

**II-095 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO COMPOSTO DE REATOR UASB SEGUIDO DE LODO ATIVADO: ESTUDO DE CASO DA ETE BETIM CENTRAL – MG (370.000 HABITANTES)**

**Pollyane Diniz Saliba<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Funcionária da Divisão Técnica e de Planejamento dos Sistemas de Esgoto - COPASA-MG.

**Ana Luíza Resende Leal**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Marcos von Sperling**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College London – Inglaterra. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Edmar Alair Reis de Oliveira**

Tecnólogo em Recursos Hídricos e Irrigação pela Instituição INCISA/IMAM. Funcionário da Divisão de Tratamento de Efluentes – COPASA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Acaraú, 185/301 – Cidade Jardim - Belo Horizonte - MG - CEP: 30320-080 - Brasil - Tel: (31) 8743-0038 - e-mail: pollyane.saliba@copasa.com.br.

## **RESUMO**

Sistemas de tratamento de esgoto compostos por reatores UASB seguidos por lodo ativado apresentam diversas vantagens quando comparados com sistemas de lodo ativado convencional. Porém, essa configuração ainda necessita de maiores estudos, principalmente em estações em escala plena e de grande porte. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo a avaliação do desempenho da fase líquida da Estação de Tratamento de Esgoto Betim Central, com capacidade para tratar uma vazão de 514 L/s. O estudo consistiu no tratamento estatístico dos dados de monitoramento no que diz respeito às condições de carga e às concentrações do afluente e efluente das unidades componentes da estação. Apesar de a etapa de lodos ativados ter sido dimensionada com idade do lodo convencional, em alguns momentos a mesma operou em condições características de sistema de lodo ativado com aeração prolongada, devido à baixa carga afluente. No que diz respeito à remoção de matéria orgânica, pode-se dizer que esse sistema é bastante adequado para o tratamento de esgoto doméstico, apresentando elevadas eficiências médias globais de remoção de DBO (94%), DQO (91%) e sólidos em suspensão totais (92%), resultando num efluente de ótima qualidade. No que diz respeito ao padrão de lançamento da legislação ambiental para o estado de Minas Gerais, o efluente final da ETE Betim Central apresentou concentrações capazes de atender aos mesmos durante todo o período de monitoramento; a exceção do parâmetro sólidos sedimentáveis, que apresentou uma conformidade de 95%. Conforme esperado, esse sistema não é eficaz para a remoção de nutrientes e coliformes, apresentando eficiência de remoção de nitrogênio, fosfato e *Escherichia coli* igual a 38%, 34% e 99,84%, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reator UASB, lodo ativado, esgoto doméstico.

## **INTRODUÇÃO**

Segundo Kassab *et al.* (2010), a configuração de tratamento anaeróbico seguido pelo tratamento aeróbico apresenta contribuições significativas no desempenho geral dos sistemas, principalmente no que diz respeito à redução no consumo de energia e ao excesso de produção de lodo, quando comparado com o sistema aeróbico convencional. No entanto, existe a necessidade de avaliação do desempenho desses sistemas em escala real, de forma a produzir parâmetros de projeto e operação, que possam ser usados em nosso meio.

A Estação de Tratamento de Esgoto Betim Central está situada a jusante da cidade de Betim, na Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG, e apresenta capacidade de projeto para tratar 514 L/s. É operada pela

Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, sendo supervisionada com o subsídio de análises físico-químicas, que são realizadas nos laboratórios Central, da ETE Arrudas e da própria estação.

O efluente final da ETE é lançado no Rio Betim e deve atender às seguintes condições de lançamento, relacionadas aos padrões de lançamento vigentes no Estado de Minas Gerais (DN01/2008 COPAM/CERH): DBO: 60 mg/L ou eficiência de remoção de no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70%; DQO: 180 mg/L ou eficiência de no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65%; SST: até 100 mg/L; SSed: até 1 mL/L.

Tendo em vista a necessidade de verificação desse sistema de tratamento (reator UASB seguido de lodos ativados), entende-se que o estudo de dados concretos de monitoramento referentes a uma estação de grande porte (capaz de atender 370.000 habitantes) é importante para a consolidação do processo.

O objetivo do presente trabalho é a avaliação do desempenho da fase líquida do sistema de tratamento de esgoto composto por reator UASB seguido de lodo ativado, componente da ETE Betim – MG, em escala real, com ênfase nas concentrações efluentes e eficiências de remoção dos principais constituintes dos esgotos sanitários e do atendimento aos padrões de lançamento, tendo por base quatro anos de monitoramento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Descrição da ETE Betim Central

A fase líquida do processo de tratamento da ETE Betim Central consiste de gradeamento grosseiro manual, gradeamento fino mecanizado, peneira mecânica tipo Roto Screen, desarenador mecanizado, reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente, reator aeróbio de lodos ativados e decantação secundária. O lodo produzido nos reatores anaeróbios é desidratado em centrífugas e encaminhado aos secadores térmicos, que são alimentados pela energia oriunda do biogás gerado nessa unidade.

A Figura 1 apresenta o fluxograma dessa estação, bem como os pontos de amostragem.

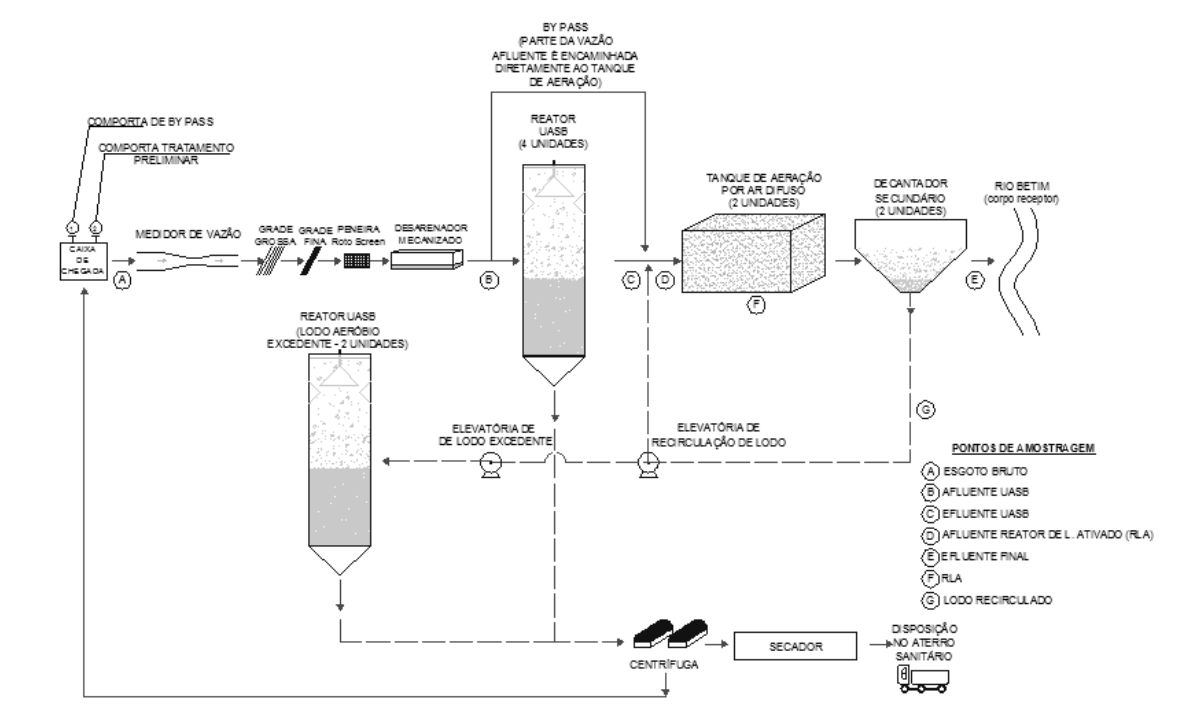


Figura 1: Fluxograma e pontos de amostragem da ETE Betim Central.

