

Eixo Temático ET-07-010 - Tratamento de Efluentes Sanitários e Industriais

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO: UM ESTUDO DE REVISÃO

Rosângela Maria da Silva, Dayane de Andrade Lima, Jéssyca de Freitas Lima, Amanda Gonçalves Moreira, Jarbas Rodrigues Chaves

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil. Departamento de Tecnologia em Gestão Ambiental, IFCE, *Campus* Fortaleza-CE (CEP 60040-531).

RESUMO

Vários estudos são desenvolvidos para escolher o melhor sistema de tratamento que remova os poluentes existentes nas águas residuárias. A eficiência do tratamento sempre vai variar de acordo com o método utilizado, na aplicação no projeto da estação de tratamento de esgoto e nas características da água residuária a ser tratada. Sistemas de tratamento biológico por lagoas de estabilização são amplamente utilizados no mundo, onde os mais empregados seriam os combinados, os quais suas características básicas geralmente consistem no emprego de lagoas em série, lagoa anaeróbia e facultativa e sucessivamente a lagoa de maturação. O emprego de lagoas de estabilização vem crescendo consideravelmente, pois a mesma mostra-se um sistema satisfatório no tratamento e é bastante aceitável, tendo em vista que, apesar da sua demanda por área, tem economia no custo e principalmente simplicidade em sua operação, sendo assim torna o seu uso eficiente comparado às demais tecnologias de tratamento existentes. No Brasil, é comum o uso das lagoas de estabilização, devido ao clima tropical e sua amplitude geográfica. O objetivo deste estudo é fazer uma revisão da literatura desde o histórico da existência da lagoa de estabilização e sua utilização na eficiência na remoção de poluentes.

Palavras-chave: Eficiência; Esgoto; Sistema de tratamento.

INTRODUÇÃO

Grande parte da poluição hídrica provém de despejos líquidos urbanos (esgoto sanitário ou municipal e industrial), lançados de forma inadequada ou sem o tratamento necessário. Os efluentes domésticos são de grande preocupação para o setor do saneamento, já que se for lançado sem tratamento adequado pode causar sérios problemas nos corpos d'água.

O tratamento de efluentes doméstico e industrial, no Brasil, é previsto por algumas leis, como exemplo a Resolução nº 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece, respectivamente, o enquadramento dos corpos d'água em classes e os padrões de lançamentos.

Para ocorrer à escolha do melhor processo, é importante conhecer as características dos despejos, a facilidade do tratamento e o nível de remoção exigido pela legislação. Também devem ser consideradas as mudanças sazonais. A escolha do método de tratamento dependerá das exigências da qualidade do efluente final, flexibilidade de operação e custos (COSTA et al., 1997).

Brandão (2000), diz que as lagoas de estabilização constituem em sistema de tratamento de esgotos que vem sendo amplamente usado no mundo. Lagoas de estabilização são sistemas simples onde os esgotos são tratados biologicamente por processos naturais envolvendo principalmente algas e bactérias.

Bouza-Deanõ e Sala (2003), Nelson et al. (2004), Abbas et al. (2006) e Yi et al. (2008) destacam a ampla utilização de lagoas de estabilização, devido a disponibilidade de área, seu baixo custo e simplicidade na construção, operação e manutenção.

No entanto Alvarado et al. (2012) complementa que ainda há espaço para otimização desse sistema a partir de uma perspectiva de desempenho em termos de qualidade do efluente e consumo de energia. A fim de permitir a otimização, a necessidade de uma melhor compreensão do processo, o que pode ser conseguido através de modelos matemáticos.

Von Sperling (2002) fala que apesar de ocuparem maiores áreas, estão menos sujeitas aos problemas decorrentes da falta de operação e manutenção adequada. O tratamento biológico pode ocorrer em meio anaeróbio, facultativo ou aeróbio de acordo com a disponibilidade de oxigênio dissolvido, da atividade biológica predominante, da carga orgânica afluente e das características físicas e operacionais da lagoa.

Silva et al. (2009), enfatiza que as lagoas de estabilização classificam-se de acordo com a forma que a matéria orgânica é estabilizada, pode ser pela oxidação bacteriana e/ou redução fotossintética, resultando em lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação. Silva ressalta também que as lagoas são consideradas uma ótima opção de tratamento de efluentes doméstico, principalmente em países desenvolvidos e de clima tropical.

