

## II-146 - AVALIAÇÃO HIDRODINÂMICA DE UMA LAGOA DE POLIMENTO, EM OPERAÇÃO POR TREZE ANOS, COM UTILIZAÇÃO DE *DROGUE* E FLUTUADORES.

**Patrick Cláudio Nascimento Valim**<sup>(1)</sup>

Biólogo do SAAE/Pirapora. Graduado pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Mestre em Tecnologias e Inovações Ambientais pela Universidade Federal de Lavras.

**Mateus Pimentel de Matos**<sup>(2)</sup>

Prof. Dr<sup>o</sup>. Universidade Federal de Lavras – Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. Salmeron, 255 – Centro – Pirapora – Minas Gerais – CEP: 39.270-068 – Brasil - Tel: +55 (38) 3741-1530 - e-mail: patrick@saaepirapora.com.br

### RESUMO

As lagoas de polimento são utilizadas para complementar a remoção de matéria orgânica de reatores anaeróbios, além remover nutrientes e organismos patogênicos. Durante sua operação, sólidos sedimentam, constituindo assim o lodo, à medida que esse subproduto do tratamento acumula, há redução gradativa do volume útil da lagoa e alteração na hidrodinâmica do reator. Assim, objetivou-se avaliar a hidrodinâmica em uma lagoa de polimento em escala real, em operação por treze anos, com uso de *drogue* e flutuadores.

A ETE de Pirapora (MG) é composta por tratamento preliminar, reatores UASB e lagoa de polimento. Para avaliação hidrodinâmica utilizou-se cocos verdes como flutuadores e um *drogue*. Ambos foram lançados dentro do PV (poço de visita) de entrada, localizado a montante da lagoa de polimento.

No ensaio hidrodinâmico, dos 20 cocos verdes lançados no PV, nenhum seguiu diretamente, em linha reta até o vertedor de saída, localizado na face oposta da lagoa de polimento, dois foram deslocados para a direita e 18 para a esquerda. O *drogue* fez uma trajetória em direção ao lado esquerdo da lagoa de polimento, após a tubulação de entrada, possivelmente por influência da “ilha” de lodo acumulado no centro da lagoa e da direção predominante dos ventos. Os resultados indicaram condições de escoamento semelhantes entre os flutuadores e o *drogue*, a “ilha” de lodo e a direção predominante dos ventos fizeram com que houvesse um caminho preferencial pelo lado esquerdo da lagoa de polimento. A distância percorrida pelo *drogue* foi maior do que o relativo ao comprimento da lagoa, mas o tempo gasto foi menor do que o TDH teórico. Assim, conclui-se que o lodo acumulado diminuiu o TDH teórico e influenciou na hidrodinâmica da ETE de Pirapora.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Drogue*, Lagoa de Estabilização, Hidrodinâmica, Estação de Tratamento de Esgoto.

### INTRODUÇÃO

As lagoas de polimento são unidades de tratamento utilizadas para proporcionar remoção complementar da matéria orgânica (DBO e DQO) de efluentes dos reatores anaeróbios, além de promover remoção de organismos patogênicos, desde que sejam projetadas e operadas adequadamente (CAVALCANTI, 2003; VON SPERLING et al., 2008; VON SPERLING, 2017). A sua eficiência, no entanto, depende de alguns fatores, como os parâmetros de projeto, as características da água residuária e o comportamento hidrodinâmico. Esse último, por sua vez, pode ser influenciado pela geometria da lagoa, número e posicionamento das estruturas de entrada e saída, acúmulo de lodo, padrões de mistura ou estratificação térmica, presença de zonas mortas, ocorrência de curto-circuito, radiação solar, temperatura e vento (VON SPERLING, 2017; COGGINS et al., 2019; PASSOS et al., 2019).

Para avaliação da hidrodinâmica das lagoas têm sido utilizados traçadores salinos, radioativos e fluorescentes, modelagens computacionais com traçadores virtuais e o uso de *drogues* (objetos físicos dispostos em corpos aquáticos para determinação da velocidade e/ou padrão do fluxo) acoplados a GPS, permitindo conhecer as condições de escoamento nesses reatores. Além do padrão de escoamento, pode-se, com o emprego dessas técnicas, obter informações a respeito do efeito das modificações da configuração e/ou das condições operacionais, a partir da análise de variáveis como tempo de detenção hidráulico (TDH), número de dispersão (d), eficiência hidráulica e volumétrica, acúmulo de lodo, entre outras variáveis de caracterização hidrodinâmica (ALVARADO et al., 2013; PASSOS et al., 2018; 2019). Dessa forma, essas técnicas podem ser utilizadas como ferramentas para explicar possíveis mudanças no desempenho de lagoas de polimento.