Em primeira etapa a ETE Betim Central conta com 06 reatores UASB em formato retangular, sendo cada unidade com 12,80 m de largura e 38,40 m de comprimento. A altura interna total dos reatores é 5,40 m e a

altura líquida total é 4,65m. Cada reator foi dimensionado para receber uma vazão média de 86 L/s e uma vazão máxima de 142 L/s. Assim os valores de projeto do tempo de detenção e a velocidade ascensional no reator para a vazão média são respectivamente 7 h e 24 min e 0,63 m/h; enquanto que para a vazão máxima, o tempo de detenção é 4 h e 28 min e a velocidade ascensional é 1,04 m/h. Duas unidades de reatores UASB estão sendo utilizados como digestores anaeróbios de lodo, para promover a digestão do lodo excedente proveniente dos decantadores secundários da etapa de lodos ativados.

O efluente dos reatores UASB é encaminhado às unidades de lodos ativados. Em primeira etapa, a ETE conta com 02 reatores (tanques de aeração), com formato retangular, com 50,00 m de comprimento e 12,50 m de largura. A altura útil dos reatores é 6,16 m, resultando num volume de 3850 m<sup>3</sup> para cada reator. Essas unidades foram dimensionadas para receber uma vazão média de 514 L/s, resultando num tempo de detenção de 4h e 10 min. A idade do lodo considerada em projeto foi de 7 dias. Cada reator de lodo ativado conta com 03 câmaras de zona anóxica, com 12,50 m de comprimento e 3,55 m de largura.

O efluente dos reatores de lodo ativado é direcionado para as duas unidades de decantador secundário, em formato circular. Cada unidade apresenta 38 m de diâmetro e 4,50 m de altura média do líquido. Os decantadores foram dimensionados para a vazão de 514 L/s, resultando numa taxa de aplicação superficial de 19,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia e tempo de detenção de 3h e 4 min, considerando o lodo recirculado.

De julho de 2010 a novembro de 2011, a ETE operou com 4 reatores UASB (sendo um utilizado como biodigestor), seguido por um tanque de aeração e um decantador secundário. Em dezembro de 2011, mais uma unidade de decantador secundário e uma de tanque de aeração entraram em operação; assim, a ETE passou a operar com 4 reatores UASB (sendo que um era utilizado como biodigestor), dois tanques de aeração e dois decantadores secundários. A partir de setembro de 2013, mais duas unidades de reatores UASB entraram em operação e a ETE passou a operar com 6 reatores UASB (sendo que 2 eram utilizados como biodigestor), dois tanques de aeração e dois decantadores secundários.

A ETE é operada com cerca de 85% da vazão afluente à mesma sendo encaminhada para as 04 unidades de reatores UASB e 15% (esgoto bruto em by-pass dos reatores UASB) é encaminhada diretamente aos reatores de lodos ativados com o objetivo de fornecer carga orgânica carbonácea adequada à operação dessa unidade.

### **Programa de monitoramento**

Os dados utilizados no trabalho foram obtidos do monitoramento efetuado pela COPASA, da fase líquida, desde julho de 2010 (início de operação da ETE) até junho de 2014. Os parâmetros monitorados e que serão analisados no trabalho são: DBO, DQO, nitrogênio, sólidos, fósforo (fosfato) e coliformes (*Escherichia coli*). Esses parâmetros foram amostrados da seguinte forma: (a) período de julho de 2010 a dezembro de 2013: amostragem semanal; (b) período de janeiro a junho de 2014: amostragem duas vezes por semana. Esses procedimentos eram feitos por amostras compostas proporcionais à vazão nos pontos de amostragem A e E, conforme Figura 1, e amostras simples nos demais pontos da estação.

Com o intuito de sistematizar os resultados, os dados das análises e operacionais relacionados com o desempenho da ETE foram introduzidos, em ordem cronológica de monitoramento, em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel, elaboradas pelo grupo de pesquisa em tratamento de águas residuárias do DESA-UFMG.

## **RESULTADOS**

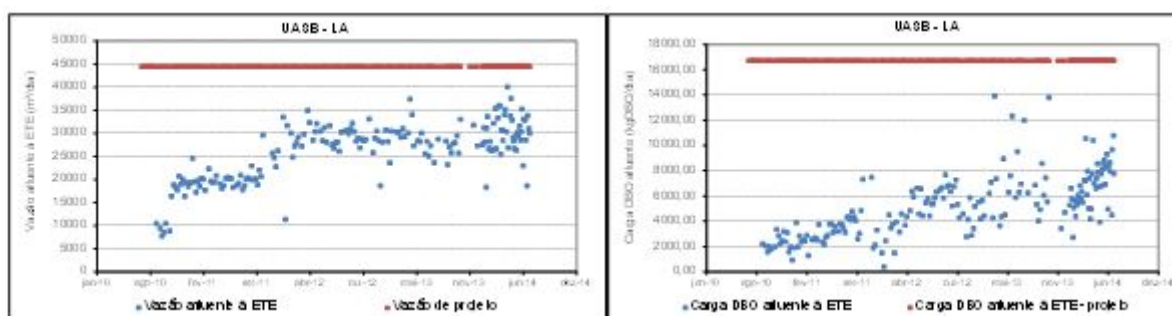
### **Avaliação das condições de carga**

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva da vazão e da carga de DBO afluente à ETE e os gráficos da Figura 2 contêm as séries temporais desses parâmetros, durante o período de monitoramento. A vazão afluente à ETE esteve abaixo da vazão média de projeto (44.410 m<sup>3</sup>/dia) durante todo o período de monitoramento e foi aumentando ao longo dos anos. Apesar de sua variabilidade, não se pode observar, com certeza, uma variação em decorrência de períodos chuvosos e secos.

A carga de DBO afluente à ETE também esteve abaixo do valor de projeto (16.724 kgDBO/dia) durante todo o período de estudo. Além disso, observa-se uma sazonalidade nesse parâmetro, com menores valores no período de chuva, resultado de uma diluição pela vazão de infiltração ao sistema.

