

**II-196 - DESEMPENHO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA PEQUENAS COMUNIDADES COMPOSTO POR REATOR UASB, LAGOAS DE POLIMENTO EM SÉRIE (LAGOA SEM CHICANA E LAGOA COM CHICANA) E FILTRO GROSSEIRO DE PEDRA**

**Daniel Filipe Cristelo Dias**

Licenciado em Engenharia Civil pela Universidade do Algarve (Portugal). Mestre em Engenharia Civil: Geotecnia e Ambiente, no Programa de Mestrado em Engenharia Civil, pela Universidade da Beira Interior (Portugal). Doutorando em Saneamento no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais.

**Ricardo Gomes Passos**

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.

**Valéria Antônia Justino Rodrigues**

Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (Brasil). Engenheira de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Viçosa (Brasil). Mestrado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, no Programa de Mestrado em Ciência Florestal, pela Universidade Federal de Viçosa (Brasil). Especialista em Direito Agrário e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (Brasil). Doutoranda em Saneamento no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais (Brasil).

**Leandro Jefferson Martins**

Graduando em Engenharia Ambiental na Universidade federal de Minas Gerais. Voluntário de iniciação científica no Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental na Universidade federal de Minas Gerais

**Marcos von Sperling** <sup>(1)</sup>

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** <sup>(1)</sup>: Av. Antônio Carlos 6627 – Escola de Engenharia, Bloco 1 – sala 4622; 31270-901 – Belo Horizonte - MG, Brasil - e-mail: [marcos@desa.ufmg.br](mailto:marcos@desa.ufmg.br).

**RESUMO**

As lagoas de maturação (polimento) operadas como pós-tratamento do efluente de reatores anaeróbios (UASB) são consideradas bastante adequadas para o tratamento de esgoto doméstico de pequenas e médias comunidades com climas tropicais. Estes sistemas são simples de operar, possuem boa remoção de matéria orgânica e nitrogênio, e são eficientes na remoção de organismos patogênicos. Apesar destes atributos, normalmente demandam uma área por habitante relativamente grande quando comparado com outros sistemas de tratamento. Por outro lado, ocorre um aumento de matéria orgânica na forma de algas nas lagoas devido à alta insolação presente em países tropicais, deteriorando o efluente final. Para contornar estes problemas, foi proposto reduzir a área necessária para o tratamento de esgoto de cerca de 2,0 a 2,5 m<sup>2</sup>/hab para 1,5 m<sup>2</sup>/hab, mas mantendo altas eficiências na remoção dos principais constituintes. Após o reator UASB, a utilização de uma lagoa sem chicanas e outra em série com chicanas com uma profundidade rasa (0,43 m) foi proposta para reduzir a área necessária. Também foi incorporado um filtro grosseiro de brita com três granulometrias decrescentes após a série de lagoas, com o objetivo de remover matéria orgânica particulada remanescente e formada nas lagoas. O filtro grosseiro substituiu uma terceira lagoa em série na configuração anterior. O sistema foi concebido para tratar os esgotos de 250 hab, e os resultados obtidos ao longo de 15 meses de monitoramento foram muito bons em termos de eficiências de remoção de DBO e DQO, com medianas de 92,7% e 90,2%, respectivamente, e excelente na remoção de *E. coli* (mediana: 6,4 unidades log), atingindo a meta da OMS para irrigação restrita e algumas modalidades de irrigação irrestrita.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto doméstico, Lagoas de polimento, Reator UASB, Filtro de brita.

## INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto por meio do uso de sistemas naturais é considerado uma alternativa atraente para os países em desenvolvimento. Lagoas de estabilização se ajustam a esta premissa na plenitude, visto que são caracterizadas por seu baixo custo, simples operação e manutenção e não demandam unidades mecanizadas ou operadores especializados (GLOYNA, 1971). Em climas tropicais são consideradas ideais para o tratamento de esgoto, devido a fatores como a temperatura média anual elevada e a incidência da luz solar. Noyola *et al.* (2012) mostraram que sistemas compostos por lagoas são a tecnologia mais aplicada em países da América Latina.

As lagoas de maturação são variantes dos sistemas de lagoas e têm como principal objetivo a remoção de organismos patogênicos através de processos naturais, mas também promovem uma remoção complementar de matéria orgânica e amônia. Quando lagoas de maturação tratam o efluente de um reator anaeróbio como, por exemplo, um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), são consideradas como uma fase de polimento no tratamento das águas residuárias, sendo comumente chamadas de lagoas de polimento (CHERNICHARO, 2007).

Apesar da boa remoção de matéria orgânica obtida nos reatores UASB, von Sperling (2002), Chernicharo (2007) e Oliveira e von Sperling (2011) sugerem a necessidade de sistemas complementares para remoção da matéria orgânica remanescente, nutrientes e organismos patogênicos, visto que o efluente do reator UASB normalmente não atende aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental.

Lagoas de maturação normalmente têm uma profundidade de cerca de 1,0 m, por conseguinte, um ambiente ideal é criado para o decaimento de coliformes termotolerantes devido às altas concentrações de oxigênio dissolvido (OD), níveis de pH elevado (>8,5) e grande exposição à radiação solar, sendo possível obter reduções de coliformes termotolerantes na ordem dos 99,999% (VON SPERLING, 2005). Dias *et al.* (2014) mostraram que é possível obter excelentes resultados em termos de remoção de *E. coli* e nitrogênio total praticando profundidades rasas, de 0,40 a 0,80 m (especialmente na configuração mais rasa) num sistema composto por um reator UASB seguido por três lagoas de maturação/polimento em série, com a inserção de um filtro grosso no último terço da terceira lagoa. A remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos foi considerada satisfatória. A Organização Mundial de Saúde (WHO, 1989) considera que para países em desenvolvimento, as lagoas de estabilização são o meio mais indicado para tratar esgoto bruto.

As lagoas de estabilização, especialmente as lagoas de maturação, são utilizadas para tratar efluentes de unidades primárias, tendo como objetivo a desinfecção, visto que oferecem um tratamento de polimento em termos de decaimento de organismos patogênicos (BASTOS *et al.*, 2011; DIAS *et al.*, 2014; GODINHO *et al.*, 2010; JACK *et al.*, 2005; NELSON *et al.*, 2009; SINTON *et al.*, 2002; VON SPERLING, BASTOS e KATO, 2005; VON SPERLING e MASCARENHAS, 2005; VON SPERLING e DE ANDRADA, 2006; VON SPERLING *et al.*, 2010; VON SPERLING, 2008) e permitem a reutilização do efluente para fins agrícolas (SANTOS *et al.*, 2009).