No Brasil, as lagoas de estabilização foram introduzidas em 1960, pelo Engenheiro Benoit Almeida Victoretti, com a construção das lagoas de estabilização de São José dos Campos, São Paulo (KELLNER e PIRES, 1998).

Silva Filho (2007) fala que hoje, além do modelo propriamente dito, outras variantes podem fazer parte dos sistemas de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), operadas por meio de lagoas de estabilização, como: lagoas de polimento, lagoas de alta taxa, lagoas com wetlands, sistema australiano propriamente dito, lagoas aeradas de mistura completa, lagoas aeradas facultativas, lagoas facultativas, lagoas facultativas primárias, seguidas por lagoas de maturação, entre outros.

Ainda segundo Silva Filho (2007), a operacionalização, quando bem monitorada, mostra elevados percentuais na eficiência, no que concerne à remoção de DBO5 e de Coliformes Termotolerantes. A DBO5 é a demanda bioquímica de oxigênio a 20 °C, aos 5 dias. As lagoas quando bem projetadas e operadas, reduz de maneira significativa a probabilidade de exalar maus odores, o que justifica a sua grande aceitabilidade onde são implantadas.

Silva et al. (2010), também diz que as lagoas de estabilização removem elevadas quantidades de matéria orgânica e micro-organismos patogênicos, e, em menor escala nutrientes. Entretanto, a remoção destes pode ser beneficiada quando as lagoas são operadas corretamente, sobretudo nas lagoas de maturação.

Nesse sentido, devido as variáveis vantagens da utilização da lagoa de estabilização, o presente estudo revisa a literatura existente relacionada aos conceitos, histórico, características e eficiência.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo é fazer uma revisão da literatura desde o histórico da existência da lagoa de estabilização e sua utilização na eficiência na remoção de poluentes.

HISTÓRICO DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Segundo Andrade Neto (1997), ocorreu a existência de alguns registros históricos que mostram que no início do século passado, as lagoas surgiram a partir de seu uso como forma de tratamento para os efluentes.

Entretanto Jordão e Pessoa (1995) discutem que, há séculos, existem lagoas naturais ou artificiais, de origem acidental, que recebem despejos de animais e realizam o fenômeno de depuração de esgotos. Porém, os primeiros registros de lagoas acidentais no tratamento de esgoto foram Santa Rosa, na Califórnia, em 1924 e Fesseden, em Dakota do Norte, em 1928, ambas nos Estados Unidos.

A partir do final da II Guerra Mundial, intensificaram as pesquisas a fim de conhecer, explicar e controlar o processo das lagoas de estabilização com alguns controles de seu funcionamento, a partir do qual se procurava conhecer alguns parâmetros. Em 1950 o assunto já era bastante conhecido, devido ao grande número de publicações. As primeiras pesquisas sobre lagoas de estabilização foram realizadas nos Estados Unidos, nos estados de Dakota do Norte e do Sul, no ano de 1948. Nesta época entrou em funcionamento a primeira lagoa projetada especificamente para receber e depurar esgoto bruto, denominada lagoa de Maddock (PEREIRA, 2000).

A Austrália fez diversas pesquisas sobre o tratamento sobre lagoas, sendo assim o país pioneiro no uso de lagoas em série, que alguns chamam de lagoas australianas.

Nelson et al. (2004) em seus estudos ressalta que no México a maioria dos sistemas de tratamento de água residuárias existentes são lagoas de estabilização, acarretando cerca de mais de 400 sistemas, onde começaram a ser implantados a partir de 1980

Mara e Pearson (1987) enfatiza uma pesquisa da WHO (World Health Organization) mostrando que as lagoas já eram usadas em 39 países, isso por meados de 1964, daí em diante o uso de lagoas foi difundido por todos os países por causa da sua simplicidade e baixo custo.

Segundo Vale (2007), em 1958 foram instalados os primeiros sistemas de lagoas de estabilização na América Latina. No início dos anos 1960, as lagoas de estabilização estavam definitivamente aceitas como técnica de tratamento de esgotos; em 1993 já se somavam 3.000 sistemas deste tipo na América Latina e no Caribe. Seu uso se popularizou e a grande maioria das lagoas construídas continua operando.