**Tabela 1: Estatística descritiva da vazão e da carga de DBO afluente à ETE Betim Central.**

Estatística	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	Carga de DBO afluente (kgDBO/dia)
Número de dados	184	184
Média	<b>26072</b>	<b>5184</b>
Mediana	27864	4954
Mínimo	7733	407
Máximo	40090	13915
Desvio Padrão	6147	2456
Coefficiente de variação	0,24	0,47

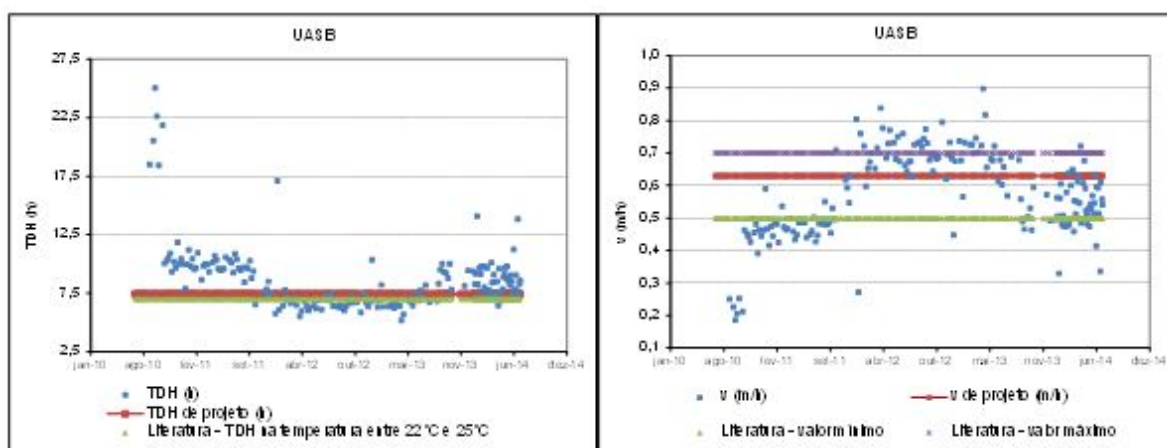


**Figura 2: Vazão e carga de DBO afluente à ETE Betim Central.**

Para a unidade de reator UASB, foram avaliados os seguintes parâmetros: tempo de detenção hidráulica e velocidade ascensional. A Figura 3 apresenta a série temporal desses parâmetros ao longo do período de monitoramento, enquanto que a Tabela 2 contém a estatística descritiva dos mesmos.

**Tabela 2: Estatística descritiva dos parâmetros de operação do reator UASB.**

Estatística	TDH (h)	v (m/h)
Número de dados	184	184
Média	<b>8,7</b>	<b>0,57</b>
Mediana	8,3	0,56
Mínimo	5,2	0,19
Máximo	25,0	0,90
Desvio Padrão	2,9	0,13
Coefficiente de variação	0,33	0,23



**Figura 3: Parâmetros de operação do reator UASB - ETE Betim Central.**

No início de operação, observa-se que o tempo de detenção hidráulica se manteve acima do valor de projeto (7h e 24 min.) e que a velocidade ascensional se apresentou abaixo da considerada em projeto e da literatura, indicando uma operação em condições de subcarga. De setembro de 2011 a agosto de 2013, o tempo de detenção hidráulica esteve próximo ao de projeto, enquanto que a velocidade ascensional esteve acima da estabelecida em projeto e apresentou ainda alguns valores acima do indicado pela literatura. A partir de setembro de 2013, quando a ETE passa a operar com 4 unidades de reator UASB, o tempo de detenção hidráulica volta a apresentar valores acima do de projeto e a velocidade ascensional esteve predominantemente dentro da faixa indicada na literatura, apresentando alguns valores abaixo da mesma.

Para a unidade tanque de aerção, do lodo ativado, foram avaliados os seguintes parâmetros: tempo de detenção hidráulica, sólidos em suspensão totais (SST) e voláteis (SSV), idade do lodo e relação alimento/microrganismo (A/M). A Figura 4 apresenta a série temporal desses parâmetros, enquanto que a Tabela 3 contém a estatística descritiva dos mesmos.

O tempo de detenção hidráulica nos tanques de aerção se manteve próximo ao valor de projeto (4h e 10 min.) até novembro de 2011, data em que os dois reatores de lodo ativado entraram em operação. Ao final desse ano, o tempo de detenção hidráulica apresenta uma pequena queda, indicando a necessidade de se colocar a outra unidade em operação. Em grande parte do período de monitoramento o tempo de detenção hidráulica esteve na faixa recomendada pela literatura, segundo von Sperling (2012), para o sistema de lodo ativado convencional.

Tanto os sólidos em suspensão voláteis como os sólidos em suspensão totais se encontraram acima do valor de projeto na maior parte do tempo, com destaque para o mês de julho de 2012, quando ocorreram os maiores valores. No caso dos sólidos em suspensão totais, em grande parte do período de monitoramento, os valores se encontraram acima do indicado na literatura. Os sólidos em suspensão voláteis tanto ficaram na faixa de lodos ativados convencional, como na de lodos ativados com aerção prolongada, com predominância dessa última. Em grande parte do tempo de monitoramento os valores da relação SSV/SST se encontraram abaixo do estimado em projeto e na faixa de operação característica de reatores com aerção prolongada. Os baixos valores de SSV/SST indicam um bom desempenho da ETE, com grande eficiência de remoção dos sólidos suspensos voláteis pelo processo bacteriano e a presença de um lodo mais estabilizado.

A idade do lodo, em grande parte do tempo, esteve acima do previsto em projeto, o que resultou em um lodo mais estabilizado. Apesar de a ETE Betim Central ter sido dimensionada como sistema de lodo ativado convencional (idade do lodo de 7 dias), os valores da idade do lodo estiveram, predominantemente, acima da faixa usual desse processo, devido à carga afluente ter sido inferior à carga de projeto nestes primeiros quatro anos de operação da ETE.