Intrinsecamente à operação das lagoas, o lodo não se deposita uniformemente no fundo, tendo variabilidade espacial, o que leva a reduzir gradativamente seu volume útil e influenciar nas condições de escoamento e na eficiência do tratamento do esgoto (COGGINS *et al.*, 2017).

## OBJETIVOS

Avaliar a hidrodinâmica em uma lagoa de polimento em escala real, em operação por treze anos, com uso de *drogue* e flutuadores.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A pesquisa foi realizada na estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Pirapora (MG), em operação desde junho de 2008, constituída de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador), calha Parshall, reator UASB e lagoa de polimento; com vazão média afluente de 41 L.s<sup>-1</sup>.

A lagoa de polimento possui 200 x 120 m, com 1,50 m de profundidade, possuindo uma única entrada, submersa e horizontal, e uma saída com vertedor de nível fixo, localizado na face oposta, exatamente alinhada à tubulação de entrada. Considerando as dimensões da lagoa de polimento e a vazão média atual, o TDH teórico é de 9,62 d.

Desde o início de sua operação, nunca foi feita a remoção do lodo da lagoa de polimento, que se acumula, preponderantemente, no centro da lagoa, no mesmo alinhamento dos dispositivos de entrada e saída do efluente, formando uma espécie de “ilha”, com pico de 1,21 m de lodo, enquanto que nas demais áreas da lagoa de polimento, a altura do lodo não ultrapassou 0,4 m (VALIM, 2022).

Para avaliação hidrodinâmica utilizou-se cocos verdes como flutuadores (estes serviram para uma avaliação prévia da hidrodinâmica) e um *drogue* (PASSOS *et al.*, 2014). Ambos foram lançados dentro do PV (poço de visita) localizado a montante da lagoa de polimento.

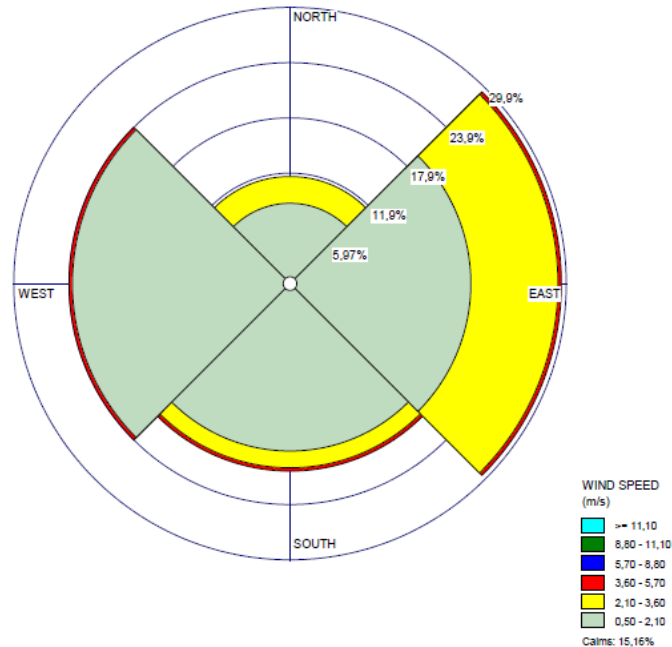
Os cocos verdes, num total de 20 unidades, foram lançados um a um, suas trajetórias foram acompanhadas visualmente e as localizações registradas em um papel quadriculado. Já o *drogue*, consistiu de uma “cápsula” de PVC com 30 cm de comprimento e 100 mm de diâmetro, conectada por meio de dois fios a placas (Figura 1). A cápsula funcionou como um flutuador e no seu interior foi colocado um smartphone com o aplicativo STRAVA, para o registro automático do trajeto percorrido durante o período em que permaneceu na lagoa. Com a finalidade de garantir que o aparelho ficasse ligado durante todo o tempo necessário, uma bateria externa foi conectada ao smartphone. O flutuador do *drogue* foi dimensionado de forma que ficasse com a menor exposição possível ao vento, de forma que houvesse menor influência do mesmo e maior movimentação conforme as linhas de escoamento do líquido.



Figura 1: *Drogue* usado para avaliação da hidrodinâmica na lagoa de polimento.