No Brasil as lagoas de estabilização foram introduzidas em 1960, pelo Engenheiro Benoit Almeida Victoretti, com a construção das primeiras lagoas de estabilização localizadas em São José dos Campos, São Paulo, estas foram projetadas de acordo com o sistema chamado australiano, sendo uma lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa facultativa, com a finalidade de estabelecer parâmetros de projetos para outras lagoas em todo o país (KELLNER e PIRES, 1998). Em 1963, no Rio de Janeiro, foi construída uma lagoa, também pioneira, na Cidade de Deus, inicialmente facultativa e depois aerada.

Andrade Neto (1997), Silva Filho (2007) em estudos de revisão destacam que partir da década de 1970, ocorreu à difusão em muitos estados brasileiros, da utilização das lagoas de estabilização como forma de tratamento de esgoto, e grande número de pesquisas e resultados operacionais passaram a ser publicados.

CLASSIFICAÇÃO DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização são classificadas de acordo com a atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica, tais como: anaeróbias, facultativas e de maturação ou aeróbias. A profundidade, por sua vez, determina a fração da massa líquida com maior penetração de luz e conseqüentemente, maior taxa fotossintética, conforme cita Andrade Neto (1997). Como variantes, segundo a intensificação do processo, têm-se as lagoas com plantas macrófitas (*wetlands*), aeradas, de polimento e outras.

Gemitzi et al. (2007) em seu estudo sobre sistema de informação geográfica ressalta que na implantação das lagoas de estabilização ocorre uma série de variável a ser observadas, como topografia, uso do solo, distância de rios ou lagos entre outras.

Segundo Cavalcanti et al. (2001), Takeuti (2003), as lagoas de estabilização podem ser de diferentes combinações e de diferentes números, com o intuito de sempre alcançar a melhor qualidade e estar dentro dos padrões exigidos, sendo que configurações com chicanas e profundidades reduzidas mostra melhor eficiência, principalmente quando o objetivo é remoção de patógenos.

Conforme Shilton e Mara (2005), basicamente, existem quatro abordagens diferentes para projeto lagoa de estabilização de esgoto: taxas de carregamento, equações de projetos empíricos, a teoria do reator e modelagem matemática.

Pearson (2003) coloca que os micro-organismos são as componentes chaves no tratamento de águas residuárias, sendo basicamente os responsáveis pelo controle da eficiência do tratamento e qualidade do efluente, embora muitas vezes seja negligenciado por engenheiros sanitários, ocorrendo assim projetos mais fáceis, acarretando frequentemente em um lagoa de estabilização com déficit de eficiência exigida. Assim uma compreensão da dinâmica das algas bacterianas deve existir, já que é fundamental para o projeto e eficiência na operação de tal sistema.

LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO ANAERÓBIA

As lagoas anaeróbias são dimensionadas para receber cargas orgânicas elevadas, que impedem a existência de oxigênio dissolvido no meio líquido. Sua profundidade geralmente varia de 3,0 m a 4,5 m e o tempo de detenção hidráulico tem que ser no mínimo de três dias (KELLNER e PIRES, 1998). Von Sperling (1996) complementa que o tempo de detenção hidráulico varia de 3 a 6 dias.

Segundo Melo e Lindner (2013) o sistema de tratamento de esgoto constituído por lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas é conhecido como sistema australiano. Assim como o autor Kellner ressaltou, Melo também retrata que as lagoas anaeróbias são normalmente profundas. A profundidade tem a finalidade de impedir que o oxigênio produzido pela camada superficial seja transmitido às camadas inferiores.

A eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) por uma lagoa anaeróbia é da ordem de 50% a 60%. Como a DBO do efluente é ainda elevada, necessita-se de outra unidade de tratamento. Adota-se uma lagoa facultativa que necessitará de área menor devido ao pré-tratamento do esgoto pela lagoa anaeróbia. O

conjunto lagoa anaeróbia + lagoa facultativa economiza cerca de 1/3 da área ocupada comparado a uma lagoa facultativa apenas como unidade única, para tratar a mesma quantidade de esgoto. Na lagoa anaeróbia, maus odores, provenientes da liberação de gás sulfídrico, podem ocorrer como consequência de problemas operacionais, recomendando-se sua localização em áreas afastadas, longe de bairros residenciais (VON SPERLING, 1996).

LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVA

Soares e Bernades (2001) citam que as lagoas facultativas são a variante mais simples do sistema de lagoas de estabilização. Basicamente, o processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam.

São as lagoas em que na estabilização da matéria orgânica ocorrem simultaneamente processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética, apresentando uma zona aeróbia na parte superior, uma zona anaeróbia no fundo e uma zona facultativa entre as duas zonas (OLIVEIRA, 1999).

Rawat et al. (2011) complementa que as lagoas facultativas apresentam condições aeróbias na superfície, devido à produção de oxigênio fotossintético por algas e condições anaeróbias nas camadas inferiores.

Sah et al. (2011) diz que as Lagoas facultativas podem ser classificadas como primária e secundária, com base nas características do efluente. Se o a lagoa facultativa recebe efluente sem pré-tratamento, ela é apontada como principal lagoa facultativa, enquanto que se a lagoa facultativa recebe efluente pré-tratado da lagoa anaeróbica, ela é chamado de lagoa facultativa secundária.

LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO DE MATURAÇÃO

Segundo Vale (2007) as lagoas de maturação também chamadas de polimento, são reatores biológicos predominantemente aeróbios que tem a finalidade de polir o efluente tratado da lagoa de estabilização, principalmente facultativas ou de outros processos biológicos com pequena quantidade de matéria orgânica, tais como: lodo ativado, filtro biológico e reator UASB. Têm como objetivo principal reduzir organismos patogênicos a níveis aceitáveis, além de reduzir matéria orgânica e nutrientes solúveis.

Ainda de acordo com Vale (2007) esse processo representa uma alternativa econômica, segura e ambientalmente correta para desinfecção de efluentes, em substituição aos métodos tradicionais como a cloração.

Normalmente, têm-se lagoas de maturação projetadas em series ou únicas com chicanas, pois, assim podem atingir elevada eficiência de remoção (FONSECA, 2005).

Silveira, Silva e Santos (2014) complementa que embora as lagoas de maturação sejam fundamentais no polimento da matéria orgânica, a sua principal função não é está, mais sim remover micro-organismo patogênicos.

EFICIENCIA DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

O sistema de lagoas de estabilização possui uma grande eficiência na remoção de patógenos, mas, para os padrões estabelecidos pelos países desenvolvidos, produz altas quantidades de sólidos suspensos e DBO (mais de 30 mg/L de sólidos suspensos e

30 mg/L de DBO) (LEON e MOSCOSSO, 1999 *apud* PEREIRA, 2000). Porém, havendo uma separação de algas, estas concentrações podem ser reduzidas à metade.

Vale (2007) diz que a avaliação de qualquer processo de tratamento é baseada na análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do início e do final do tratamento, calculando o percentual de eficiência de redução dos parâmetros pré-estabelecidos. Os parâmetros mais utilizados para avaliar a eficiência do processo de tratamento são a DBO, que caracteriza a carga orgânica e o número de coliformes termotolerantes, que caracteriza a contaminação microbiológica. Também tem importância os sólidos e os nutrientes, nitrogênio e fósforo.

Segundo Mara et al. (1992), um sistema de lagoas bem dimensionado e operado pode alcançar mais de 90% de remoção de matéria orgânica e até 99,999% de remoção de organismos termotolerantes.

De acordo Pessoa et al. (2014) as lagoas de estabilização também removem os hormônios estrogênicos tendo uma eficiência entre 54-79,9%, valor este relativamente considerável. Brandt (2012) complementa que as lagoas de estabilização também removem desreguladores endócrinos e fármacos em aproximadamente 25%-99% de eficiência.

Silva et al. (2013) discute o porquê de tanta eficiência na remoção da matéria orgânica carbonácea, tendo em vista que é a causadora de um dos principais problemas de poluição da água devido ao consumo de oxigênio pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica, tendo assim que ser removida cerca de 90%.

Na eficiência do sistema de tratamento de lagoas de estabilização em relação a sustentabilidade ambiental, necessita-se da utilização dos parâmetros comumente analisados no sistema de tratamento de esgotos e disponíveis nas normas de controle ambiental do CONAMA, Resolução nº 357/2005.