O presente trabalho tem como propósito avaliar o desempenho das unidades estudadas por Dias *et al.* (2014) em uma nova configuração, na qual a segunda lagoa da série passou a operar com chicanas longitudinais e a última lagoa foi toda convertida em um filtro grosso de brita com granulometria decrescente. Esta nova configuração foi concebida com apenas 1,5 m<sup>2</sup>/hab para tratar o esgoto bruto doméstico de um equivalente populacional de cerca de 250 habitantes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Descrição do local de estudo

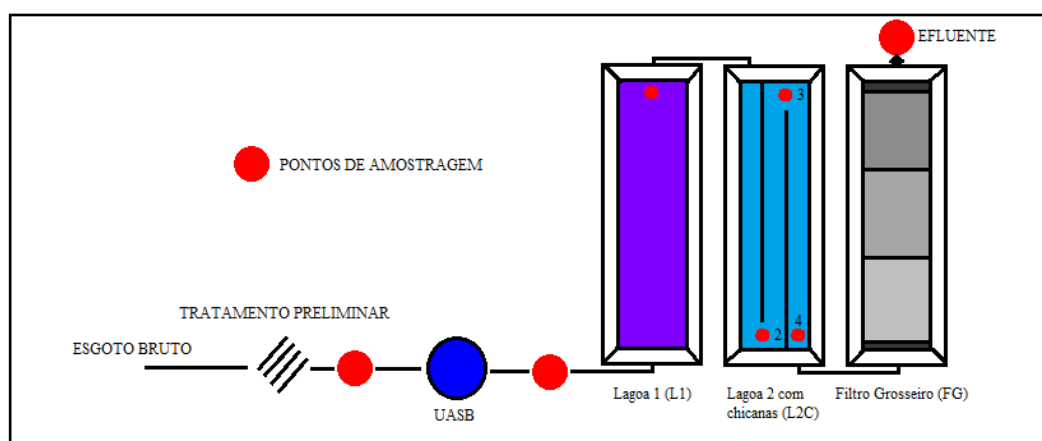
As unidades de tratamento localizam-se no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS), que se encontra no limite entre os municípios de Belo Horizonte e Sabará/MG, numa área localizada na estação de tratamento de esgotos (ETE) do Arrudas, operada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) (Figura 1). As coordenadas geográficas são: latitude 617.600 S e longitude 7.799.400 O. clima na região, de acordo com a classificação de Köppen, é Cwa – altitude tropical, temperatura média anual de 22,1 °C e uma precipitação anual de 1540 mm. A ETE Arrudas foi construída para atender às necessidades de Belo

Horizonte, e permite que seja desviada uma pequena quantidade do esgoto bruto para o CePTS, de modo que sejam realizadas pesquisas com o afluente de mesmas características da cidade. As unidades experimentais recebem o esgoto bruto após ter passado por um tratamento preliminar (remoção mecanizada de sólidos superiores a 15 mm através de grades e sedimentação de areia numa caixa de areia).



**Figura 1 - Localização da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Arrudas e CePTS.**

O sistema é composto por um reator UASB seguido por duas lagoas de polimento e um filtro grosso, em série (Figura 2).



**Figura 2 - Fluxograma das diversas unidades do sistema em operação – CePTS UFMG/COPASA.**

O reator UASB (Figura 3) recebe o esgoto bruto após um tratamento preliminar e encaminha o seu efluente para a primeira lagoa da série. O reator UASB, as lagoas de polimento e o filtro grosso foram projetados para atender a uma população contribuinte de 250 habitantes. O sistema, como um todo, ocupa uma área útil de cerca de 1,5 m<sup>2</sup>/habitante.

A primeira lagoa (L1) da série encontra-se em operação há 12 anos, e tem lodo acumulado no fundo correspondendo a 40 % do seu volume útil (POSSMOSER-NASCIMENTO *et al*, 2013, 2014). A segunda lagoa (L2C) teve todo o seu lodo retirado e foi alvo de obras para esta pesquisa, com a inserção de duas chicanas em 90% do comprimento da mesma, bem como a redução de sua altura útil, visando aumentar a eficiência na remoção de coliformes. A terceira lagoa foi toda convertida em um filtro grosso (FG) com granulometria decrescente (Figura 3).





**Figura 3 - Unidades do sistema de tratamento de esgoto. Reator UASB (A); Primeira lagoa da série (L1); Segunda lagoa da série com chicanas (L2C); (D) Filtro grossoiro de Brita (FG).**

A altura do reator UASB é de 4,5 m, diâmetro de 2,0 m, totalizando um volume de 14,2 m<sup>3</sup> e resultando num tempo de detenção hidráulica (TDH) médio de 0,4 d.

O FG está dividido em compartimentos de granulometria decrescente de modo a aumentar a eficiência e reduzir a possibilidade de colmatção, sendo composto por brita 3 (25 – 50 mm), brita 2 (19 - 25 mm) e brita 1 (9,5 – 19 mm) (Figura 3D). A análise granulométrica efetuada no material utilizado revelou os seguintes índices:

- Brita 3:  $d_{10} = 27$  mm;  $d_{90} = 48$  mm; coefic. uniform.  $d_{60}/d_{10} = 1,37$ ; índice de vazios (porosidade) = 0,48
- Brita 2:  $d_{10} = 14$  mm;  $d_{90} = 26$  mm; coefic. uniform.  $d_{60}/d_{10} = 1,55$ ; índice de vazios (porosidade) = 0,45
- Brita 1:  $d_{10} = 9$  mm;  $d_{90} = 18$  mm; coefic. uniform.  $d_{60}/d_{10} = 1,50$ ; índice de vazios (porosidade) = 0,43

A Tabela 1 mostra os principais parâmetros do projeto das lagoas e filtro.

**Tabela 1 - Principais parâmetros de projeto e operação das lagoas de polimento e filtro grossoiro.**

Características	Unidade	Lagoa 1 (L1)	Lagoa 2 (L2C)	Filtro Grossoiro (FG)
Comprimento no fundo	m	25	25	25
Largura do fundo	m	5,25	1,75*	5,25
Altura da lâmina d'água	m	0,77	0,43	0,51
Inclinação dos taludes	graus	45	45	45
Área superficial	m <sup>2</sup>	155	145	147
Vazão média	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	37	37	37
TDH (teórico)	d	3,3 <sup>+</sup>	1,7	1,0

\* Largura entre chicanas; <sup>+</sup> O Cálculo do TDH teórico da primeira lagoa levou em conta a profundidade completa, desconsiderando o volume ocupado pelo lodo acumulado.

Os pontos de amostragem estão indicados em vermelho na . O afluente e o efluente de cada unidade foram monitorados. Na lagoa 2 (LC2) há pontos de monitoramento no final de cada chicana (L2C2, L2C3 e L2C4=L2C), que foram utilizados para a análise de alguns parâmetros (OD, pH, temperatura, coliformes totais e *E. coli*).

O período de monitoramento começou em Janeiro de 2014 e terminou em Abril de 2015, totalizando um ano e três meses de monitoramento quase contínuo, salvo algumas exceções devido a feriados e férias letivas. O monitoramento teve frequência predominantemente semanal, e o número de amostras (*n*) varia para cada parâmetro, entre 8 e 40. Algumas concentrações totais não equivalem ao somatório das suas partes integrantes, devido ao fato de estarem associadas a diferentes números de amostras. A coleta das amostras dos efluentes ocorreu na parte da manhã, entre as 08:00 e 09:30 horas. As análises foram efetuadas segundo o Standard Methods (APHA/AWWA/WEF, Standard Methods, 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentadas as concentrações médias e medianas dos principais constituintes do esgoto bruto e do efluente de cada unidade de tratamento, bem como os seus respectivos desvios padrões (entre parênteses). A Tabela 3 exibe as respectivas eficiências de remoção dos parâmetros das concentrações de maior interesse. Na Tabela 4 são mostrados os valores médios e medianos dos parâmetros ambientais presentes em cada unidade de tratamento. Cada parâmetro é abordado em pormenor nos itens subsequentes.