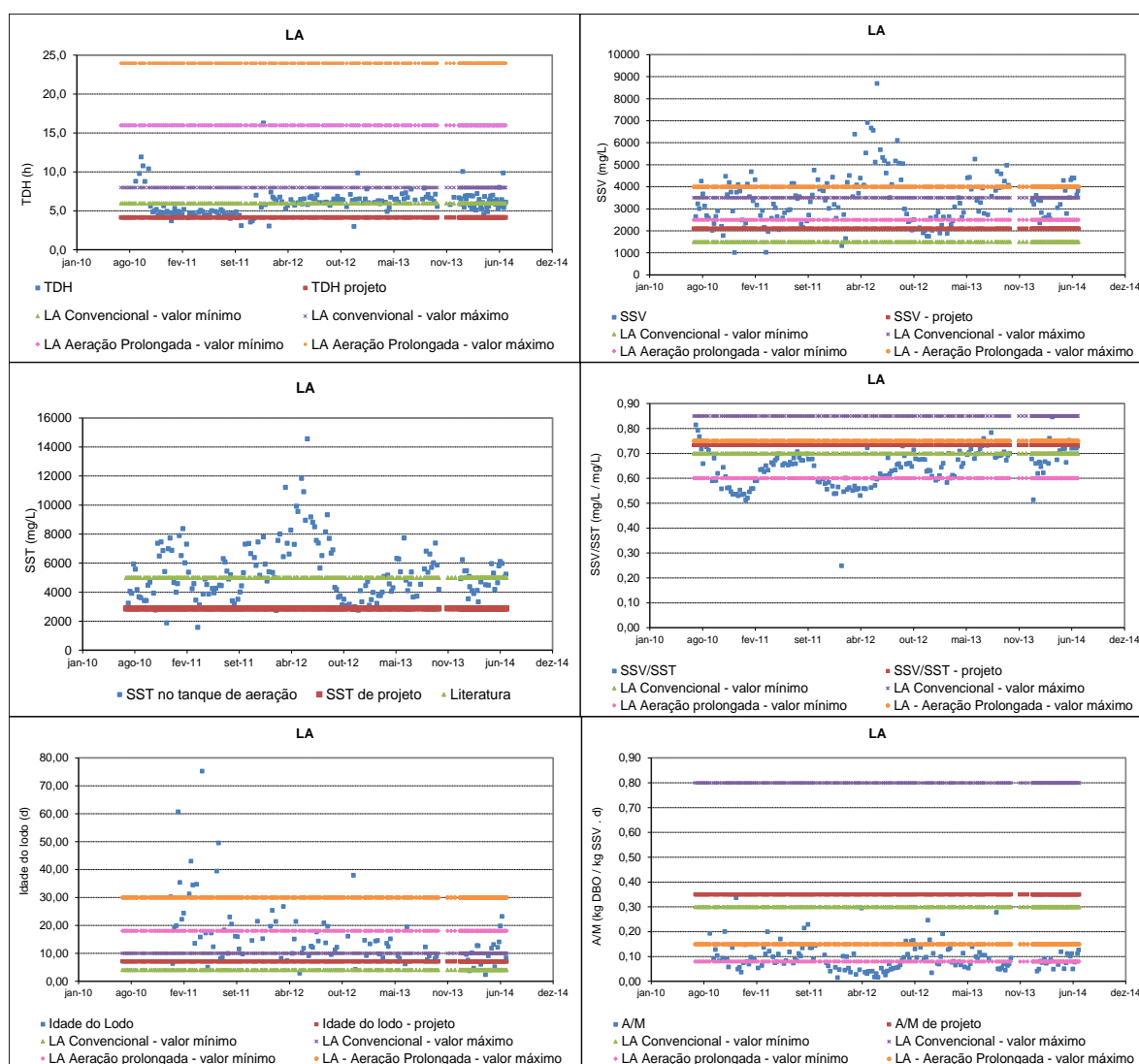
A relação alimento/microrganismo (A/M) esteve abaixo do valor de projeto (0,35 kgDBO/kgSSV.d) em todo o período de estudo. Isso sugere uma maior estabilização da massa bacteriana presente no reator. Além disso, apesar de a ETE Betim Central ter sido dimensionada como sistema de lodo ativado convencional, os valores



encontrados se situaram predominantemente na faixa típica para sistema de lodo ativado com aeração prolongada (0,08 a 0,15 kgDBO/kgSSV.d), devido ao fato de se ter uma carga afluente inferior à de projeto.

**Tabela 3: Estatística descritiva dos parâmetros de operação do tanque de aeração.**

Estatística	TDH (h)	SSV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV/SST	Idade do lodo (dias)	A/M (kgDBO/kgSSV.dia)
Número de dados	184	168	169	168	97	148
Média	<b>6,1</b>	<b>3433</b>	<b>5405</b>	<b>0,6</b>	<b>16</b>	<b>0,1</b>
Mediana	6,1	3271	5017	0,65	13	0,09
Mínimo	3,0	1018	1586	0,25	2	0,02
Máximo	16,3	8695	14575	0,85	75	0,34
Desvio Padrão	1,5	1173	1988	0,07	12	0,05
Coeficiente de variação	0,25	0,34	0,37	0,12	0,72	0,56



**Figura 4: Parâmetros de operação do tanque de aeração do sistema de lodo ativado - ETE Betim Central.**

Para a unidade de decantador secundário do lodo ativado, foram avaliados os seguintes parâmetros: taxa de aplicação hidráulica (TAH), taxa de aplicação de sólidos (TAS) e índice volumétrico do lodo (IVL). A Tabela 4 contém os valores da estatística descritiva desses parâmetros, enquanto que a Figura 5 apresenta a série temporal dos mesmos, ao longo do período de monitoramento.

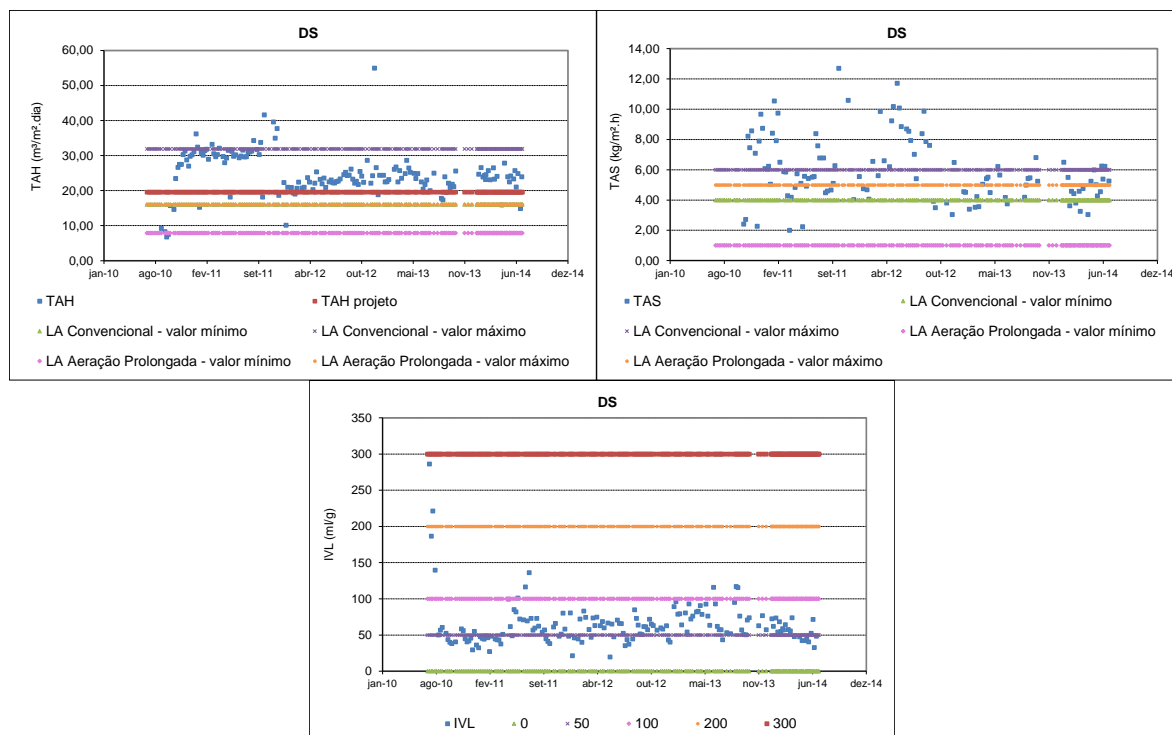
A taxa de aplicação hidráulica (TAH) esteve acima do valor de projeto ( $20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ) no início da operação, quando apenas um decantador estava em operação. A partir de dezembro de 2011, quando as duas unidades de decantador secundário começaram a operar, os valores se encontraram mais próximos do de projeto. Além disso, na maior parte do período de monitoramento, os valores se encontraram na faixa típica para sistema de lodo ativado convencional ( $16$  a  $32 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ).

