

II-038 - AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA EM LAGOAS DE POLIMENTO RASAS PARA PEQUENAS COMUNIDADES

Ricardo Gomes Passos⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Marcos von Sperling

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College (Universidade de Londres). Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos 6627 – Escola de Engenharia, Bloco 1 – sala 4622; 31270-901 – Belo Horizonte – MG, Brasil - e-mail: ricardogpassos@yahoo.com.br.

RESUMO

Diversos fatores podem causar distúrbios no padrão de fluxo de uma lagoa, influenciando o tempo de detenção hidráulica real e eventualmente a eficiência de remoção de poluentes e patógenos. Um dos fatores é a estratificação térmica, um fenômeno natural que geralmente é negligenciado em projetos de. Este trabalho teve como objetivo avaliar a ocorrência do fenômeno de estratificação térmica e desestratificação em lagoas de polimento rasas em diferentes configurações operacionais e em períodos distintos. A pesquisa foi desenvolvida no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento UFMG/COPASA (CePTS), em Belo Horizonte – MG. O aparato experimental consistiu em um sistema composto de duas lagoas de polimento rasas, concebidas para o pós-tratamento de efluente de reator UASB em pequenas comunidades. O sistema foi projetado para atender uma população de 250 habitantes e uma vazão aproximada de 40 m³/d. Este trabalho compreendeu duas diferentes fases operacionais do sistema: uma na qual as duas lagoas operavam em paralelo, sendo uma com lodo e a outra sem lodo (lodo recentemente removido); e a atual configuração, na qual as lagoas operam em série, sendo a primeira ainda com o lodo, e a segunda sem lodo, com menor profundidade e com duas chicanas longitudinais em 90% do comprimento. Foi possível observar com os dados apresentados que, de forma geral, há eventos periódicos diários de estratificação térmica seguidos de mistura (desestratificação), em ambas as lagoas e fases de operação. Os dados sugerem que quanto maior a profundidade de operação, maior o tempo em que as lagoas podem permanecer estratificadas, mas a mistura/desestratificação não deixa de ocorrer.

PALAVRAS-CHAVE: Estratificação térmica, Lagoas de polimento.

INTRODUÇÃO

A hidrodinâmica de lagoas de estabilização, maturação e polimento tem sido estudada muito mais em termos das relações geométricas superficiais das lagoas (comprimento e largura), buscando averiguar sua adequabilidade aos conhecidos modelos hidráulicos de reatores (mistura completa, fluxo em pistão, fluxo disperso). No entanto, o componente vertical, vinculado à profundidade, tem também grande importância no comportamento das lagoas, e tem sido muito menos coberto pela literatura especializada. Um dos fenômenos relacionados com o movimento vertical nas lagoas é o de estratificação e desestratificação térmica, geralmente negligenciado em projetos (KELLNER E PIRES, 2002).

Devido à diferença de temperatura ou salinidade entre as camadas líquidas das lagoas, um gradiente de densidade é formado e as camadas mais leves (zona do epilímnio) tendem a se sobrepor às mais densas (zona do hipolímnio), criando condição de estratificação (DOR *et al.*, 1993). Tal fenômeno tende a ser prejudicial ao comportamento hidrodinâmico da lagoa, já que pode proporcionar curtos-circuitos do afluente via superfície ou fundo da lagoa; principalmente se o afluente tiver uma temperatura significativamente diferente do fluido já na lagoa e se não há grande mistura na entrada (SHILTON, 2005). Nas palavras de Kellner *et al.* (2009), “*em lagoas completamente misturadas, o fluxo que se encaminha para a saída é radial, tomando água,*

igualmente, de todas as direções. No entanto, em lagoas estratificadas, como os dispositivos de saída localizam-se na região do epilânio e, por serem as vazões efluentes pequenas em relação ao volume total da lagoa, o fluxo vem apenas dessa zona. Portanto, a região de tomada de água é aquela determinada pelo volume útil da lagoa, com influência direta sobre o tempo de detenção hidráulica (TDH) da lagoa e a ocorrência de curtos-circuitos". Portanto, trata-se de uma possibilidade de redução do volume útil (zona ativa) da lagoa e, consequentemente, do TDH real e da eficiência.