**Tabela 2 - Resumo dos valores médios/medianos (desvio padrão) das concentrações dos efluentes ao longo da linha de tratamento.**

Parâmetro	Esgoto Bruto	UASB	Lagoa 1 (L1)	Lagoa 2 (L2C4)	Filtro Grosseiro de Brita (FG)
DBO Total	278/257 (101)	81/73 (27)	66/55 (30)	67/56 (28)	17/17 (2)
DBO Particul.	155/138 (48)	44/41 (21)	39/40 (19)	41/36 (22)	4/5 (3)
DBO Filtrada	75/64 (33)	39/35 (17)	29/25 (20)	26/20 (16)	13/13 (3)
DQO Total	485/481 (133)	218/208 (59)	221/215 (94)	186/189 (91)	53/47 (32)
DQO Particul.	332/324 (83)	121/125 (46)	124/119 (75)	84/79 (65)	33/33 (12)
DQO Filtrada	181/204 (61)	107/108 (60)	111/127 (65)	108/110 (60)	33/46 (28)
SST	198/165 (102)	33/30 (14)	67/61 (31)	91/78 (54)	35/34 (15)
SSV	158/154 (78)	28/26 (12)	63/61 (30)	85/79 (51)	32/31 (14)
NTK	26/26 (7)	30/29 (6)	25/24 (6)	16/16 (6)	15/13 (5)
Amônia-N	24/23 (7)	29/28 (7)	22/20 (7)	15/16 (7)	13/12 (6)
Colif. Totais*	$7,32 \times 10^{+10}$	$3,45 \times 10^{+09}$	$1,87 \times 10^{+07}$	$3,12 \times 10^{+05}$	$9,58 \times 10^{+04}$
	$8,23 \times 10^{+10}$	$5,68 \times 10^{+09}$	$1,98 \times 10^{+07}$	$4,45 \times 10^{+05}$	$1,12 \times 10^{+05}$
<i>E. coli</i> *	$1,23 \times 10^{+10}$	$7,55 \times 10^{+08}$	$2,96 \times 10^{+06}$	$3,74 \times 10^{+04}$	$5,37 \times 10^{+03}$
	$1,20 \times 10^{+10}$	$1,85 \times 10^{+09}$	$2,44 \times 10^{+06}$	$4,80 \times 10^{+04}$	$6,39 \times 10^{+03}$

Unidades: mg/L, exceto coliformes totais e *E. coli* (NMP/100 mL).

\* Coliformes totais e *E. coli*— média geométrica/mediana;

**Tabela 3 - Eficiências de remoção (medianas) das concentrações dos efluentes das unidades ao longo da linha de tratamento, bem como pontos intermediários na lagoa 2.**

Parâmetro	UASB	Lagoa 1 (L1)	Lagoa 2 (L2C2)	Lagoa 2 (L2C3)	Lagoa 2 (L2C4)	Filtro Grosseiro de Brita	EB – L1	EB – L2C4	EB – FG
DBO Total	71,7	12,3	-	-	-17,9	75,6	75,9	73,5	92,7
DQO Total	59,5	-1,0	-	-	12,4	47,8	55,3	63,3	90,2
SST	84,0	-80,4	-	-	-9,8	68,4	58,0	44,6	86,7
NTK	-24,7	13,9	-	-	33,3	-1,1	4,3	30,2	43,4
Amônia-N	-25,3	24,3	-	-	28,3	0,0	15,1	37,8	50,4
Colif.Tot.	1,1	2,1	0,6	0,9	0,3	0,6	3,6	5,5	6,0
<i>E. coli</i>	1,0	2,3	0,5	0,9	0,5	1,1	3,7	5,5	6,4

Eficiência de remoção (%), exceto coliformes totais e *E. coli* (unidades log). (EB = esgoto bruto; L1 = Lagoa 1; L2C2, L2C3 e L2C4 = Lagoa 2, ao longo das chicanas; FG = Filtro grosseiro de brita)

**Tabela 4 - Resumo dos valores médios/medianos (desvio padrão) dos dados ambientais dos efluentes ao longo da linha de tratamento, bem como pontos intermediários na lagoa 2.**

Parâmetro	Esgoto Bruto	UASB	Lagoa 1 (L1)	Lagoa 2 (L2C2)	Lagoa 2 (L2C3)	Lagoa 2 (L2C4)	Filtro Grosso de Brita (FG)
<b>Turbidez (UT)</b>	220/179 (139)	60/52 (23)	81/67 (50)	87/63 (74)	88/61 (70)	86/56 (75)	36/26 (30)
<b>Temp. (°C)</b>	24,4/24,5 (1,7)	24,4/24,1 (2,0)	22,5/22,7 (2,4)	21,6/21,1 (2,4)	21,5/21,1 (2,3)	21,3/20,8 (2,2)	21,7/21,9 (2,8)
<b>OD (mg/L)</b>	-	-	6,67/5,80 (3,57)	7,99/6,1 (4,77)	8,93/8,7 (4,71)	9,29/7,83 (4,38)	-
<b>pH (-)</b>	7,5/7,5 (0,2)	7,2/7,3 (0,1)	7,9/7,9 (0,3)	8,6/8,5 (0,4)	8,7/8,7 (0,4)	8,9/8,8 (0,5)	8,1/8,1 (0,2)
<b>POR (mV)</b>	-184/-205 (74)	-173/-165 (32)	9/12 (43)	26/26 (38)	28/24 (41)	34/28 (38)	-116/-179 (125)
<b>Alcalinidade (mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>	193/195 (35)	234/246 (52)	205/200 (44)	-	-	182/180 (30)	204/206 (41)

OD: oxigênio dissolvido; POR: potencial de oxirredução.

#### Vazão e Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)

Durante o tempo operacional a vazão afluyente apresentou um valor médio de 37 m<sup>3</sup>/d, sendo que a linha de tratamento foi dimensionada para uma capacidade de vazão máxima de 40 m<sup>3</sup>/d, equivalente ao tratamento de esgoto de uma população de 250 habitantes. O valor médio é bastante próximo ao valor de projeto, sendo difícil controlar totalmente a vazão do afluyente devido às variações da mesma. O sistema como um todo apresentou um TDH total de apenas 6,4 d, isto é, 1,0 d inferior aos 7,4 d que von Sperling e Mascarenhas (2005) relataram em um sistema semelhante, composto por um reator UASB e 4 lagoas de polimento em série. Num outro sistema semelhante composto por três lagoas e um filtro de pedra no fim da terceira lagoa (VON SPERLING *et al.*, 2008), o TDH foi mais que o dobro do TDH encontrado neste sistema. É possível observar que o TDH na segunda lagoa (Tabela 1) foi bastante inferior ao mínimo recomendado por Mara (2003), que é de 3,0 d, enquanto o TDH da primeira lagoa foi um pouco superior a esse valor. Este valor mínimo recomendado serve para não ocorrer qualquer tipo de “wash-out” das algas presentes nas lagoas, mas até hoje não foi observada dificuldade de crescimento e de estabelecimento da população algal. O filtro grosseiro de brita recebeu uma taxa de carga superficial entre 0,2 e 0,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d ao longo do período de monitoramento.