Em grande parte do período de monitoramento, a taxa de aplicação de sólidos esteve na faixa indicada para lodo ativado convencional. Porém, em muitos momentos, esse parâmetro se encontrou acima dos valores indicados na literatura; indicando que o decantador secundário operou em sobretaxa nesses períodos.

O índice volumétrico do lodo (IVL) esteve na faixa tida como boa ( $50$  a  $100 \text{ ml/g}$ ) em quase todo o período de monitoramento. Isso indica que o lodo apresenta uma boa sedimentabilidade, colaborando para uma melhor qualidade do efluente final, tendo em vista que a perda de material sólido no efluente é menor. Possivelmente esta boa sedimentabilidade do lodo está associada à presença de câmaras seletoras na entrada dos tanques de aeração.

**Tabela 4: Estatística descritiva dos parâmetros de operação do decantador secundário.**

Estatística	TAH ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ )	TAS ( $\text{kg}/\text{m}^2.\text{h}$ )	IVL ( $\text{ml/g}$ )
Número de dados	154	112	165
Média	<b>24,98</b>	<b>5,94</b>	<b>65</b>
Mediana	24,32	5,51	58
Mínimo	6,82	2,00	20
Máximo	54,99	12,70	286
Desvio Padrão	6,14	2,15	31
Coeficiente de variação	0,25	0,36	0,48



**Figura 5: Parâmetros de operação do decantador secundário do sistema de lodo ativado - ETE Betim Central.**

### **Avaliação das concentrações e das eficiências de remoção**

A qualidade do efluente das diversas unidades componentes do sistema de tratamento da ETE Betim Central, bem como a eficiência de remoção foram avaliadas e comparadas com valores encontrados na literatura e os previstos em projeto. No estudo foram avaliados os seguintes parâmetros: DBO, DQO, sólidos, nitrogênio, fosfato e *E. coli*. Para os parâmetros DBO, DQO, sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão totais foi ainda realizada a análise quanto ao atendimento aos padrões de lançamento preconizados pela legislação do Estado de Minas Gerais (DN01/2008 COPAM/CERH). A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva referente à concentração do esgoto bruto e do efluente e à eficiência de cada unidade, para os parâmetros estudados.

Pela tabela, é possível observar que o sistema apresentou elevada eficiência no que diz respeito à remoção de matéria orgânica e também de sólidos. Porém, não se mostrou eficiente na remoção de nutrientes e coliformes, conforme já encontrado em trabalhos anteriores.

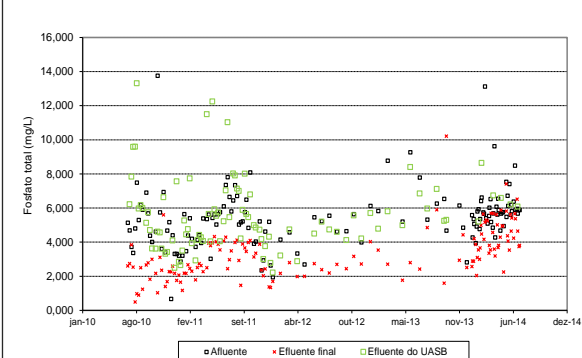
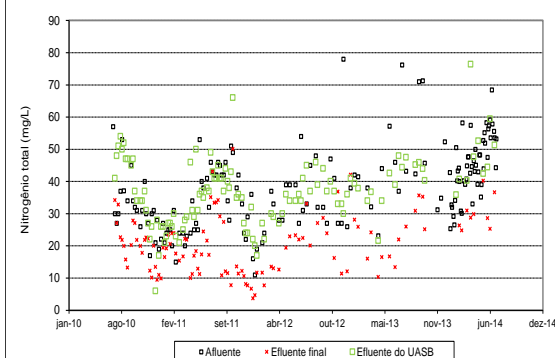
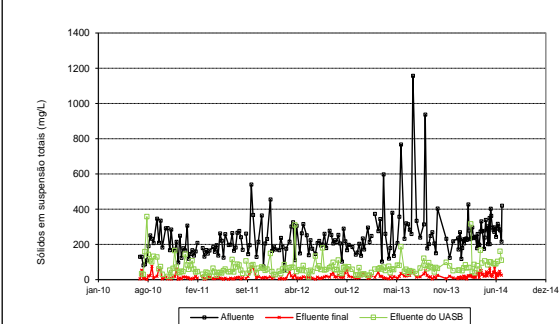
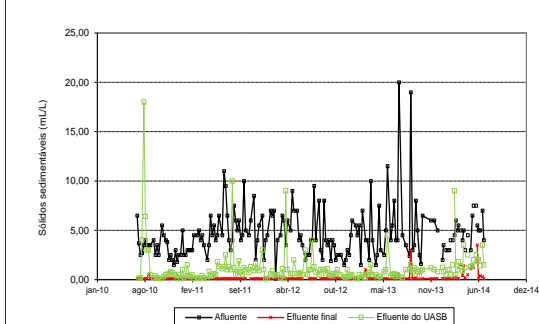
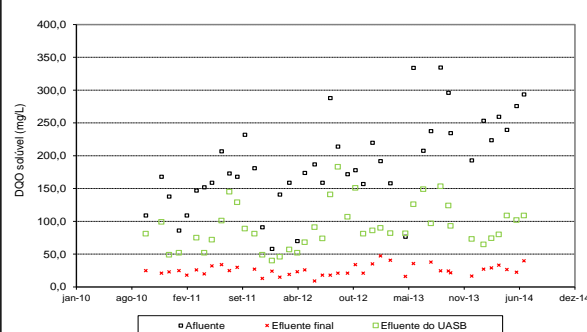
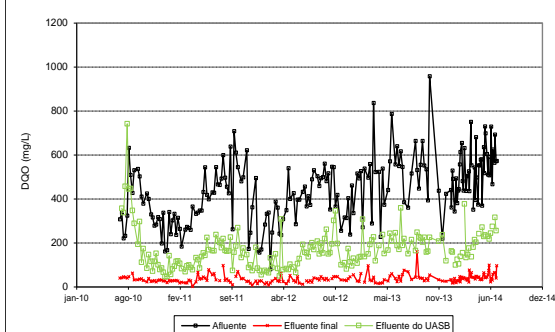
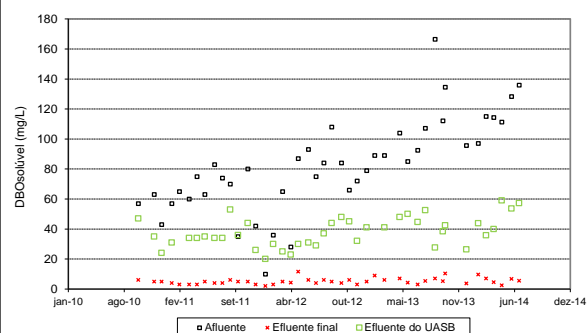
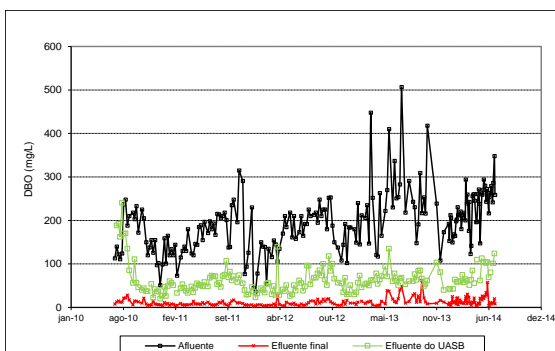
Além disso, observa-se que as eficiências biológicas de remoção (tendo por base DBO e DQO total no afluente e DBO e DQO solúvel no efluente) de DBO (97%) e de DQO (94%) foram bastante elevadas, indicando um adequado desempenho de todo o sistema, em especial para a unidade de lodo ativado.