A estratificação térmica pode ser estável, persistindo durante meses, ou intermitente, aparecendo durante algumas horas do dia (DOR *et al.*, 1993; PEDAHZUR *et al.*, 1993; TORRES *et al.*, 1997). Em lagoas de maiores profundidades essa estratificação tende a ser mais estável, visto que os gradientes de temperatura tendem a ser maiores. Abis e Mara (2006) observaram grandes períodos de estratificação ao longo do ano em lagoas de estabilização em escala piloto no Reino Unido, sendo que as lagoas tinham profundidade de 1,5m. Silva (1982) e Vidal (1983) relatam perfis verticais de temperatura em lagoas de 1,25 m e 1,50 m, respectivamente, que indicaram períodos diários de estratificação e desestratificação nessas lagoas. Entretanto também há relatos em literatura de estratificação térmica em lagoas de profundidades menores que 0,50m (AGUNWAMBA, 1997; UKPONG *et al.*, 2006).

O objetivo deste trabalho é avaliar a ocorrência do fenômeno de estratificação térmica e desestratificação em lagoas rasas para pequenas comunidades em diferentes configurações operacionais e em períodos distintos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e unidade experimental

A pesquisa foi desenvolvida no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento UFMG/COPASA (CePTS), em Belo Horizonte – MG, na divisa com a cidade de Sabará-MG (latitude 617.600S e longitude 7.799.400 W). A ETE experimental está inserida na ETE Arrudas, operada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), que recebe e trata a maior parcela do esgoto gerado na cidade. Após passar pelo tratamento preliminar da ETE Arrudas (unidade de gradeamento composto por grade grossa manual e fina mecanizada, seguido de desarenador), um pequeno percentual do esgoto é encaminhado à estação experimental, alimentando várias unidades de pesquisa, incluindo as do presente trabalho. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, subtropical/tropical de altitude, com inverno seco e verão quente. A temperatura média anual é 22,1 °C e precipitação de 1540 mm/ano, sendo caracterizado por um período seco que se estende de abril a setembro e um chuvoso que vai de outubro a março. No período seco a temperatura média é de 20,9 °C e a precipitação média de 33 mm/mês, já durante o período chuvoso as temperaturas médias são de 23,4 °C e a precipitação média de 254 mm/mês.

O aparato experimental consiste em um sistema composto de duas lagoas de polimento rasas, concebidas para o pós-tratamento de efluente de reator UASB em pequenas comunidades. O sistema foi projetado para atender uma população de 250 habitantes e uma vazão aproximada de 40 m³/d.

As unidades experimentais do CePTS foram construídas em 2001 e começaram a operar em 2002. Ao longo desse tempo, as lagoas passaram por diferentes arranjos e condições operacionais (funcionamento em série ou paralelo; com ou sem chicanas; com ou sem meio filtrante; diferentes tempos de detenção hidráulica, vazões afluentes e profundidades). Este trabalho compreende duas dessas fases, que passarão a ser denominadas fases 1 e 2:

- Fase 1 (maio de 2013 a dezembro de 2013), na qual as duas lagoas operavam em paralelo, sendo uma com lodo acumulado ao longo de 11 anos de operação e outra sem lodo (lodo recentemente removido).
- Fase 2 (janeiro de 2014 a abril de 2014), na qual as lagoas operam em série; sendo a primeira com a mesma configuração anterior e ainda com o lodo, e a segunda sem lodo, operando com menor profundidade e com duas chicanas longitudinais.

A Figura 1 ilustra os arranjos operacionais para as duas fases.