Já Silveira et al. (2014) coloca também outro aspecto relevante a ser ressaltado em relação a legislação existente, pois ocorre alterações da mesma, devido a novos poluentes existentes, a algumas tecnologias otimizadas entre outros aspectos, devendo assim ocorrer novos estudos para sempre ser conduzidos os parâmetros analisados de acordo com os padrões exigidos, como por exemplo os padrões exigidos pela Resolução nº 430/11 do CONAMA, que alterou alguns padrões da Resolução nº 357/2005 para melhor enquadrar os padrões de lançamento.

Veról e Volschan Junior (2012) afirma que os padrões de lançamento de efluentes devem variar de acordo com as especificidades locais (país ou estado), refletindo suas particularidades, estágio de desenvolvimento, nível econômico, entre outros fatores.

Ferreira e Tavares (2000) complementam que as legislações para efluentes líquidos de diferentes países, como Brasil, Estados Unidos, Espanha e França, apresentam alguns pontos em comum e muitas diferenças peculiares, tanto na maneira de atuação, como nas estratégias e operação dos órgãos cada país.

Observando as legislações pertinentes existentes não só no Brasil mais nos outros países podemos perceber que os países em desenvolvimento enfrentam dificuldades na gestão da qualidade ambiental de suas bacias hidrográficas e, portanto, há o desafio de satisfazerem aos padrões de lançamento de efluentes vigentes (VERÓL e VOLSCHAN JUNIOR, 2012).

Ainda de acordo com Veról e Volschan Junior (2012) países como Chile, Paraguai, Uruguai, Bolívia, Venezuela, Equador, Colômbia, México, Comunidade

Econômica Europeia (CEE) e Estados Unidos (EUA), têm suas próprias leis, diretrizes ou resoluções.

Orlowski (2013) complementa que a União Europeia regulamenta obrigatoriamente o tratamento das águas residuárias através da sua diretriz de 91/271/CEE, criada para evitar que o ambiente seja afetado negativamente pela eliminação de efluente sem o devido tratamento, necessitando assim de um tratamento secundário das águas residuárias.

Ferreira e Tavares (2000) discutem a problemática que ocorre em alguns países como na Grã-Bretanha, que se limita a proibir poluição em termos vagos concedendo às autoridades administrativas e judiciais o conteúdo efetivo do termo poluição através do seu “Water Resources Act” de 1963.

Os parâmetros são ferramentas utilizadas como limites para a classificação de águas e de lançamento de efluentes no ambiente. É importante o conhecimento e divulgação dos diversos tipos de legislação aplicados ao lançamento de efluentes, em diferentes países, afim de comparação, aperfeiçoamento e cumprir as exigências legais.

REMOÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS, MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES

As lagoas de estabilização apresentam excelente eficiência de tratamento na remoção de organismo patogênicos, segundo Von Sperling (2002). O sistema de lagoas de maturação é capaz de atingir a eficiência de remoção de bactérias de 99,9999%; isto equivale a obter valores menores do que 1000 coliformes termotolerantes em 100 mL de efluentes.

Von Sperling (1996) cita que as lagoas de polimento são mais rasa comparada aos demais tipos de lagoa, devido que a seu mecanismo de decaimento dos coliformes se torna mais efetivo devido a sua profundidade.

Von Sperling et al. (2004), afirma que as lagoas de estabilização têm diversas vantagens, principalmente em relação a sua capacidade de remover os micro-organismos patogênicos. E que a sedimentação na lagoa é um dos principais fatores na remoção de ovos de helmintos.

A remoção dos patógenos é de fundamental importância principalmente quando o efluente tratado é utilizado na agricultura ou para fins recreativos, sendo uma crescente preocupação em relação os níveis exigidos pela OMS.

Brandão (2000) em seus estudos afirma que os efluentes de lagoas de estabilização podem apresentar boa qualidade para reuso irrestrito em irrigação, de acordo com os padrões exigidos pela OMS, em termos de coliformes e ovos de helmintos, principalmente quando existe o uso de quatro ou mais lagoas em série,

De acordo com Vale (2007) nenhum sistema convencional pode competir em termos de eficiência de remoção de patógenos com a obtida em lagoas; a menos que se adicione o processo de desinfecção do efluente, que aumenta o custo e os sistemas de operação e manutenção são complexos.

Amahmid et al. (2002) complementam que as lagoas de estabilização são frequentemente consideradas sistemas eficazes para remoção de parasitas intestinais, enquanto os sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias não são. Em seus estudos, obtiveram que tratamento de águas residuárias com o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 16 dias, removem cistos de *Giardia* e ovos de *Ascaris* do efluente.