**Tabela 5: Estatística descritiva das concentrações e eficiências de remoção na ETE Betim Central.**

Parâmetro	Estatística	Esgoto bruto	Tratamento Preliminar		Reator UASB		Lodo Ativado		Global	
			Efl.	efic. (%)	Efl.	efic. (%)	Efl.	efic. (%)	Efl.	efic. (%)
DBO (mg/L)	Número de dados	202	173	173	173	172	200	169	200	200
	Média	<b>195</b>	<b>171</b>	<b>5</b>	<b>64</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>83</b>	<b>12</b>	<b>94</b>
	Mediana	196	160	16	57	64	10	86	10	95
	Mínimo	36	34	-251	20	-29	3	-15	3	71
	Máximo	507	458	72	240	86	62	98	62	98
	Desvio Padrão	69	79	46	33	20	9	13	9	4
	Coefficiente de variação	0,35	0,46	8,97	0,52	0,34	0,74	0,15	0,74	0,04
DBO solúvel (mg/L)	Número de dados	43	41	41	41	40	43	42	43	43
	Média	<b>82</b>	<b>66</b>	<b>64</b>	<b>38</b>	<b>71</b>	<b>5</b>	<b>92</b>	<b>5</b>	<b>97</b>
	Mediana	83	53	67	36	73	5	93	5	97
	Mínimo	10	13	4	20	41	2	80	2	94
	Máximo	167	189	90	59	88	12	99	12	99
	Desvio Padrão	31	35	17	10	11	2	4	2	1
	Coefficiente de variação	0,38	0,54	0,26	0,26	0,16	0,40	0,04	0,40	0,01
DQO (mg/L)	Número de dados	201	174	174	174	173	193	166	193	193
	Média	<b>442</b>	<b>398</b>	<b>1</b>	<b>173</b>	<b>54</b>	<b>37</b>	<b>78</b>	<b>37</b>	<b>91</b>
	Mediana	439	361	11	158	59	33	81	33	92
	Mínimo	81	81	-305	47	-74	2	-152	2	70
	Máximo	959	1078	67	742	85	160	99	160	99
	Desvio Padrão	144	178	51	91	23	19	21	19	5
	Coefficiente de variação	0,32	0,45	37,89	0,53	0,43	0,51	0,27	0,51	0,05
DQO solúvel (mg/L)	Número de dados	43	41	41	42	41	41	41	41	41
	Média	<b>189</b>	<b>153</b>	<b>65</b>	<b>92</b>	<b>71</b>	<b>26</b>	<b>86</b>	<b>26</b>	<b>94</b>
	Mediana	178	142	65	84	77	25	87	25	94
	Mínimo	58	40	38	40	46	9	73	9	85
	Máximo	335	325	84	183	88	47	97	47	98
	Desvio Padrão	68	65	10	34	13	8	6	8	2
	Coefficiente de variação	0,36	0,42	0,15	0,37	0,18	0,32	0,06	0,32	0,03
Sólidos sedimentáveis (ml/L)	Número de dados	176	174	174	175	174	165	158	165	165
	Média	<b>4,6</b>	<b>6,2</b>	<b>-86</b>	<b>1,2</b>	<b>75</b>	<b>0,2</b>	<b>74</b>	<b>0,2</b>	<b>95</b>
	Mediana	4,0	4,0	0	0,7	85	0,1	86	0,1	98
	Mínimo	0,1	0,7	-3340,0	0,1	-200,0	0,1	-300,0	0,1	0,0
	Máximo	20,0	86,0	82,2	18,0	99,8	3,5	99,9	3,5	99,1
	Desvio Padrão	2,6	8,0	376	1,9	36	0,4	41	0,4	10
	Coefficiente de variação	0,56	1,28	-4,35	1,62	0,47	2,03	0,55	2,03	0,11
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	Número de dados	199	170	170	171	170	198	122	198	198
	Média	<b>240</b>	<b>244</b>	<b>-21</b>	<b>71</b>	<b>64</b>	<b>19</b>	<b>79</b>	<b>19</b>	<b>92</b>
	Mediana	224	209	6	59	69	14	82	14	93
	Mínimo	50	45	-851	15	-139	1	20	1	59
	Máximo	1158	1890	87	358	96	76	99	76	99
	Desvio Padrão	121	178	106	48	30	15	14	15	7
	Coefficiente de variação	0,50	0,73	-5,14	0,68	0,47	0,80	0,17	0,80	0,07
Nitrogênio total (mg/L)	Número de dados	163	117	116	118	117	111	106	111	110
	Média	<b>38,3</b>	<b>42,5</b>	<b>-21</b>	<b>36,7</b>	<b>9</b>	<b>20,8</b>	<b>43</b>	<b>20,8</b>	<b>38</b>
	Mediana	38,0	39,0	-20	37,0	16	20,2	41	20,2	39
	Mínimo	11,0	15,0	-88	6,0	-65	3,7	-31	3,7	-37
	Máximo	78,0	94,1	35	76,4	70	50,1	89	50,1	85
	Desvio Padrão	12,5	15,2	28	10,4	26	9,2	22	9,2	25
	Coefficiente de variação	0,33	0,36	-1	0,28	3	0,44	1	0,44	1
Fosfato (mg/L)	Número de dados	143	91	91	92	91	142	91	142	142
	Média	<b>5,4</b>	<b>6,3</b>	<b>-25</b>	<b>5,5</b>	<b>6</b>	<b>3,4</b>	<b>45</b>	<b>3,4</b>	<b>34</b>
	Mediana	5,1	5,5	-18	5,2	15	3,1	44	3,1	38
	Mínimo	0,7	2,8	-173	2,2	-170	0,5	-39	0,5	-232
	Máximo	13,8	11,6	60	13,3	59	10,2	96	10,2	92
	Desvio Padrão	1,7	2,2	42	2,1	39	1,4	23	1,4	34
	Coefficiente de variação	0,31	0,35	-1,68	0,38	6,11	0,43	0,50	0,43	1,02
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	Número de dados	97	-	-	-	-	-	-	96	96
	Média	<b>3,09E+08</b>	-	-	-	-	-	-	<b>3,49E+05</b>	<b>99,83727</b>
	Mediana	1,52E+08	-	-	-	-	-	-	2,34E+04	99,97952
	Mínimo	1,09E+06	-	-	-	-	-	-	2,01E+03	93,09633
	Máximo	2,42E+09	-	-	-	-	-	-	3,01E+07	99,99974
	Desvio Padrão	4,13E+08	-	-	-	-	-	-	3,07E+06	0,73
	Coefficiente de variação	1,34	-	-	-	-	-	-	8,81	0,01