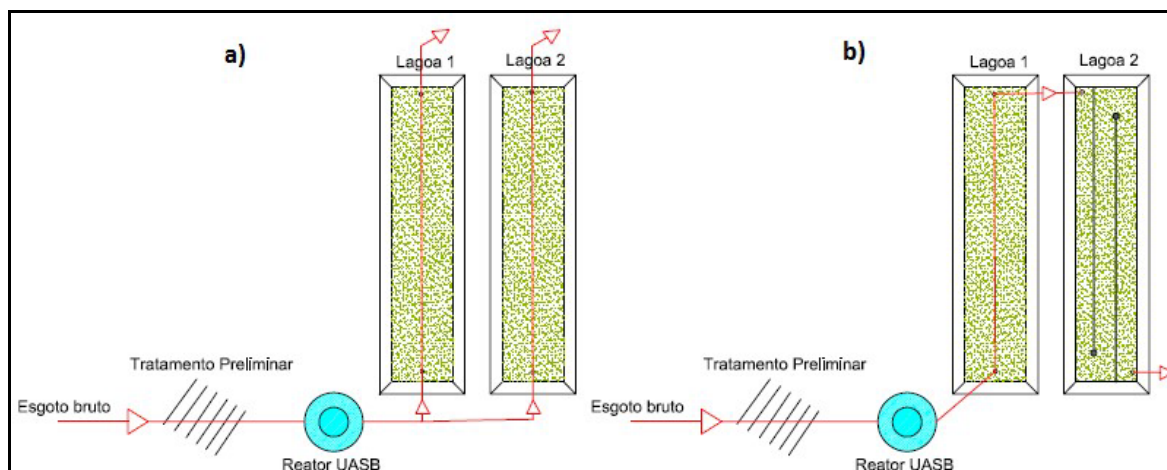


Figura 1: Desenho esquemático ilustrativo do arranjo operacional da ETE experimental CePTS UFMG/COPASA nas duas fases: a) Fase 1: lagoas em paralelo e b) Fase 2: lagoas em série, com chicanas na segunda.

Para melhor leitura, estas lagoas foram denominadas lagoa 1 (ou L1) e lagoa 2 (ou L2), respectivamente, a primeira e segunda lagoa da série.

As lagoas apresentam como principais dimensões/características em cada fase operacional os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Principais dimensões/características das lagoas de polimento do CePTS UFMG/COPASA durante as duas fases operacionais.

	FASE 1		FASE 2	
	Lagoa 1	Lagoa 2	Lagoa 1	Lagoa 2
Configuração geométrica (fundo)	25,00m x 5,25m	25,00m x 5,25m	25,00m x 5,25m	25,00m x 5,25m Duas chicanas longitudinais igualmente espaçadas, em 90% do comprimento
Presença de lodo (altura média)	Sim (0,34m*)	Não	Sim (~0,34m*)	Não
Relação comprimento/largura	~ 4	~ 4	~ 4	~ 44
Profundidade de operação	0,74 m	0,82 m	0,80 m	0,44 m
Área do espelho d'água	178 m ²	184 m ²	182 m ²	159 m ²
Área de fundo	131 m ²	131 m ²	131 m ²	131 m ²
Inclinação dos taludes internos	1 : 1	1 : 1	1 : 1	1 : 1
Vazão afluente	20 m ³ /d	20 m ³ /d	40 m ³ /d	40 m ³ /d
TDH teórico**	3,6 d	6,4 d	2,1 d	1,6 d

*Batimetria realizada por Possmoser-Nascimento *et al.* (2013). **Excluindo-se o volume ocupado pelo lodo, obtido na batimetria de Possmoser-Nascimento *et al.* (2013).

Avaliação da estratificação e desestratificação térmica

Para avaliar se havia condições de estratificação térmica ou mistura nas lagoas, mediu-se a temperatura continuamente ao longo do tempo em diversos pontos e em diferentes períodos. Em cada ponto, a temperatura foi registrada em duas ou três profundidades diferentes (superfície e fundo ou superfície, meio e fundo), por meio de sensores Global Water WQ101® com *datalogger* GL500-7-2 Global Water® e sondas YSI 600XLM V2®, com *datalogger* interno. Ambos os sensores foram calibrados conforme o manual dos fabricantes. Os sensores foram afixados em um cavalete nas profundidades requeridas e os dados armazenados nos *dataloggers*. As profundidades foram definidas de forma a evitar que a sonda de fundo ficasse imersa no lodo

acumulado e a sonda de superfície não ficasse fora d'água com eventuais oscilações de nível nas lagoas. Assim, para definição das profundidades de monitoramento na lagoa 1 consultou-se o mapa batimétrico existente (POSSMOSER-NASCIMENTO *et al.*, 2013) e testes preliminares em campo. A frequência de medição variou de acordo com a programação de coleta de dados e capacidade de armazenamento dos aparelhos, compreendendo intervalos de 01 a 30 minutos. A Figura 2(a) apresenta registro da montagem da sonda YSI 600XLM V2® e a Figura 2(b) registro das sondas Global Water WQ101® na entrada da lagoa 2. A Tabela 2 sumariza as condições de realização dos ensaios.