Konaté et al. (2013) com seus estudos complementa que lagoas em três séries tem eficiência de 99,9%, porém com um TDH de 18 dias.

Kivaisi (2001) ressalta que tecnologias convencionais são as mais utilizadas na maioria das indústrias, porém não tem potencial em países em desenvolvimento para garantir proteção da saúde pública e ambiental. Países em desenvolvimento têm dificuldades em sustentar gastos excessivos com o consumo de energia e produtos químicos, estes necessários para operar com sucesso as tecnologias utilizadas nos sistemas de tratamento de águas residuárias convencional, além disso, exige conhecimento técnico considerável para operação. Consequentemente países em desenvolvimento não são capazes de utilizar tratamento convencional (DIAZ e BARKDOLL, 2006). Sendo assim são utilizadas lagoas de estabilização devido ao seu baixo custo, eficiência e operação simples (BABU, 2011).

Mburu et al. (2013) complementa que os sistemas convencionais não são só utilizados para tratamento de águas residuárias industriais, mais é também amplamente utilizada para tratamento de esgoto doméstico nos países desenvolvidos. Embora seja eficaz, são sistemas caros.

Hosetti (1995) cita que lagoas de estabilização em climas quentes produzem efluentes com baixo DBO, livre de helmintos, patógenos, bactérias e vírus. A alta temperatura e a incidência de luz solar matam os patógenos e oxidam materiais orgânicos.

A remoção de matéria carbonácea é avaliada, principalmente, através de remoção da DBO5. A DBO5 é a demanda bioquímica de oxigênio a 20 °C, aos cinco dias e é uma medida da matéria orgânica biodegradável nos esgotos por processos bioquímicos, que mede a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar a matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

Segundo Vale (2006), a remoção do nitrogênio amoniacal é realizada através da oxidação na presença de oxigênio molecular, para nitrito e em seguida para nitrato pela ação de bactérias nitrificantes, nitrosomonas e nitrobacter, respectivamente. A eficiência na remoção de nitrogênio está relacionada às condições ambientais e operacionais da lagoa, tais como grau de mistura no reator, radiação solar, pH, temperatura, tempo de detenção hidráulica e carga orgânica.

Conforme Martins et al. (2013), lagoas de estabilização são sistemas capazes de tratar chorume através da redução das concentrações do efluente, como compostos de carbono e nitrogênio, amônia de 75-99% e carbono de 35-82%.

Os mecanismos de remoção de nitrogênio envolvidos na lagoa de estabilização são: volatilização da amônia; assimilação pela biomassa de algas; nitrificação e desnitrificação biológica (VON SPERLING, 1996). Silva (1994) ressalta que a sedimentação também é um mecanismo importante na remoção de nutrientes.

Musungu et al. (2013) discute em seu estudo que as lagoas de estabilização removem nutrientes embora seu percentual seja baixo no seu âmbito de estudo, sendo levando em consideração o aumento populacional e a existência de fabricas, fator que leva a ser alargada as dimensões de lagoas ou existência de lagoa novas.

CONCLUSÃO

O tratamento de efluentes por lagoa de estabilização é uma prática comum e relativamente antiga. A remoção de micro-organismos patogênicos, nutrientes e matéria carbonácea para este tipo de sistema de tratamento é bastante satisfatória, já que tem

economia no custo e principalmente simplicidade em sua operação, tornando assim não só um tratamento eficiente, mais também aceitável pelo baixo custo.

REFERÊNCIAS

ABBAS, H.; NASR, R.; SEIF, H. Study of waste stabilization pond geometry for the wastewater treatment efficiency. **Ecological Engineering**, v. 28, p. 25-34, 2006.

ALVARADO, A.; VEDANTAM, S.; GOETHALS, P.; NOPENS, I. A compartmental model to describe hydraulics in a full-scale waste stabilization pond. **Water Research**, v. 46, p. 521-530, 2012.

AMAHMID, O.; ASMAMA, S.; BOUHOUM K. Urban wastewater treatment in stabilization ponds: occurrence and removal of pathogens. **Urban Water**, v. 4, p. 255-262, 2002.