#### DBO e DQO

Na Figura 2 é possível observar as concentrações da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), bem como as respectivas eficiências de remoção. As eficiências medianas de remoção são apresentadas para cada uma das unidades de tratamento, para o sistema em global e o acumulado desde o esgoto bruto (EB) até a L1, L2C e o FG. O reator UASB efetuou a remoção maioritária de DBO, removendo aproximadamente 71,7% e produzindo um efluente com uma concentração média de 81 mg/L (Tabela 2). A taxa de aplicação superficial média aplicada na primeira lagoa durante o monitoramento foi de 195 kgDBO/ha.d, indicando que esta primeira lagoa, do ponto de vista de carregamento orgânico, se aproxima de lagoas facultativas, que têm valores usuais de projeto entre 100 e 350 kgDBO/ha.d (VON SPERLING, 2002). A primeira lagoa (L1) da série ainda efetuou uma remoção complementar de DBO, enquanto a segunda lagoa (L2C4) teve uma tendência contrária, ao aumentar a concentração de DBO em 17,9%, provavelmente devido à produção de algas. Von Sperling *et al.* (2008) e Dias *et al.* (2014) observaram a mesma tendência num sistema com uma configuração semelhante. A remoção global de DBO desde o esgoto bruto até o filtro grosseiro (EB – FG) foi de 92,7% (Tabela 3 e Figura 4), que pode ser considerada muito boa. A eficiência de remoção global deste sistema aumentou 12,7% em comparação com o sistema estudado por Dias *et al.* (2014), reforçando o papel importante que o filtro grosseiro de brita tem na remoção de DBO proveniente das lagoas. A concentração média de DBO do efluente do FG foi de 17 mg/L (Tabela 2), considerada baixa. A DBO filtrada diminuiu em concentração ao longo da linha de tratamento, ocorrendo a maior remoção no UASB e no



FG, sendo que a concentração do efluente final do FG foi de 13 mg/L. A DBO particulada aumentou em concentração nas lagoas devido à intensa atividade algal, mas após a passagem pelo FG este reduziu a sua concentração para 4 mg/L. Isto destaca a importância de incluir uma unidade de tratamento de filtração, tal como um FG, após uma série de lagoas de maturação (Tabela 2 e Figura 4).

Em termos de DQO, a eficiência de remoção global para a linha de tratamento completa (EB – FG) foi muito boa, de 90,2%, sendo que as maiores contribuições de remoção foram devidas ao reator UASB e ao FG (Tabela 3 e Figura 4). O reator UASB apresentou um efluente com concentração média de 218 mg/L, após o qual houve um pequeno aumento de concentração de DQO na L1, devido às algas, e uma diminuição da concentração de DQO na L2C4. O aumento da concentração de DQO na L1 é, provavelmente, devido à presença de massa algal, mas como nunca foi removido o lodo na L1, este pode ter influenciado a remoção complementar que a primeira lagoa tem demonstrado ao longo dos últimos 12 anos. O FG apresentou um efluente final com concentração média bem baixa, de 53 mg/L, uma redução de mais de 130 mg/L da L2C4, que apresenta uma concentração média de DQO de 186 mg/L (Tabela 2 e Figura 4). O efluente final de DQO num sistema semelhante estudado por Dias *et al.* (2014) foi de 103 mg/L, superior à concentração de DQO deste sistema, de novo mostrando a importância de um FG. É possível observar na Tabela 2 que a DQO particulada é inferior à DQO filtrada na segunda lagoa, enquanto seria de se esperar o contrário, como acontece na primeira lagoa.

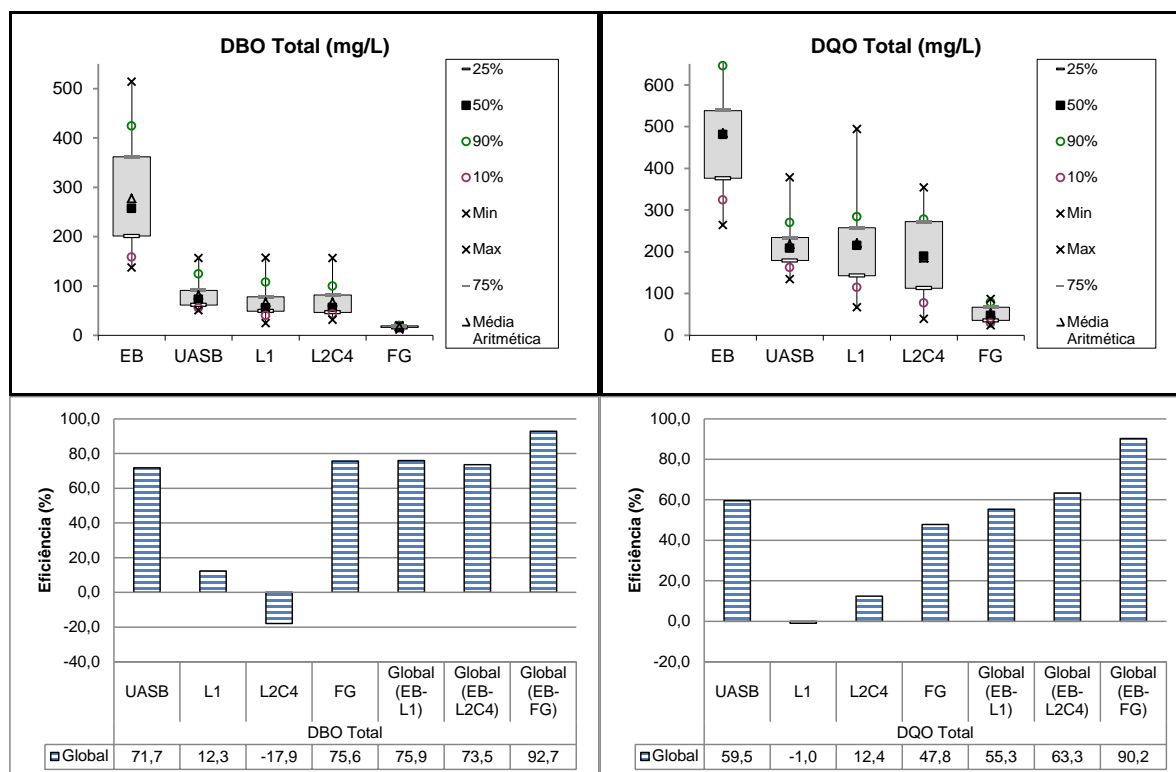


Figura 4 - Box-plot das concentrações de DBO e DQO e eficiências de remoção (gráficos inferiores) ao longo das unidades do sistema (EB = esgoto bruto; L1 = Lagoa 1; L2C4 = Lagoa 2; FG = Filtro grosseiro de brita) – CePTS UFMG/COPASA.