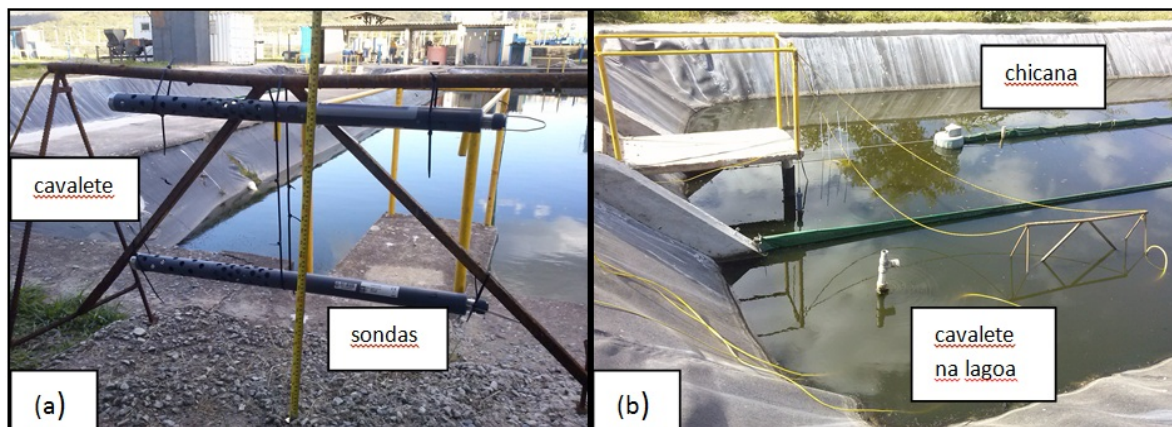


Figura 2: Registro fotográfico (a) da montagem da sonda YSI 600XLM V2® e (b) das sondas Global Water WQ101® na entrada da lagoa 2.

Tabela 2 – Resumo das condições de realização dos monitoramentos de temperatura nas lagoas do CePTS UFMG/COPASA.

Ensaio n°	Período	Estação do ano	Fase de operação do sistema	Lagoa	Local do monitoramento	Altura acima do fundo
1	18/10/13 a 28/10/13	Primavera	Fase 1	2	Ponto central	5cm e 60cm
2	28/10/13 a 04/11/13	Primavera	Fase 1	2	Ponto central	5cm e 60cm
3	23/06/14 a 25/06/14	Inverno	Fase 2	1	Ponto central	35cm e 70cm
4	28/07/14 a 01/08/14	Inverno	Fase 2	2	Final 1ª chicana – 24m a jusante da entrada	10cm, 22cm e 40cm
5	01/08/14 a 05/08/14	Inverno	Fase 2	2	Meio 2ª chicana – 22,5m dos taludes	10cm, 22cm e 40cm
6	05/08/14 a 09/08/14	Inverno	Fase 2	2	Início 3ª chicana – 1,5m do talude	10cm, 22cm e 43cm
7	09/08/14 a 13/08/14	Inverno	Fase 2	2	Final 3ª chicana – 1,3m a montante da saída	10cm, 22cm e 43cm
8	21/02/15 a 28/02/15	Verão	Fase 2	2	Início 1ª chicana - 0,5m a jusante da entrada	7 cm e 33 cm
9	28/02/15 a 09/03/15	Verão	Fase 2	2	Início 1ª chicana - 0,5m a jusante da entrada	6 cm e 38 cm
10	09/03/15 a 23/03/15	Verão	Fase 2	2	1ª chicana – 4,3m a jusante da entrada	6 cm e 38 cm

Nota 1: Nos ensaios 1, 2, 8, 9 e 10 foram utilizadas as sondas Global Water WQ101®. Nos demais, as sondas YSI 600XLM V2®

Nota 2: Intervalo de medição de 01 minuto para o ensaio n° 2; 05 minutos para os ensaios n° 8, 9 e 10; 10 minutos para os ensaios n° 1, 4, 5, 6 e 7; 30 minutos para o ensaio n° 3.

RESULTADOS

A Figura 3 apresenta o perfil de temperatura (superfície e fundo) na lagoa 2 durante a fase 1 (ensaios n° 1 e 2). Os ensaios ocorreram na primavera. Para melhor interpretação do período de tempo, o valor zero no eixo das abscissas corresponde a 00:00h do dia 18/10/13. A linha preta vertical no gráfico indica a separação entre os ensaios.