ANDRADE NETO, C. O. Sistema simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

BABU, M. **Effect of algal biofilm and operational conditions on nitrogen removal in wastewater stabilization ponds**. Delft, The Netherlands: Institute for Water Education, 2011. (PhD dissertation UNESCO-IHE).

BOUZA-DEANÕ, R.; SALAS-RODRÍGUEZ, J. J. Distribution and spatial variability of sludges in a wastewater stabilization pond system without desludging for a long period of time. **Ecological Engineering**, v. 50, p. 5-12, 2013.

BRANDT, E. M. F. **Avaliação da remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em sistemas simplificados de tratamento de esgoto (reatores UASB seguidos de pós-tratamento)**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos).

BRANDÃO, L. P. **Perspectivas do reuso de águas residuárias tratadas por lagoas de estabilização em irrigação no Estado do Ceará**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2000. (Monografia do Curso de Graduação em Engenharia Civil).

CAVALCANTI, P. F. F.; MAYER, M. G. R.; MOREIRA, E. A.; HAANDEL, A. V. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoas de polimento. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. p. 86-91.

COSTA, R. H. R.; BAVARESCO, A. S. L.; MEDRI, W. Lagoas de aguapés para dejetos de suínos. Anais do SIDISA - Simposio Internazionale de Ingegneria Sanitaria Ambientale, Ravello, Italia, 1997.

DIAZ, J.; BARKDOLL, B. Comparison of wastewater treatment in developed and developing countries. Anais do World Environmental and Water Resource Congress, p. 1-10, 2006.

FERREIRA, E. S.; TAVARES, J. L. S. Legislação ambiental de efluentes líquidos – uma análise comparativa das metodologias adotadas nos Estados Unidos, Brasil e França. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio Grande do Sul, 2000.

FONSECA, P. W. **Avaliação do desempenho e caracterização de parâmetros em lagoas facultativas e de maturação**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. (Dissertação de Mestrado).

GEMITZI, A.; TSIHRINTZIS, V. A.; ODYSSEAS, C.; PETALAS, C. Use of GIS in siting stabilization pond facilities for domestic wastewater treatment. **Journal of Environmental Management**, v. 82, p. 155-166, 2007.

HOSETTI, B. B.; FROST, S. The review of the sustainable value of effluents and sludges from wastewater stabilization ponds. **Ecological Engineering**, v. 5, p. 421-431, 1995.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos doméstico**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. **Lagoas de estabilização**. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998.

KIVAIISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecological Engineering**, v. 16, p. 545-560, 2001.

KONATÉ, Y.; Maiga, A. H.; Basset, D.; Casellas, C.; Picot, B. Parasite removal by waste stabilisation pond in Burkina Faso, accumulation and inactivation in sludge. **Ecological Engineering**, v. 50, p. 101-106, 2013.

MARA, D. D.; ALABASTER, G. P.; PEARSON, H. W.; MILLS, S. W. **Waste stabilization ponds: a design manual for the Eastern Africa**. Lagoon International Technology, 1992.

MARA, D. D.; PEARSON, H. W. **Waste stabilization ponds design manual for Mediterranean Europe**. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, 1987.

MARTINS, C. L.; FERNANDES, H.; COSTA R, H, R. Landfill leachate treatment as measured by nitrogen transformations in stabilization ponds. **Bioresource Technology**, v. 147, p. 562-568, 2013.

MELO, J.; LINDNER, E. Dimensionamento comparativo entre sistemas de lagoas e de zonas de raízes para o tratamento de esgoto de pequena comunidade. Iniciação Científica Cesumar, América do Norte, 15, jun. 2013.

MUSUNGU, C. P.; OGOCHE, I. J.; LALAH, J.; ONGERI, D.; CHEPKUI, R.; KIEMA, F. The extent of nutrient removal by wastewater treatment plants along the Nyalenda Wigwa Stream and the River Kisat (Kenya). **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 13, p. 236-240, 2013.

NELSON, K. L.; CISNEROS, B. J.; TCHOBANOGLOUS, G.; DARBY, J. L. Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico. **Water Research**, v. 38, p. 111-127, 2004.

OLIVEIRA, L. F. F. Eficiências de remoção de carga orgânica por lagoas de estabilização. Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 1999.