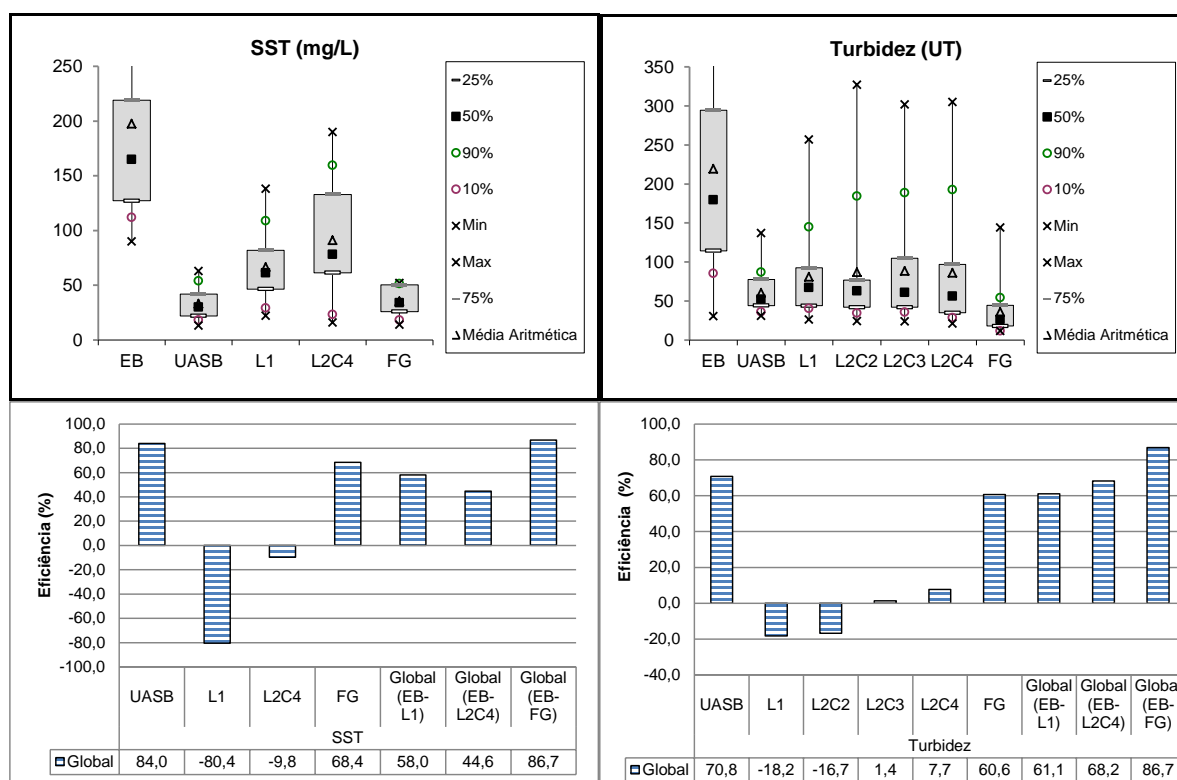
### Sólidos Suspensos (SS) e Turbidez

Na Figura 5 são mostradas as concentrações dos sólidos suspensos totais (SST) e turbidez (UT), bem como as respectivas eficiências de remoção. O reator UASB apresentou uma remoção mediana de 84% de SST do esgoto bruto (Tabela 3 e Figura 5). As lagoas, por sua vez, aumentaram a concentração de SST devido à presença de algas, sendo que a maior contribuição foi presenciada na primeira lagoa, onde houve um aumento de 80,4% de SST, enquanto a segunda lagoa contribuiu pouco para o aumento de SST relativamente à L1 (Tabela 2, Tabela 3 e Figura 5). O filtro grosseiro de brita ajudou a remover as algas residuais e os sólidos

suspensos, apresentando um efluente final com concentração média de 35 mg/L, enquanto a concentração de SST antes de entrar no FG foi de 91 mg/L (Tabela 2). A eficiência de remoção global mediana de SST do sistema (EB – FG) foi de 86,7%.

A turbidez, por sua vez, aumentou o seu valor na L1 devido à presença de algas (Tabela 4 e Figura 5). Na segunda lagoa esse valor continuou a aumentar no primeiro canal formado devido às chicanas (entre L1 e L2C2), mas diminuiu no segundo e terceiro canal formado pelas chicanas (entre L2C2 e L2C4) (Tabela 4 e Figura 5). Quando o efluente da segunda lagoa entrou no FG, ocorreu uma diminuição da turbidez. A eficiência de remoção global mediana de turbidez do sistema foi de 86,7% (uma redução igual aos SST), no qual o FG teve um papel preponderante.

A utilização de um filtro grosso de brita do tamanho de uma lagoa e com granulometria decrescente ajuda a reduzir muito a matéria orgânica e sólidos suspensos, fazendo com que esta nova configuração seja bastante atrativa quando um efluente final com baixas concentrações de matéria orgânica e sólidos suspensos é necessário.



**Figura 5 - Box-plot dos valores de SST e Turbidez e eficiências de remoção (gráficos inferiores) ao longo das unidades do sistema (EB = esgoto bruto; L1 = Lagoa 1; L2C4 = Lagoa 2; FG = Filtro grosso de brita) – CePTS UFMG/COPASA.**

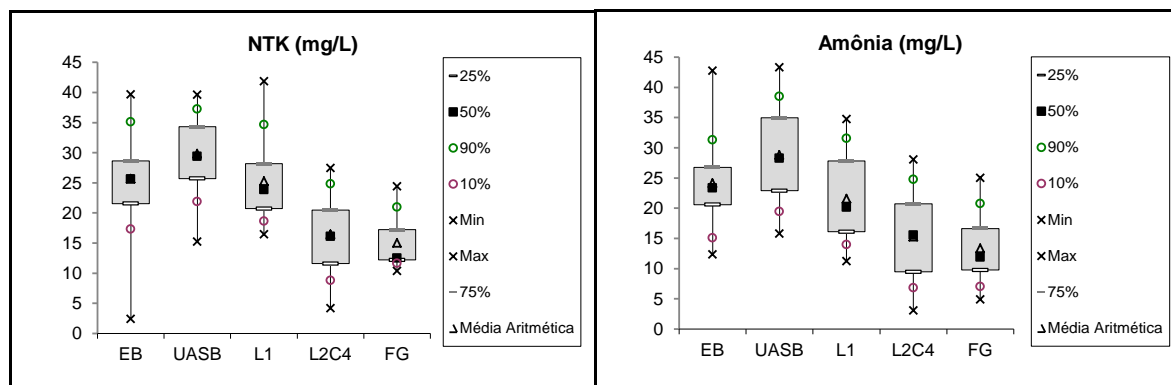
A relação SSV/SS no efluente das lagoas foi próxima a 94%, tendo por base os valores médios apresentados na Tabela 2, ressaltando a constituição predominantemente orgânica dos sólidos das lagoas. Os SS dos efluentes resultaram em valores médios de DBO particulada de 0,58 e 0,45 mgDBO/mgSS para as lagoas 1 e 2, e de DQO particulada de 1,85 e 0,92 mgDQO/mgSS para estas mesmas lagoas. A relação de DBO é um pouco superior à reportada por von Sperling (2002) para efluentes de lagoas, entre 0,3 e 0,4 mgDBOparticulada/mgSS, e próxima à faixa para DQO (1,0 a 1,5 mgDQOparticulada/mgSS).

## NTK e Amônia

Na Figura 6 são mostradas as concentrações das frações de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Amônia-N no esgoto bruto e nas unidades ao longo da linha de tratamento. É possível verificar que a amônia representa a



maior parte da concentração do NTK ao longo das unidades de tratamento, com ambos os constituintes a seguirem uma tendência de concentração decrescente após a saída do efluente do reator UASB. As concentrações medianas de NTK apresentaram uma redução de 26 mg/L (EB) para 13 mg/L (efluente do FG), do qual 12 mg/L do efluente final está na forma de amônia (Tabela 2 e Figura 6). Esta redução é considerada importante, visto que não é facilmente alcançável em sistemas de tratamento biológico e em tão pouco tempo como os 6,4 d de TDH. Os mecanismos principais de remoção de nitrogênio de sistemas compostos por lagoas são: (i) volatilização de amônia; (ii) assimilação de amônia e nitrato por algas e consequentemente a sedimentação do nitrogênio orgânico; (iii) nitrificação/desnitrificação na coluna líquida ou na camada do sedimento (PANO e MIDDLEBROOKS, 1982; REED, 1985; CRAGGS, 2005; CAMARGO-VALERO *et al.*, 2010; SENZIA *et al.*, 2002; FERRARA e AVCI, 1982; ASSUNÇÃO e VON SPERLING, 2012).