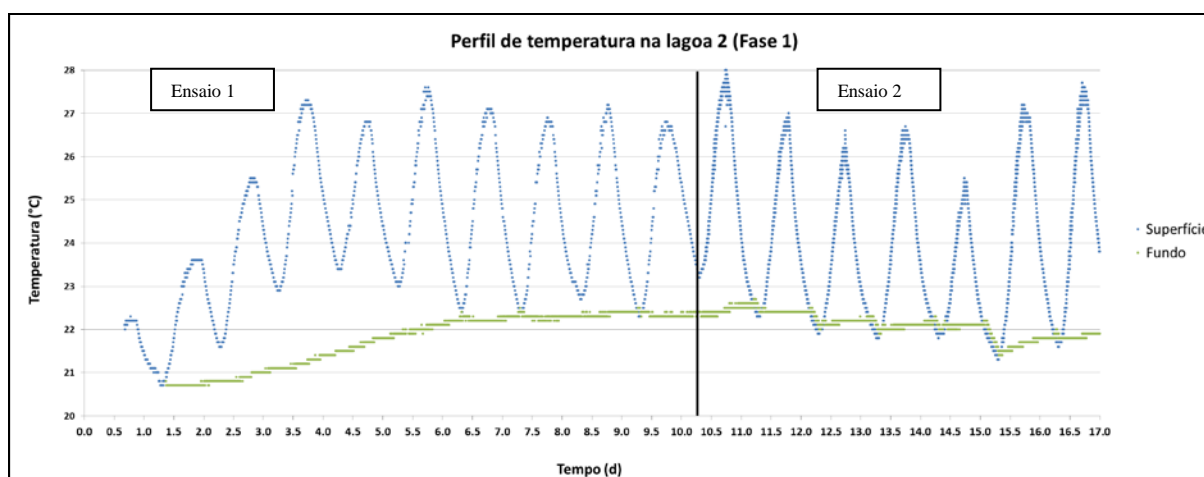


Figura 3: Perfil de temperatura (superfície e fundo) na lagoa 2 do CePTS UFMG/COPASA durante o ensaio 1 na fase 1 de operação. Lagoa 2 sem chicanas e H=0,82 m.

A lagoa manteve diferenças de temperatura entre a superfície e o fundo durante parte do período de monitoramento (diferença mínima de aproximadamente 1°C e máxima de aproximadamente 6°C), principalmente no início, indicando estratificação térmica. Após aproximadamente 6 dias de monitoramento, os gradientes de temperatura passam a indicar mistura/desestratificação durante períodos curtos do dia. Após 11 dias de monitoramento, os eventos de desestratificação e mistura passaram a acontecer em frequência diária e durar em média 8 horas. Nesses ensaios foram observados gradientes de até 11°C/m.

Na média geral de todo o período de monitoramento, os dados do ensaio 2 indicam que a partir das 03h de cada dia ocorre a mistura total das camadas líquidas (quando as temperaturas se igualam) e a partir das 09h da manhã se inicia o processo de estratificação, atingindo a máxima diferença próximo das 18h.

A Figura 4 apresenta o perfil de temperatura (superfície e fundo) na lagoa 1 durante o ensaio n° 3 (inverno), com o eixo das abcissas representando a hora do dia, ao invés do tempo decorrido.

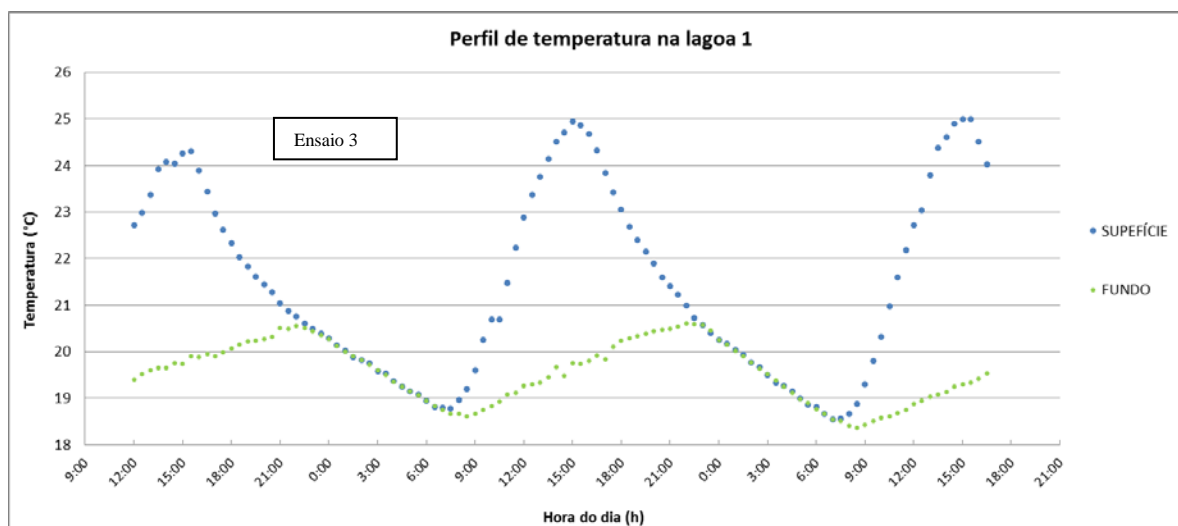


Figura 4: Perfil de temperatura (superfície e fundo) na lagoa 1 do CePTS UFMG/COPASA durante o ensaio n° 5 (fase 2). H=0,80m