## RESULTADOS OBTIDOS

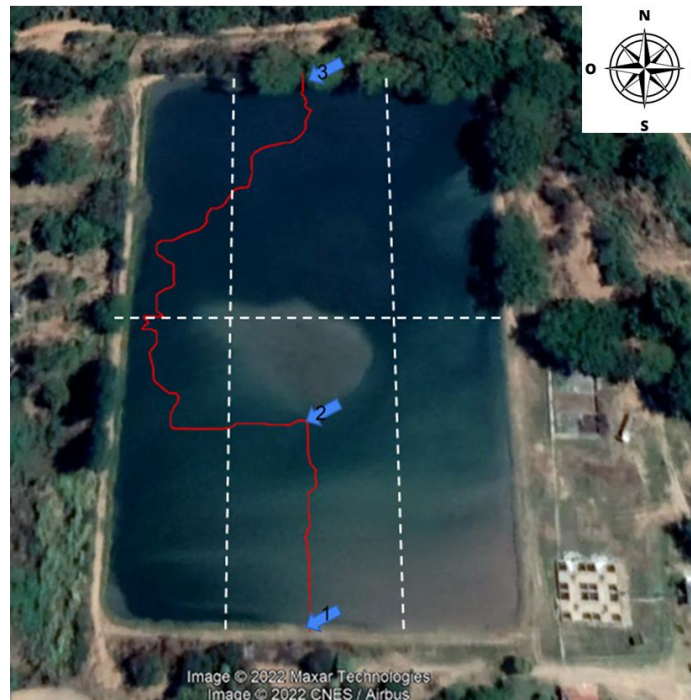
A observação da Rosa dos Ventos presente na Figura 2, sugere que a maioria dos ventos (29,9%) que atingem a estação meteorológica vem do leste, seguido de ventos provenientes do oeste, sul e norte, respectivamente, tendo ventos de até 5,70 m.s-1 que atingem o local de estudo.



**Figura 2: Rosa dos Ventos para a ETE estudada.**

Dos 20 cocos verdes lançados no PV da entrada da lagoa, nenhum seguiu diretamente, em linha reta até o vertedor, dois foram deslocados para a direita e 18 para a esquerda, sugerindo movimento preferencial (caminho preferencial) pela esquerda da lagoa de polimento.

A trajetória do *drogue* na lagoa de polimento está apresentada na Figura 3. As setas numeradas indicam, respectivamente, o PV da entrada da lagoa (local de lançamento do *drogue*), o final da tubulação da entrada da lagoa e o vertedor, local onde o *drogue* foi resgatado.



**Figura 3: Trajetória do *drogue* na lagoa de polimento, indicada pela linha vermelha. As setas indicam (1) PV, (2) fim da tubulação de entrada, (3) vertedor.**

Novamente, verificou-se que logo após a tubulação de entrada, a trajetória do *drogue* seguiu para o lado esquerdo da lagoa de polimento, até, por fim, atingir o vertedor na saída. A distância percorrida pelo *drogue* foi de 330 metros, num tempo de 4,37 dias.

### ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A ausência de cocos seguindo em linha reta, diretamente da entrada até a saída, provavelmente se deve a “ilha” formada pelo lodo, que funcionou como um obstáculo, dificultando a passagem por ali. Já o deslocamento para a esquerda da lagoa, provavelmente é devido à direção dos ventos predominantes, de leste para oeste, que empurravam os cocos verdes para este lado da lagoa. Essas condições sugerem formação de caminhos preferenciais na direção esquerda da lagoa.

Casarotti *et al.* (2012), verificaram a influência dos ventos em lagoas de estabilização com flutuadores de diferentes tamanhos, havendo deslocamento dos mesmos conforme a direção dos ventos, particularmente nos flutuadores de menor tamanho, com 15 e 25 cm de comprimento, mais leves e, conseqüentemente, mais propensos ao arraste pelo vento.

Se o vento influencia na hidrodinâmica, acaba também interferindo no TDH das lagoas de estabilização, como demonstrado por Lloyd *et al.* (2003) e Banda *et al.* (2006). Os autores verificaram que esse efeito é principalmente observado quando a direção dos ventos predominantes é no mesmo sentido da saída da lagoa, tendendo a maximizar o curto-circuito, sobretudo quando a entrada e saída são colocadas frente a frente. Nesta lógica, ventos com padrões diferentes do citado, podem influenciar positivamente no desempenho de lagoas (aumento do TDH).

O *drogue* se deslocou numa trajetória semelhante à da maioria dos cocos verdes. Provavelmente, a “ilha” formada pelo lodo acumulado e a direção predominante dos ventos, contribuíram para que o *drogue* fosse deslocado para a esquerda da lagoa de polimento. O acúmulo de lodo, no centro da lagoa, pode funcionar como um obstáculo à livre circulação do esgoto, tendo efeito sobre a hidrodinâmica (COGGINS *et al.*, 2017).