ORLOWSKY, G. Factors affecting the use of waste-stabilization ponds by birds: a case study of conservation implications of a sewage farm in Europe. **Ecological Engineering**, v. 61, p. 436-445, 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE - OMS. Directrices sanitárias sobre el uso de águas residuales em agriculturay acuicultur. Genebra: OMS, 1989.

PEARSON, H. Microbial interactions in facultative and maturation ponds. **Handbook of Water and Wastewater Microbiology**, v. 27, p. 449-458, 2003.

PEREIRA, C. M. Avaliação do uso de peixes planctófagos como auxiliares do tratamento de efluentes. Floianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000. (Dissertação de Mestrado).

PESSOA, G. P.; SOUZA, N. C.; VIDAL, C. B.; ALVES, J. A. C.; FIRMINO, P. I. M.; NASCIMENTO, R. F.; SANTOS, A. B. Occurrence and removal of estrogens in Brazilian wastewater treatment plants. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 288-295, 2014.

RAWAT, I.; RANJITH KUMAR, R.; MUTANDA, T.; BUX, F. Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. **Applied Energy**, v. 88, p. 3411-3424, 2011.

SAH, L.; ROUSSEAU, D. P. L.; HOOIJMANS, C. M.; LENS, P. N. L. 3D model for a secondary facultative pond. **Ecological Modelling**, v. 222, p. 1592-1603, 2011.

SHILTON, A.; MARA, D. Pond process design: an historical review. In: **Pond Treatment Technology**. London: IWA Publishing, 2005. p. 145-167.

SILVA FILHO, P. A. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária).

SILVA, F. J. A. **Estudo do ciclo do nitrogênio em lagoas de estabilização tratando esgotos domésticos no Nordeste do Brasil**. Campina Grande: UFPB, 1994. 125p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, L. K. T.; SOUZA, M. A. G.; PIRES, A. D. M.; LIMA, K. S.; ALBUQUERQUE, B. C. D.; ARAUJO, A. L. C. Avaliação preliminar da eficiência das lagoas de estabilização do Estado do Rio Grande do Norte. Anais do CONNEPI, Belém, 2009.

SILVA, L. K. T.; SOUZA, M. A. G.; PIRES, A. D. M.; LIMA, K. S.; ALBUQUERQUE, B. C. D.; ARAÚJO, A. L. C. Avaliação preliminar da eficiência de remoção de nutrientes, em três sistemas de lagoas de estabilização no Estado do Rio Grande do Norte. Anais do CONNEPI, Aracaju, 2010. Disponível em: <<http://congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/893/617>>. Acesso em: 22 set. 2015.

SILVA, O. A. L.; TORRES, D. M.; TAVARES, L. K.; ARAUJO, A. L. C.; ANDRADE NETO, C. O. Remoção de matéria orgânica em nove sistemas de lagoas de estabilização no nordeste brasileiro. Anais do 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, 2013.

SILVEIRA, A. G. M.; SILVA, M. E. da. SANTOS, A. B. dos. Análise de eficiência e confiabilidade em sistemas de tratamento de esgotos do tipo lagoas de estabilização. Anais do XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 2014.

SOARES, S. R. A.; BERNADES, R. S. Reaction coecient K evaluation for full-scale facultative pond systems. **Bioresource Technology**, v. 78, p. 99-102, 2001.

TAKEUTI, M. R. S. Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização com chicanas. São Paulo: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2003. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil).

VALE, M. B. **Avaliação da eficiência da remoção de matéria orgânica e microbiológica de três sistemas de lagoas de estabilização em série na Grande Natal-RN**: Beira Rio, Jardim Lola I e Jardim Lola II. 2007. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária).

VERÓL, A. P.; VOLSCHAN JUNIOR, I. Inventário e análise de padrões de lançamento de esgotos sanitários: visão nacional e internacional. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://aquafluxus.com.br/wp-content/uploads/2012/03/ALINE_VEROL.pdf>. Acesso em: 22 set. 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2005. v. 1.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos de tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 2.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Lagoas de estabilização. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2002. v. 3.

VON SPERLING, M.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M.T. Removal of *E. coli* and helminth eggs in UASB: polishing pond systems. **Water Sci. Technol.**, v. 51, p. 91-97, 2004.

YI, Q.; HUR, C.; KIM, Y. Modeling nitrogen removal in water hyacinth ponds receiving effluent from waste stabilization ponds. **Ecological Engineering**, v. 35, p. 75-84, 2009.