Durante esse ensaio, foi possível verificar que as temperaturas se igualam por volta das 23h de cada dia nas profundidades monitoradas, ficando nessas condições até as 07h (assim como na lagoa 2, fase 1, durando cerca de 8 horas). A média das amplitudes máximas de temperatura observadas no ensaio foi de 5,1°C entre a superfície e o fundo (ocorrendo por volta das 15h de cada dia), que para as posições das sondas no ensaio conduziu a um gradiente de temperatura máximo de cerca de 15°C/m. A posição da sonda de fundo na lagoa 1

foi escolhida de forma a aproximar da interface lodo-líquido, portanto, representa o fundo da lagoa em relação ao líquido, e não em relação à geometria. Os gradientes de temperatura foram semelhantes nas duas lagoas, mas ligeiramente superiores na lagoa 1. Provavelmente por ter ocorrido no inverno, o ensaio na lagoa 1 sugere que os eventos de desestratificação acontecem mais cedo que nos ensaios 1 e 2 na lagoa 2 (na primavera).

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios 4, 5, 6 e 7, na lagoa 2 durante a fase 2 e também durante o inverno. Nessa fase a lagoa operou em profundidade ainda mais reduzida e com chicanas. O valor zero no eixo das abcissas corresponde a 00:00h do dia 28/07/14. As linhas pretas verticais no gráfico indicam a separação entre os ensaios.

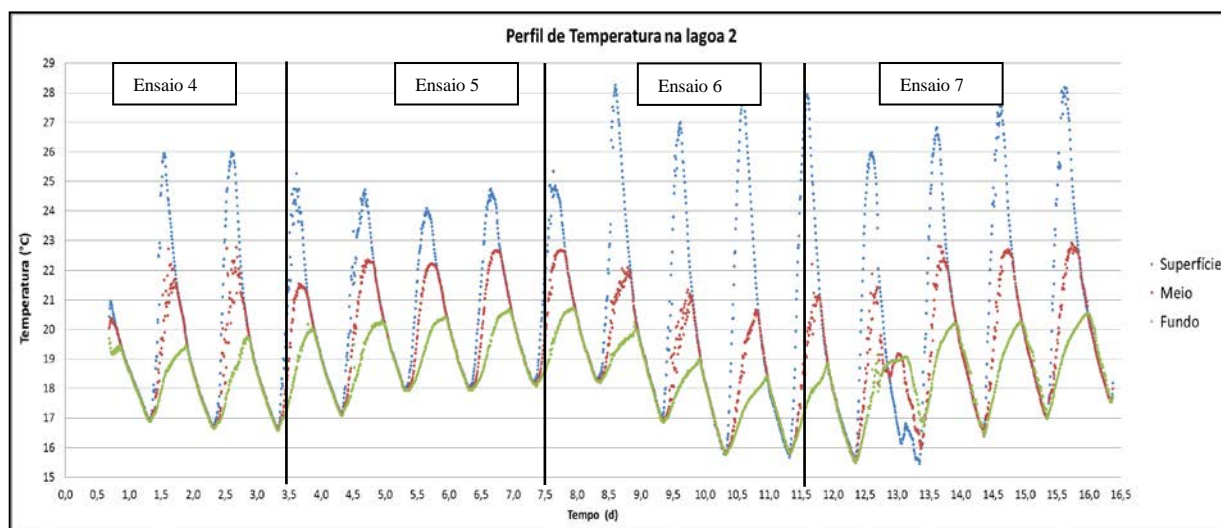


Figura 3: Perfil de temperatura (superfície, meio e fundo) na lagoa 2 do CePTS UFMG/COPASA durante os ensaios 4, 5, 6 e 7 na fase 2 de operação. Lagoa 2 com chicanas e H = 0,44m.