As séries temporais da concentração dos parâmetros estudados, ao longo do sistema de tratamento, e os gráficos box plot das eficiências de remoção de cada unidade são apresentados nas figuras 6 e 7, respectivamente; enquanto que o percentual de atendimento ao padrão de lançamento é mostrado na Tabela 6.



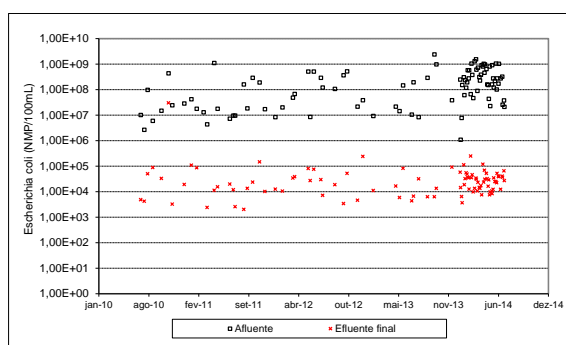


Figura 6: Série temporal das concentrações afluentes e efluentes dos parâmetros estudados

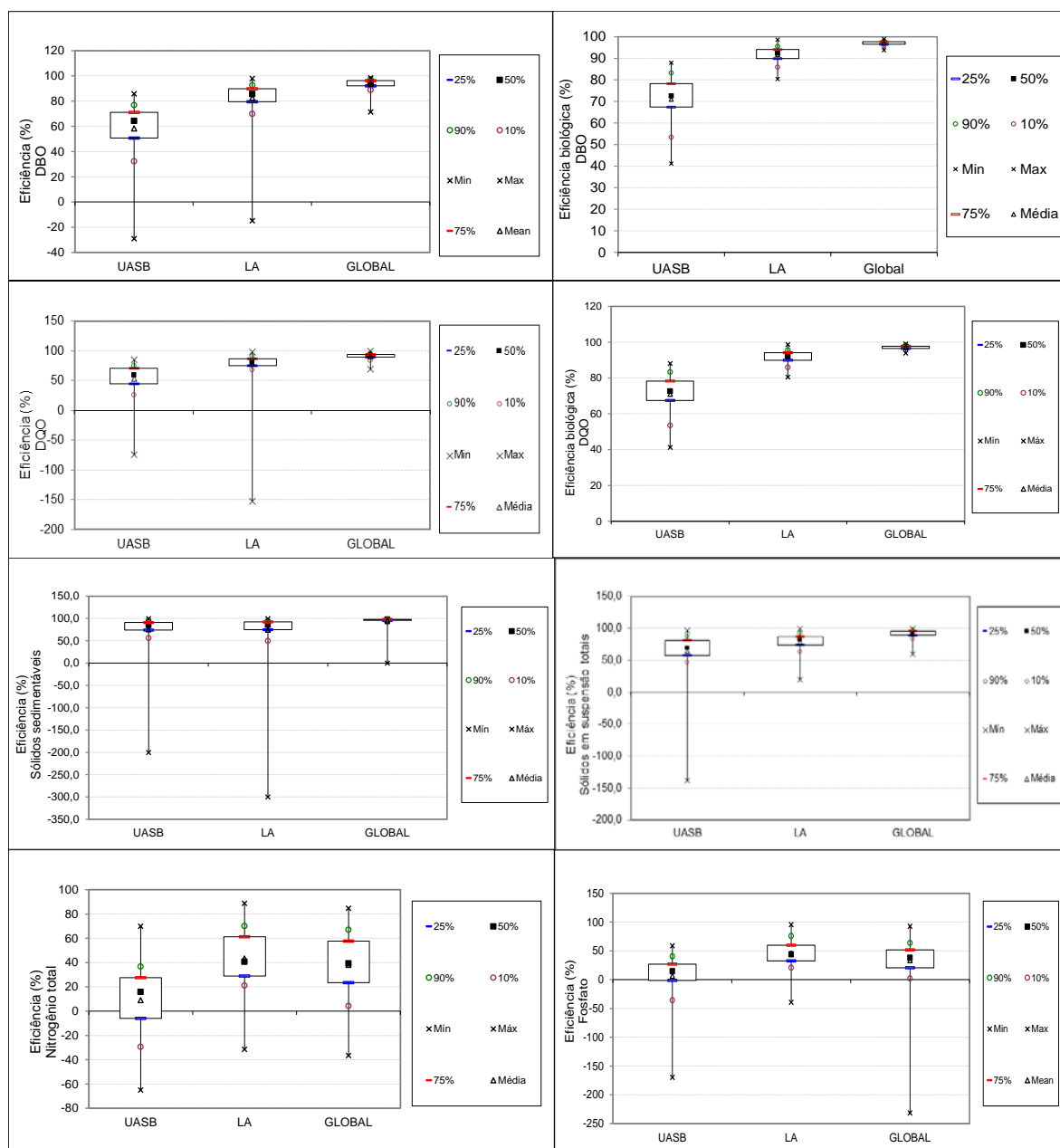


Figura 7: Box plot das eficiências de remoção dos parâmetros estudados

**Tabela 6: Percentual de atendimento ao padrão de lançamento.**

Parâmetro	Padrão de lançamento	% de cumprimento do padrão
DBO	60 mg/L	100
DQO	180 mg/L	100
Sólidos sedimentáveis	1 ml/L	95
Sólidos em suspensão totais	100 mg/L	100

Pelas figuras 6 e 7, tem-se que em 50% do período de monitoramento o padrão de lançamento para DBO (60 mg/L) pôde ser atendido apenas utilizando-se o reator UASB. Observa-se também que em praticamente todo o tempo a ETE Betim Central apresentou efluente com concentração abaixo do valor permitido pela legislação (60 mg/L), tendo como valor máximo 62 mg/L. Os requisitos de eficiência, constantes da legislação, foram plenamente atendidos pelo sistema UASB-lodo ativado. Para a unidade de lodo ativado, foi encontrada uma eficiência de remoção acima do valor encontrado por von Sperling, Freire e Chernicharo (2001), mas muito semelhante aos valores encontrados por Khan *et al.* (2014).