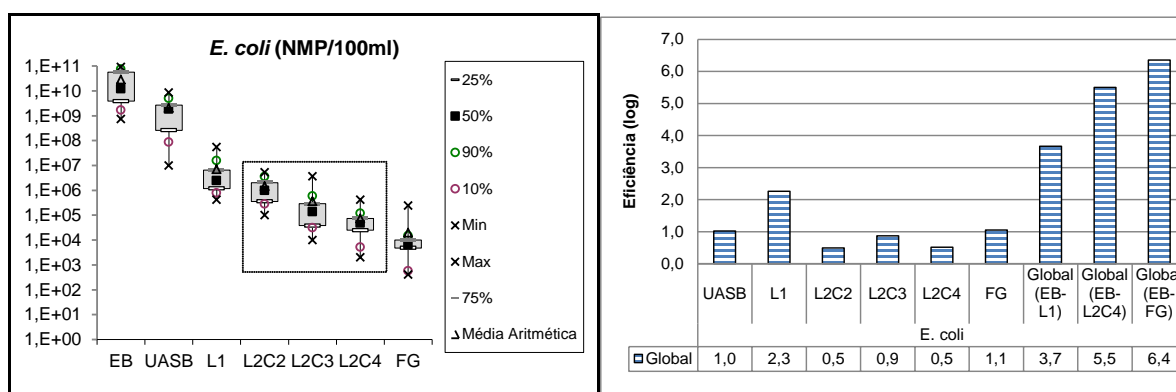


**Figura 6 - Box-plot das concentrações de NTK e Amônia ao long das unidades do sistema – CePTS UFMG/COPASA.**

#### Coliformes totais e *E. coli*

As lagoas de polimento em série têm como objetivo principal a remoção de organismos patogênicos. Na Figura 7 são exibidas as concentrações e as eficiências de remoção de *E. coli*. É de se notar que as concentrações de *E. coli* no esgoto bruto durante o período de monitoramento foram anormalmente altas quando comparadas com estudos anteriores, afetando a concentração final. É possível observar um declínio constante na concentração, sendo que a maior remoção ocorreu na primeira lagoa (Tabela 2, Tabela 3 e Figura 7). O maior decaimento na segunda lagoa aconteceu no canal do meio (entre L2C2 e L2C3), que corresponde ao maior aumento da concentração de OD na segunda lagoa (Figura 8 e Tabela 4). O efluente final obedeceu as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006) para irrigação restrita e algumas modalidades de irrigação irrestrita, ao apresentar uma média geométrica de  $5,37 \times 10^3$  NMP/100 mL (Tabela 2 e Figura 7).

No que diz respeito às eficiências de remoção de *E. coli* na linha de tratamento, é possível concluir que o desempenho do sistema como um todo foi excelente, ao apresentar uma remoção mediana de 6,4 unidades log (Tabela 3 e Figura 7). Este valor é bastante alto, superior em quase um log ao valor encontrado por Dias *et al.* (2014), de 5,5 unidades log num sistema composto por três lagoas. A eficiência de remoção foi atingida com um TDH bastante reduzido nas lagoas, sendo que a primeira lagoa apresentou um TDH de 3,3 d (Tabela 1) e uma eficiência de remoção mediana de 2,3 unidades de log, enquanto a segunda lagoa com chicanas, com um TDH de 1,7 d, apresentou uma eficiência de remoção mediana de 1,9 unidades log (Tabela 3 e Figura 7). A eficiência de remoção na segunda lagoa pode ser considerada alta, quando observado o reduzido valor de TDH; assim a dar ênfase ao efeito da reduzida profundidade e chicanas (Tabela 1), que aprimora os mecanismos de remoção baseados na radiação solar (UV e PAR), pH e OD. O FG também participou positivamente, com uma eficiência de remoção de 1,1 unidades log, contribuindo ainda mais para a desinfecção da água residuária.



**Figura 7 - Box-plot da concentração de *E. coli* e eficiências de remoção (gráficos inferiores) ao longo das unidades do sistema (EB = esgoto bruto; L1 = Lagoa 1; L2C4 = Lagoa 2; FG = Filtro grosseiro de brita) – CePTS UFMG/COPASA.**

### Dados Ambientais

Na Figura 8 são exibidas as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e pH. As lagoas de polimento necessitam de concentrações elevadas de pH e oxigênio dissolvido (OD), de modo a tornar o meio menos favorável para organismos patogênicos. Na Figura 8, como seria de se esperar, a concentração de OD aumentou ao longo das lagoas, só ocorrendo um decréscimo no FG devido à ausência de incidência direta da radiação solar, essencial para a atividade fotossintética, associado ao consumo de OD ligado à oxidação da matéria orgânica dentro do filtro. Os valores de pH também acompanharam esta tendência. Apesar de a primeira lagoa receber uma carga orgânica maior (similar à de uma lagoa facultativa típica), esta foi capaz de manter uma concentração elevada de OD. O efluente final apresentou uma concentração de OD de 0 mg/L, sugerindo que o ambiente no interior do FG seja anaeróbio, fato este endossado pelo potencial de oxirredução negativo (Tabela 4). É possível observar que na segunda lagoa ocorreu maior acréscimo na concentração de OD no canal do meio (L2C2 – L2C3), coincidindo com a mesma tendência, mas no sentido inverso, do decaimento de *E. coli* (Figura 7) nesse mesmo canal. O pH não acompanhou esta tendência, mas já apresentava um valor superior a 8,5. O decréscimo do pH no filtro grosseiro é desejado, pois viabiliza o enquadramento aos padrões de lançamento da Resolução Conama 430/2011.

As lagoas prevaleceram em condições aeróbias durante o período de monitoramento, nas quais não foram detectados quaisquer maus odores.

A temperatura presente no sistema mostrou uma tendência de elevação no reator UASB, promovendo as reações necessárias para a transformação de matéria orgânica, e depois tendência de decréscimo ao longo das lagoas até atingir o FG (Tabela 4). É no FG que ocorreu de novo um acréscimo de temperatura. A primeira lagoa apresenta uma temperatura mediana superior à da segunda lagoa com uma profundidade mais rasa, que não seria de esperar.

O potencial de oxidação e redução (POR) indicou que os ambientes do EB, UASB e FG se encontraram essencialmente em condições anaeróbias, enquanto as lagoas mantiveram os seus ambientes fundamentalmente aeróbios (Tabela 4).

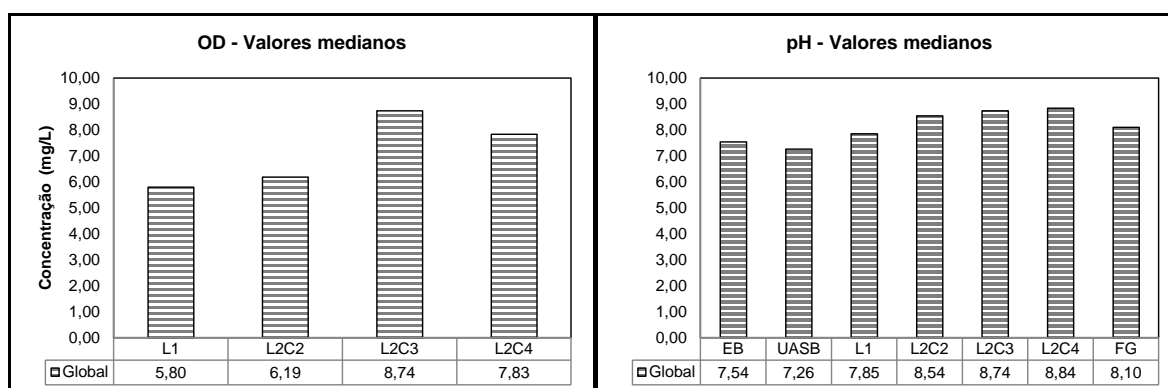


Figura 8 - Valores medianos do oxigênio dissolvido e pH ao longo das unidades do sistema - CePTS UFMG/COPASA.