Da mesma forma que nas figuras anteriores, nota-se claramente a ocorrência de eventos periódicos de estratificação térmica (quando as sondas em cada ponto passam a registrar diferentes temperaturas) seguidos de mistura/desestratificação (quando as temperaturas são igualadas ou aproximadas) em todos os ensaios. Também como nos casos anteriores, tais eventos ocorreram a cada período de um dia, mas nestes ensaios iniciando aproximadamente às 08h a estratificação, atingindo a diferença máxima por volta das 13h e igualando as temperaturas novamente (desestratificação) por volta das 21h. Observando-se os resultados dos ensaios 1 e 2 na mesma lagoa durante a fase anterior, na qual a mesma operava com quase o dobro da profundidade e sem chicanas, nota-se que a lagoa permaneceu por mais tempo estratificada que nas condições destes ensaios, mas ainda com ciclos diários de oscilações da temperatura. O período em que a lagoa ficou em mistura vertical nestes ensaios foi de 11 horas.

Observa-se que há pouca diferença de comportamento da temperatura nas diferentes profundidades entre os ensaios 4 e 5 e entre os ensaios 6 e 7 (quando apenas o local de monitoramento na lagoa chicaneada é alterado), sugerindo não haver diferença significativa do comportamento térmico em relação à posição no plano horizontal da lagoa. Entretanto, comparando os ensaios 4 e 5 com os ensaios 6 e 7, nota-se aumento das amplitudes de temperatura em função da redução da elevação da sonda da superfície em 3 cm (um pouco mais próximo da interface água-ar). Foram observados gradientes situados até na faixa dos 30°C/m durante os ensaios 6 e 7.

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios 8, 9 e 10, na lagoa 2, fase 2, durante o verão. O valor zero no eixo das abcissas corresponde a 00:00h do dia 21/02/15. As linhas pretas verticais no gráfico indicam a separação entre os ensaios. Devido a uma interrupção no fornecimento de energia durante o ensaio 10, há uma falha de aproximadamente 3 dias na série histórica.

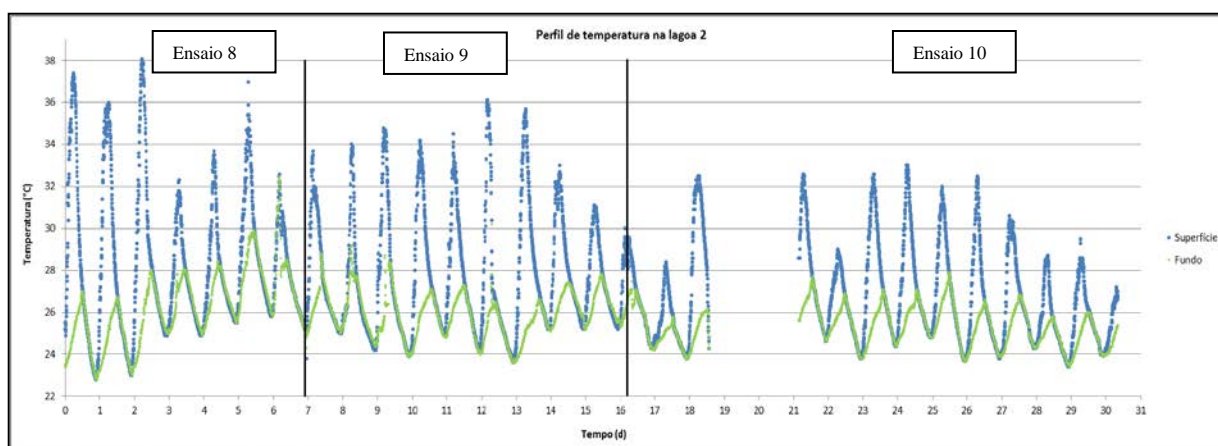


Figura 3: Perfil de temperatura (superfície e fundo) na lagoa 2 do CePTS UFMG/COPASA durante os ensaios 8, 9 e 10 na fase 2 de operação. Lagoa 2 com chicanas e $H = 0,44m$.

Novamente, observa-se claramente a ocorrência de eventos periódicos de estratificação térmica (quando as sondas em cada ponto passam a registrar diferentes temperaturas), seguidos de mistura/desestratificação (quando as temperaturas são igualadas ou aproximadas) sistematicamente em frequência diária, em todos os ensaios, mesmo esses tendo sido realizados durante o verão. Nesses ensaios, a estratificação se inicia nas proximidades de 07h-08h, atingindo a máxima diferença de temperatura entre as camadas por volta das 15h e igualando as temperaturas novamente por volta das 21h, de forma bastante semelhante aos ensaios na mesma lagoa durante o inverno. Foram observados gradientes superiores a $40^{\circ}C/m$ durante o ensaio 8 e na faixa dos $30^{\circ}C/m$ nos ensaios 9 e 10.