Nos anos iniciais de operação da ETE provavelmente ocorreria curto-circuito, com o esgoto fluindo da entrada diretamente para a saída, devido a essas estruturas estarem localizadas uma em frente a outra (VON SPERLING, 2017). Com o passar dos anos de operação e acúmulo do lodo, formando “a ilha”, a hidrodinâmica da lagoa modificou-se, conforme demonstra o deslocamento para esquerda dos cocos verdes e do *drogue*.

A distância percorrida pelo *drogue* foi de 330 metros, num tempo de 4,37 dias, valor menor do que o calculado se não houvesse lodo acumulado na lagoa, 9,61 dias. Dessa forma, reforça-se a hipótese da presença de caminho preferencial no escoamento de esgoto na unidade de tratamento.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os resultados utilizando os cocos verdes como flutuadores e o *drogue* de PVC indicaram condições de escoamento semelhantes. A “ilha” de lodo e a direção dos ventos fazem com que haja caminho preferencial pelo lado esquerdo da lagoa de polimento. A distância percorrida pelo *drogue* foi maior do que o relativo ao comprimento da lagoa, mas o tempo gasto foi menor do que o TDH teórico, demonstrando que há um caminho preferencial de deslocamento do esgoto.

Sugere-se a realização de nova avaliação hidrodinâmica da lagoa após remoção do lodo acumulado ou após instalação de novos dispositivos de entrada/saída, a fim de comparar a trajetória dos flutuadores e *drogue* antes e após essas modificações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVARADO, A., VESVIKAR, M., CISNEROS, J.F., MAERE, T., GOETHALS, P., NOPENS, I. *CFD study to determine the optimal configuration of aerators in a full-scale waste stabilization pond*. *Water Research*, v. 47, n. 13, p. 4528-4537, 2013.
2. BANDA, C.G., SLEIGH, P.A., MARA, D.D. *CFD-based design of waste stabilization ponds: Significance of wind velocity*. In: *Proceedings of the 7th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds*, Bangkok, Thailand. p. 25-27. 2006.
3. CAVALCANTI, P.F.F. *Integrated application of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions*. Tese de Doutorado. Universidade de Wageningen. 2003.
4. CASAROTTI, E.G, MATSUMOTO, T., ALBERTIN, L.L. *Avaliação da influência do vento na circulação de uma lagoa de estabilização*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, n. 4, p. 401-412, 2012.
5. COGGINS, L.X., GHISALBERTI, M., GHADOUANI, A. *Sludge accumulation and distribution impact the hydraulic performance in waste stabilisation ponds*. *Water Research*, v. 110, p. 354-365, 2017.
6. COGGINS, L.X., CROSBIE, N.D., GHADOUANI, A. *The small, the big, and the beautiful: Emerging challenges and opportunities for waste stabilization ponds in Australia*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 6, n. 6, p. 1383, 2019.
7. LLOYD, B. J., LLOYD, B.J., LEITNER, A.R., VORKAS, C. A., GUGANESHARAJAH, R.K. *Under-performance evaluation and rehabilitation strategy for waste stabilization ponds in Mexico*. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 2, p. 35-43, 2003.
8. PASSOS, R. G., VON SPERLING, M., RIBEIRO, T.B. *Hydrodynamic evaluation of a full-scale facultative pond by computational fluid dynamics (CFD) and field measurements*. *Water science and technology*, v. 70, n. 3, p. 569-575, 2014.
9. PASSOS, R.G., DIAS, D.F.C., MATOS, M.P., VON SPERLING, M. *Sodium chloride as a tracer for hydrodynamic characterization of a shallow maturation pond*. *Water Practice & Technology*, v. 13, n. 1, p. 30-38, 2018.
10. PASSOS, R.G., FERREIRA, V.V., VON SPERLING, M. *A dynamic and unified model of hydrodynamics in waste stabilization ponds*. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 144, p. 434-443, 2019.
11. VALIM, P.C.N. *Avaliação do Desempenho da Estação de Tratamento de Esgoto de Pirapora-MG e do Acúmulo de Lodo na Lagoa de Polimento em Operação por Treze Anos*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais). Universidade Federal de Lavras (UFLA), 94f. 2022.
12. VON SPERLING, M. *Lagoas de Estabilização: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*, vol. 3. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.
13. VON SPERLING, M., OLIVEIRA, C.M., ANDRADA, J.G., GODINHO, V.M., ASSUNÇÃO, F.A., JUNIOR, W.R.M. *Performance evaluation of a simple wastewater treatment system comprised by UASB reactor, shallow polishing ponds and coarse rock filter*. *Water Science and Technology*, v. 58, n. 6, p. 1313-1319, 2008.