#### Atendimento a padrões e metas de lançamento de efluentes

Na Tabela 5 são apresentadas as concentrações mínimas de remoção para atender aos padrões nacionais (Resolução CONAMA 430/2011) e estaduais de Minas Gerais (Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH-MG 01/2008) para o lançamento de efluente final em corpos de água. A regulamentação estadual é mais restritiva e apresenta mais parâmetros para cumprir do que a nacional. É possível observar que o sistema de tratamento conseguiu cumprir integralmente, em 100% das amostras, todas os padrões de lançamento estabelecidos pelos órgãos.

Tabela 5 – Percentual de amostras em conformidade com os padrões de lançamento de efluentes em corpos de água, segundo a Resolução CONAMA 430/2011 e a DN 01/2008 COPAM/CERH (MG).

Parâmetro	Resolução CONAMA 430/2011	DN 01/2008 COPAM/CERH (MG)
pH entre 5 e 9	100%	NA
pH entre 6 e 9	NA	100%
Temperatura < 40 °C	100%	100%
Materiais Sedimentáveis até 1 mL/L	100%	100%
<b>DBO<sub>5</sub></b>		
• Concentração máxima de 120 mg/L	100%	NA
• Remoção mínima de 60%	100%	NA
<b>DBO</b>		
• Concentração máxima de 60 mg/L	NA	100%
• Remoção mínima de 60%	NA	100%
<b>DQO</b>		
• Concentração máxima de 180 mg/L	NA	100%
• Remoção mínima de 55%	NA	100%
<b>SST com concentração máxima de 150 mg/L para sistemas com lagoas</b>	NA	100%

NA – Não aplicável.

Tendo por base a média geométrica de *E. coli* de  $5,37 \times 10^3$  NMP/100mL (Tabela 2), observa-se que o efluente está apto, segundo as diretrizes da OMS (WHO, 2006), a ser utilizado para as seguintes formas de irrigação, que estabelecem valores inferiores a  $10^4$  NMP/100mL:

- Irrigação restrita
  - Tipo F: agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva;
  - Tipo G: agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada;
  - Tipo H: técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial).

- Irrigação irrestrita
  - Tipo B: cultivo de folhosas;
  - Tipo C: irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo.

#### Comparação do sistema atual com a configuração do anterior

Na Tabela 6 é mostrada a comparação entre a nova configuração de tratamento em estudo e o sistema anterior de tratamento estudado por Dias *et al.* (2014), também no CePTS (UASB + 3 lagoas de maturação em série, com o último terço da terceira lagoa preenchida com um filtro grosso de brita). É possível observar que as concentrações finais do novo sistema de tratamento são na maioria inferiores às concentrações obtidas no sistema de tratamento estudado por Dias *et al.* (2014). Assim, destaca-se a melhoria do desempenho da nova configuração, necessitando de apenas 1,5 m<sup>2</sup>/hab para tratar o esgoto, resultando em uma economia de 0,5 a 1,0 m<sup>2</sup>/hab quando comparada com a configuração anterior. As concentrações dos coliformes totais e *E. coli* são superiores ao sistema anterior. Isto pode ser explicado pelo fato de se ter retirado uma lagoa de polimento por completo e a substituído por um filtro grosso de brita, visando reduzir a matéria orgânica remanescente à custa de remoção dos coliformes, e também pelo fato das concentrações afluentes da presente pesquisa serem bem superiores às obtidas por Dias *et al.* (2014). De qualquer forma, o sistema tem uma eficiência de remoção de *E. coli* de 6,4 unidades log, que é considerado excelente.

**Tabela 6 - Comparação entre as concentrações dos principais constituintes (média/mediana) do efluente final do sistema de tratamento de esgoto em estudo e do sistema de tratamento anterior estudado por Dias *et al.* (2014).**

Parâmetro	Dias <i>et al.</i> (2014) – Três lagoas, com filtro inserido no final da 3ª lagoa (2,0 a 2,5 m <sup>2</sup> /hab.)		Nova configuração, com duas lagoas (a 2ª chicaneada) e uma lagoa com filtro grosso - (1,5 m <sup>2</sup> /hab.)
DBO total	48/32	>	17/17
DBO filtrado	18/11	>	13/13
DBO particulado	28/14	>	4/5
DQO total	103/97	>	53/47
DQO filtrado	58/51	>	33/46
DQO particulado	42/48	>	33/33
SST	39/33	>	35/34
SSV	32/27	~	32/31
NTK	18/16	>	15/13
Amônia-N	12/10	≤	13/12
Coliformes totais	1,80×10 <sup>+4</sup> /2,40×10 <sup>+4</sup>	<	9,58×10 <sup>+4</sup> /1,12×10 <sup>+5</sup>
<i>E. coli</i>	4,50×10 <sup>+2</sup> /6,20×10 <sup>+2</sup>	<	5,37×10 <sup>+3</sup> /6,39×10 <sup>+3</sup>

Unidades: mg/L, exceto coliformes totais e *E. coli* (NMP/100 mL).

\* Coliformes totais e *E. coli*—média geométrica/mediana;

#### CONCLUSÕES

A primeira lagoa da série, mesmo após 12 anos de operação contínua, sem a remoção de lodo acumulado no fundo, mostrou-se robusta e apresentou boas eficiências de remoção. A inserção de chicanas na lagoa 2, aliada com uma profundidade rasa, produziu efeitos desejados em termos de remoção de coliformes e *E. coli*, dado o seu TDH reduzido, mas esperava-se um resultado ainda um pouco melhor. Mesmo assim, é possível verificar que o efluente final pode ser utilizado para irrigação restrita e algumas modalidades de irrigação irrestrita. Este tipo de intervenção é recomendado para reduzir a área necessária para a desinfecção de efluentes. A retirada da terceira lagoa do sistema de tratamento e a substituição por um filtro grosso de brita revelou-se benéfica para o tratamento de esgoto. É possível observar que o filtro grosso aumentou a eficiência de remoção de vários parâmetros. Este tipo de intervenção é altamente recomendado quando se quer produzir um efluente com baixa concentração de sólidos e matéria orgânica e uma remoção complementar de organismos patogênicos.