O ensaio 8 aconteceu com as sondas bem próximas à entrada do afluente, onde há maior turbulência do fluido. A intenção foi de verificar se o momentum e a turbulência fornecidos pelo fluxo de entrada eram capazes de evitar a estratificação. Os dados sugerem que não, visto que foram observados os mesmos ciclos diários de estratificação/desestratificação. Há de se ressaltar que o fluido afluente à lagoa 2 tende a apresentar temperatura semelhante ao fluido nas proximidades do local de chegada, já que esse fluxo é proveniente da primeira lagoa da série. Tanto a tomada d'água na saída da lagoa 1 quanto a chegada do efluente na lagoa 2 ocorrem na superfície.

Para fins de comparação, registra-se que Kellner e Pires (2002) sugerem o gradiente térmico de $0,6^{\circ}C/m$ ao longo da profundidade de uma lagoa como valor limite para identificação de estratificação térmica. Tomando por base tal referência, os eventos de estratificação térmica podem ser confirmados em todos os ensaios. Os eventos de desestratificação com mistura das camadas líquidas ocorreram também em todos os ensaios, com duração entre 07 e 11 horas.

CONCLUSÕES

- Foi possível observar com os dados apresentados que, de forma geral, há eventos periódicos diários de estratificação térmica seguidos de mistura (desestratificação), em ambas as lagoas e fases de operação.
- Os dados sugerem que, quanto maior a profundidade de operação, maior o tempo em que as lagoas podem permanecer estratificadas, mas a mistura/desestratificação não deixa de ocorrer.
- Gradientes de temperatura máximos situados nas faixas de $11^{\circ}C/m$ a $40^{\circ}C/m$ foram encontrados durante os períodos de estratificação. Comparando com o valor de referência de $0,6^{\circ}C/m$ que mesmo em lagoas rasas é possível o acontecimento desse fenômeno, inclusive com gradientes bastante elevados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, Capes, Finep, Fapemig e Copasa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIS, K. L.; MARA, D. D. Temperature measurement and stratification in facultative waste stabilisation ponds in the UK climate. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 114, n. 1-3, p. 35-47, 2006.
2. AGUNWAMBA, J. C. Prediction of bacterial population in WSPs using multiple depth layer model, I.E. (1), *Journal- EN*, v. 77, p. 42- 48, 1997.
3. DOR, I.; FURER, O.; ADIN, A.; BEN-YOSEF, N. Turbidity related to surface temperature in oxidation ponds: studies toward development of a remote sensing method. *Water Science and Technology*, v. 27, n. 7-8, p. 37-44, 1993.
4. KELLNER, E.; MOREIRA, J. F. V.; PIRES, E. C. Influência da estratificação térmica no volume útil e no comportamento hidrodinâmico de lagoa de estabilização: determinação experimental e teórica. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 129 – 138, 2009.
5. KELLNER, E. PIRES, E. C. The influence of thermal stratification on the hydraulic behavior of waste stabilization ponds. *Water Science and Technology*, v. 45, n. 1, p 41– 48, 2002.
6. PEDAHZUR, R.; NASSER, A. M.; DOR, I.; FATTAL, B.; SHUVAL, H. I. The effect of baffle installation on the performance of a single-cell stabilization pond. *Water Science and Technology*, v. 27, n. 7-8, p. 45-52, 1993.
7. POSSMOSER-NASCIMENTO, T. E; RODRIGUES, V. A. J.; VON SPERLING, M. Acumulação e distribuição espacial do lodo em um sistema de lagoas de polimento em série. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. [Anais...] Goiânia: ABES, 2013.
8. SHILTON, A. *Pond treatment technology*. London: IWA Publishing, 2005. 479 p.
9. SILVA, S. A. *On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in northeast Brazil*. 1982. 203 p. PhD Thesis - University of Dundee. U.K. 1982.
10. TORRES, J. J.; SOLER, A. J.; SÁEZ, J.; ORTUNO, J. F. Hydraulic performance of a deep wastewater stabilization pond. *Water Research*, v. 31, n.4, p. 679-688, 1997.
11. UKPONG, E. C.; AGUNWAMBA, J. C.; EGBUNIWE, N. Stratification in waste stabilization ponds I: effects on pond parameters. *Nigerian Journal of Technology*, v. 25, n. 2, p. 46-59, 2006.
12. VIDAL, W. L. Aperfeiçoamentos hidráulicos no projeto de lagoas de estabilização, visando redução da área de tratamento: uma aplicação prática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, 1983, Balneário de Camburiú. [Anais...] Balneário de Camboriú: ABES, 1983.