitário na região.

5. REFERÊNCIAS

- ABBAS, H.; NASR, R.; SEIF, H. (2006) Study of waste stabilization pond geometry for the wastewater treatment efficiency. **Ecol. Eng.**, vol. 28, pp. 25-34.
- APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater 19th edition. Washington: American Public Health Association, 1995.**
- BANDA, C.G.; SLEIGH, P.A.; MARA, D. D. 3D-CFD modelling of E. coli removal in baffled primary facultative ponds: classical design optimization. In: 7th IWA International Conference on Waste Stabilization Ponds, **Anais...** Bangkok: IWA, pp. 25-27, 2006.
- BLOUIN, M. et al. Aerobic biodegradation of organic matter of swine waste. **Biological Wastes**, v. 25, n. 2, p. 127-139, 1988.
- BUENO, R. de F. Comparação entre o método colorimétrico e titulométrico na determinação da DQO através de análises efetuadas em esgoto doméstico e efluentes industriais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2011.
- FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEL, A. V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. **Fundamentos do tratamento anaeróbio.** In: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 2, p. 29-51
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE - Cidades, Estado de Rondônia, Município de Cacoal.** [S.l], 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: 20 mai. 2011.
- IMHOFF, K. R. **Manual de tratamento de águas residuárias.** Traduzido por: Max Lothar Hess. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1996. 301 p.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4^a edição, Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005. 932 p.
- KATO, M. T.; ANDRADE NETO, C. O.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. Configuração de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 3, p. 53-99.
- KELLNER, E.; PIRES, E. C. **Lagoas de estabilização: projeto e operação.** Rio de Janeiro: ABES, 1998. 241 p.
- MATSUMOTO, T.; TAKEUTI, M. R. S. (2002) Estudo da influência de

- chicanas na remoção de coliformes em lagoas de estabilização. In: XXVIII Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, **Anais...** Cancún: *AIDIS*, pp. 1-8.
- MONTEGGIA, L. O.; ALÉM SOBRINHO, P. **Lagoas anaeróbias**. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 4, p. 101-115.
- NAMECHE, T.; VASEL, J.L. (1998) Hydrodynamic studies and modelization for aerated lagoons and waste stabilization ponds. **Wat. Res.** vol. 32, n. 10, pp.3039-3045.
- NAVAL, L. P.; SILVA, G. G.; SILVA, S. D. F. e. Avaliação em escala real de lagoas de estabilização em série apresentando as mesmas características físicas. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 06., 2002, Vitória. **Anais...** Vitória: ABES, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/tres.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2011.
- OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, envolvendo diversas tecnologias. Parte I – análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n 4, p. 347-357, Out/Dez. 2005.
- RONDÔNIA (Estado). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim climatológico de Rondônia**, ano 2008. Porto Velho, 2010. Disponível em: <<http://www.sedam.ro.gov.br/images/stories/metereologia/DLFE-664.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2011.
- SHILTON, A.; MARA, D.D. (2005) CFD (computational fluid dynamics) modelling of baffles for optimizing tropical waste stabilisation pond systems. **Wat. Sci. Tech.**, vol. 51, n. 12, pp. 103-106.
- TORRES J. J.; SOLER, A.; SÁEZ, J.; LEAL, L. M.; AGUILAR, M.I. (1999) Study of the internal hydrodynamics in three facultative ponds of two municipal WSPS in Spain. **Water Res.**, vol. 33, n. 5, pp. 1133-1140.