Com relação à DQO, pela Figura 6, tem-se que o esgoto bruto apresentou grande variabilidade na concentração, enquanto que o efluente final quase não apresentou picos significativos e sempre esteve abaixo dos valores estabelecidos pela legislação, indicando um bom tratamento. O gráfico da Figura 7 indica que o padrão de lançamento relativo à eficiência de remoção maior de 55% não é atendido pelo tratamento do reator UASB durante todo o período de monitoramento, sendo necessário um tratamento complementar, tal como o implementado nesta ETE.

É possível observar, pela Figura 6, que o esgoto bruto apresentou grande variabilidade na concentração de sólidos sedimentáveis e em suspensão totais, enquanto que o efluente final apresentou alguns picos significativos. A legislação foi atendida em todo o período para os sólidos em suspensão totais, porém a concentração de sólidos sedimentáveis apresentou valores acima do exigido pela legislação em 5% do período de monitoramento. Pela Figura 7, tem-se que, em grande parte do período de monitoramento, a eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis e em suspensão foi de 95,5% e 97%, respectivamente, indicando um excelente desempenho da estação para esses parâmetros.

Com relação aos nutrientes fosfato e nitrogênio, é possível observar pelos gráficos das figuras 6 e 7 que a eficiência de remoção não foi elevada. Esses resultados já eram esperados, tendo em vista que a ETE Betim Central não foi dimensionada com esse objetivo. No entanto, caso seja necessária a remoção de nitrogênio, algumas adequações no fluxograma, com algumas recirculações, podem promover uma eficiente remoção, assim como encontrado por Huang *et al.* (2007). A concentração de nitrogênio total do efluente do UASB apresentou valores semelhantes ao do afluente à estação, indicando não haver grande remoção nessa unidade de tratamento.

Assim como os nutrientes, a eficiência de remoção de coliformes também não foi elevada. Esses valores estão de acordo com o encontrado na literatura para os processos de reatores UASB e lodos ativados, uma vez que não há mecanismos específicos de remoção ao longo da linha de tratamento.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- O sistema composto por reator UASB seguido por lodo ativado é bastante adequado para o tratamento de esgoto doméstico, no que diz respeito à remoção de matéria orgânica e sólidos; sendo capaz de gerar um efluente de elevada qualidade e atender ao preconizado pela legislação ambiental do estado de Minas Gerais. Porém apenas esse sistema não é indicado quando a remoção de coliformes é uma necessidade; sendo necessário, portanto, a utilização de um pós-tratamento com essa finalidade. O mesmo acontece para o parâmetro fosfato, que apresentou uma pequena eficiência de remoção.

- Devido à carga orgânica afluyente ter sido baixa nestes primeiros quatro anos de operação, a ETE Betim Central apresentou baixos valores de SSV/SST e de A/M e uma idade do lodo mais elevada, trabalhando em alguns momentos como um sistema de lodo ativado de aeração prolongada e gerando um lodo mais estabilizado.
- Os parâmetros de projeto não foram atendidos em todo o período de monitoramento. Porém, isso não influenciou o desempenho do sistema global, uma vez que as diferenças foram principalmente no sentido de se ter condições de subcarga no sistema.
- As eficiências de nitrificação e desnitrificação foram baixas, o que já era de se esperar; tendo em vista que essa ETE não foi projetada com a finalidade de remover nitrogênio. Caso, num futuro, seja necessária a remoção desse constituinte, pode-se pensar em algumas adequações de recirculação interna com esse objetivo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à equipe operacional da ETE Betim Central, em especial ao engenheiro Saulo Souza, ao supervisor Marcelo Silva e ao operador da ETE Fernando Araújo, e aos funcionários da Copasa Eugênio Álvares (superintendente de serviços de tratamento de efluentes), José Maria Filho (gerente da divisão de tratamento de efluentes) e Sirlei Azevedo (engenheiro coordenador do laboratório da ETE Arrudas), pelo apoio prestado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20<sup>th</sup> ed. Washington: APHA, 1998. 1 v.
2. CAO, Y. S.; ANG, C. M. Coupled UASB-activated sludge process for COD and nitrogen removals in municipal sewage treatment in warm climate. *Water Science and Technology*, v. 60, p. 2829–2839, 2009.
3. CHERNICHARO, C. A. DE L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 5. Reatores anaeróbios*. 2<sup>a</sup> edição ed. Belo Horizonte: [s.n.], 2007. p. 380p.
4. CHERNICHARO, C. A. L. Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 5, n. 1, p. 73–92, fev. 2006.
5. CHONG, S. *et al.* The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment - A state-of-the-art review. *Water Research*, v. 46, n. 11, p. 3434–3470, jul. 2012.
6. GARUTI, G.; DOHANYOS, M.; TILCHE, A. Anaerobic-aerobic combined process for the treatment of sewage with nutrient removal: the Anammox® process. *Water Science and Technology*, v. 25, n. 7, p. 383–394, 1992.
7. HUANG, J. S. *et al.* Effect of recycle-to-influent ratio on activities of nitrifiers and denitrifiers in a combined UASB-activated sludge reactor system. *Chemosphere*, v. 68, p. 382–388, 2007.
8. KASSAB, G. *et al.* Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater - a review. *Bioresource technology*, v. 101, n. 10, p. 3299–310, maio 2010.
9. KHAN, A. A. *et al.* Performance assessment of different STPs based on UASB followed by aerobic post treatment systems. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, v. 12, n. 1, p. 43, 27 jan. 2014.
10. METCALF &. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3<sup>a</sup> edição ed. New York, USA: [s.n.], 1991. p. 920.
11. MUNGRAY, A. K.; MURTHY, Z. V. P. Post-treatment of up-flow anaerobic sludge blanket reactor effluents in activated sludge process-based system for anionic surfactants. *Water and Environment Journal*, v. 28, n. Cpcb 2001, p. 84–94, 2014.
12. MUNGRAY, A. K.; PATEL, K. Coliforms removal in two UASB + ASP based systems. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 65, n. 1, p. 23–28, jan. 2011.
13. TAWFIK, A.; SOBHEY, M.; BADAWY, M. Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination*, v. 227, n. 1-3, p. 167–177, jul. 2008.

14. VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 4. Lodos Ativados*. 3<sup>a</sup> edição ed. Belo Horizonte: [s.n.], 2012. p. 428.
15. VON SPERLING, M.; FREIRE, V. H.; CHERNICHARO, C. A. D. Performance evaluation of a UASB - activated sludge system treating municipal wastewater. *Water Science and Technology*, v. 43, p. 323–328, 2001.