Apesar do sistema que Dias *et al.* (2014) estudaram ser semelhante a esta nova configuração, é na última lagoa que existe a maior distinção para a remoção de matéria orgânica, uma vez que ela foi totalmente preenchida



com brita de granulometria decrescente. A última lagoa da pesquisa nos trabalhos anteriores do mesmo sistema tinha apenas o último terço da lagoa ocupada por um filtro de pedras de brita. Ao apresentar um filtro grosseiro de pedra de brita da dimensão de uma lagoa, e com granulometria decrescente, é possível remover grande parte da matéria orgânica remanescente e produzida nas lagoas precedentes. É possível observar um aumento de DBO nas lagoas devido à presença de algas, daí a necessidade de utilizar um filtro grosseiro como última etapa de tratamento no sistema.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, Capes, Fapemig, Finep, COPASA, laboratório da UFV e aos alunos de iniciação científica que participaram na coleta e análises das amostras. A pesquisa atual faz parte de um programa internacional financiado pela Fundação Bill and Melinda Gates para o projeto “Stimulating local innovation on the sanitation for the urban poor (SaniUP) in Sub-Saharan Africa and South-East Asia”, sob a coordenação do UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. AWWA. WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C.: American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 2005.
2. ASSUNÇÃO, F.A.L. e VON SPERLING, M. Importance of the ammonia volatilization rates in shallow maturation ponds treating UASB reactor effluent. *Water Sci. Technol.* **66**(6), 1239–1246, 2012.
3. BASTOS, R. K. X., RIOS, E. N., BEVILACQUA, P. D., e ANDRADE, R. C. UASB-polishing ponds design parameters: contributions from a pilot scale study in southeast Brazil. *Water science and technology*, 63(6), p. 1276–81, 2011.
4. CAMARGO-VALERO, M.A., MARA, D.D. e NEWTON, R.J.,. Nitrogen removal in maturation waste stabilisation ponds via biological uptake and sedimentation of dead biomass. *Water Sci. Technol.* **61**(4), 1027–1034, 2010.
5. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007, 380 p., vol. 5.
6. CONAMA. Resolução CONAMA 430, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. 2011.
7. COPAM/CERH-MG. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1*, de 05 de Maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2008.
8. CRAGGS, R. Chapter 5: Nutrients. In: Shilton, A. (Ed.), *Pond Treatment Technology*. IWA Publishing, London, 2005.
9. DIAS, D. F. C., POSSMOSER-NASCIMENTO, T. E., RODRIGUES, V. A. J. e VON SPERLING, M. Overall performance evaluation of shallow maturation ponds in series treating UASB reactor effluent: ten years of intensive monitoring of a system in Brazil. *Ecological Engineering*, 71, p. 206-214, 2014.
10. FERRARA, R.A., e AVCI, C.B. Nitrogen dynamics in waste stabilization ponds. *J. Water Pollut. Control Fed.* **4**(54), 361–369, 1982.
11. GLOYNA, E. F. *Waste Stabilization Ponds*, Monograph Series No. 60, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1971.
12. GODINHO, V.M., NASCIMENTO, F.M., SILVA, S.Q., e VON SPERLING, M. Characterization of pathogenic bacteria in a UASB- polishing pond system using molecular techniques. *Water Science and Technology*, 61(3), p. 813-9, 2010.
13. JACK, U., DE SOUZA, P. e SNYMAN, H. Waste stabilisation ponds Management, Operations and Maintenance Tools. In: 8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, Belo Horizonte, Brazil, 26 – 30 Abril 2009.
14. MARA, D.D. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Earthscan, London, pp. 293, 2003.
15. NELSON, K.L., KADIR, K., FISHER, M.B., and LOVE, D. New insights into sunlight disinfection mechanisms in waste stabilization ponds. In: 8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, Belo Horizonte, Brazil, 26 – 30 Abril 2009.

16. NOYOLA, A., PADILLA-RIVERA, A., MORGAN-SAGASTUME, J. M., GUERECIA, L. P. e HERNANDEZ-PADILLA, F. Typology of municipal wastewater Treatment technologies in Latin America. *Clean – Soil, Air, Water*, **40**(9), 926–932, 2012.
17. OLIVEIRA, S.M.A.C. and VON SPERLING, M. Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in a developing country. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 1 (1). pp. 37-56, 2011.
18. PANO, A. e MIDDLEBROOKS, E.J. Ammonia nitrogen removal in facultative waste-water stabilisation ponds. *J. Water Pollut. Control Fed.* **54**(4), 344–351, 1982.
19. POSSMOSER-NASCIMENTO, T.E., RODRIGUES, V.A.J., VON SPERLING, M., 2013. Acumulação e Distribuição Espacial do Lodo em um Sistema de Lagoas de Polimento em Série (Spatial Distribution and Accumulation of Sludge in a System of Polishing Ponds in Series). In: 27th Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 15–19 September 2013, ABES—Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, Goiânia, 2013.
20. POSSMOSER-NASCIMENTO, T.E., RODRIGUES, V.A.J., VON SPERLING, M., VASEL, J-L., 2014. Sludge accumulation in shallow maturation ponds treating UASB reactor effluent: results after 11 years of operation. *Water Sci. Technol.* **70** (2), 321–328.
21. REED, S.C. Nitrogen removal in wastewater stabilization ponds. *J. Water Pollut. Control Fed.* **57**(1), 39–45, 1985.
22. SANTOS, A. B., MOTA, S., BEZERRA, F. M., e AQUINO, B.F. Fruits Produced with Wastewater Treated in Stabilization Ponds systems : Evaluation in a Quality Prospective In: *8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds*, Belo Horizonte, Brazil, 26 – 30 April 2009.
23. SENZIA, M.A., MAYO, A.W., MBWETTE, T.S.A., KATIMA, J.H.Y. e JORGENSEN, S.E. Modelling nitrogen transformation and removal in primary facultative ponds. *Ecol. Modell.* **154**, 207–215, 2002.
24. SINTON, L.W., HALL, C.H., LYNCH, P.A. e DAVIES-COLLEY, R.J. Sunlight Inactivation of Fecal Indicator Bacteria and Bacteriophages from Waste Stabilization Pond Effluent in Fresh and Saline Waters. *Applied and Environmental Microbiology*, **68**(3), p. 1122–1131, 2002.
25. VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2002, 196 p., vol. 3.
26. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005, 452 p., vol. 1.
27. VON SPERLING, M. e MASCARENHAS, L.C. Performance of very shallow ponds treating effluents from UASB reactors. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, **51**(12), p. 83–90, 2005.
28. VON SPERLING, M., BASTOS, R. K. X. e KATO, M. T. Removal of E. coli and helminth eggs in UASB: Polishing pond systems in Brazil. *Water Science and Technology*, **51**(12), p. 91–7, 2005.
29. VON SPERLING, M. e DE ANDRADA, J.G.B. Simple wastewater treatment (UASB reactor, shallow polishing ponds, coarse rock filter) allowing compliance with different reuse criteria. *Water Science and Technology*, **54**(11), p. 199, 2006.
30. VON SPERLING, M., OLIVEIRA, C. M., ANDRADA, J. G. B., GODINHO, V. M., ASSUNÇÃO, F. A L., e 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 : A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, **58**(6), 1313–9, 2008.
31. VON SPERLING, M. Basic principles of wastewater treatment. 1st. ed. International Water Association, p. 104, 2008.
32. VON SPERLING, M., DORNELAS, F. L., ASSUNÇÃO, F. A. L., DE PAOLI, A. C., and MABUB, M. O. A. Comparison between polishing (maturation) ponds and subsurface flow constructed wetlands (planted and unplanted) for the post- treatment of the effluent from UASB reactors. *Water Science & Technology*, **61**(5), p. 1201 – 1209, 2010.
33. WHO (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL de SAÚDE). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater Use in Agriculture. WHO, Geneva, p. 213, 2006.
34. WHO (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL de SAÚDE). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater Use in Agriculture. WHO, Geneva, p. 213, 2006.