



II-067 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ETEs PRÉ-FABRICADAS INSTALADAS EM EMPREENDIMENTO MINERÁRIO: ESTUDO DE CASO

Fernanda Narciso Maximiano Barcellos⁽¹⁾

Engenheira Civil e Especialista em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente pela Escola de Engenharia da UFMG. Mestranda em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos – Escola de Engenharia UFMG.

Cíntia Amélia Soares Matos

Engenheira Ambiental e Sanitarista e Mestranda em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos – Escola de Engenharia UFMG.

Raissa Santos Figueiredo

Engenheira Ambiental e Sanitarista e Mestranda em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos - Escola de Engenharia UFMG.

Vitor Araujo de Souza Franco

Químico e Doutorando em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos - Escola de Engenharia UFMG.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutor em Environmental Engineering pela University of Newcastle Upon Tyne – Inglaterra. Pós Doutor pela University of New South Wales - Austrália. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço⁽¹⁾: Rua Gávea, 08/203 – Jardim América - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.460-210 - Brasil - Tel: +55 (31) 9.9163-0536 - e-mail: febarcellos@gmail.com

RESUMO

O trabalho apresenta uma análise do desempenho operacional de cinco ETEs pré-fabricadas instaladas e em operação há mais de 5 (cinco) anos para o tratamento de esgoto sanitário de um empreendimento minerário de médio porte, localizado na região do Quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. Todas as ETEs são constituídas de etapa anaeróbia seguida de etapa aeróbia. A série histórica dos dados de monitoramento operacional das cinco ETEs estudadas compreendeu um período de quatro anos. A avaliação considerou as concentrações afluentes e efluentes dos parâmetros de caracterização: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Suspensos Totais (SST), bem como uma comparação do percentual de violação de cada constituinte com os limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente no estado de Minas Gerais. Pela análise e interpretação dos dados dos referidos sistemas descentralizados em estudo, há a possibilidade do efluente sanitário do empreendimento, de maneira geral, apresentar características de efluentes diluídos e com pouca matéria orgânica. Dentre as possíveis condições que potencializam essa característica citam-se: as constantes lavagens nas áreas, o sistema de coleta da amostra (amostra simples) e os horários de coleta com maior contribuição de águas de lavagens das instalações. Outra possível análise desses resultados pode ter justificativa respaldada na não correspondência das características da amostra do afluente e do efluente, já que as coletas são realizadas por amostragens simples e o tempo de detenção hidráulica - TDH do sistema em média é de 8h. Além disso, os resultados da concentração desse efluente quando comparados com o padrão legal utilizado como referência apresentou um percentual de violação à DN COPAM/CERH 01/08 de 35 % no caso da ETE de maior porte e entre 12% e 18% para as ETEs de menor e médio portes, em um horizonte de aproximadamente quatro anos de monitoramento.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho operacional, ETEs pré-fabricadas, tratamento descentralizado de esgoto.

INTRODUÇÃO

Uma das principais vocações econômicas do Estado de Minas Gerais é a Mineração e, em comparação com o cenário nacional, a produção de minério de ferro nesse Estado apresenta percentual de destaque (66%, segundo dados do IBRAM, 2015). Os empreendimentos minerários, em sua maioria, estão localizados em áreas rurais, as quais são geralmente desprovidas de infraestrutura de esgotamento sanitário. O índice médio do Brasil para o tratamento dos esgotos foi de 42,7%, dado esse que ainda representa um déficit elevado para o saneamento,

segundo o diagnóstico de água e esgoto – Ano Base 2015, divulgado de acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e publicado em fevereiro de 2017 (SNIS, 2017).

Isto posto, para que as infraestruturas necessárias nos empreendimentos minerários, visando ao atendimento às atividades auxiliares (escritórios, vestiários, refeitórios), contemplem a correta coleta, tratamento e destinação final dos efluentes gerados pelas atividades, cabe ao empreendimento instalar, operar e monitorar as estações de tratamento de esgotos. Nesse contexto, muitos empreendimentos têm se valido da utilização de ETES compactas pré-fabricadas, entretanto os resultados de desempenho destas ETES não são divulgados de forma ampla, ficando muitas vezes restritos ao próprio empreendimento e aos órgãos de controle ambiental.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o desempenho de ETES pré-fabricadas instaladas e em operação há mais de 5 (cinco) anos para o tratamento de esgoto sanitário de um empreendimento minerário de médio porte, localizado na região do Quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, em termos das concentrações afluentes e efluentes de parâmetros de caracterização: DBO, DQO e SST, bem como avaliar o percentual de violação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente no estado de Minas Gerais.

METODOLOGIA

Caracterização da ETES estudadas

As cinco ETES selecionadas e que fizeram parte desse estudo encontram-se implantadas e em operação numa mineradora localizada no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais. Todas as ETES são constituídas de reatores anaeróbios seguidos por biofiltros aerados submersos. Para identificação das ETES optou-se por numerá-las de 1 a 5, separando-as por porte (Tabela 1).

As ETES foram agrupadas conforme a capacidade de tratamento, sendo as ETES 1 e 2 idênticas, com capacidade de tratamento de $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, classificadas como Pequeno Porte (P); as ETES 3 e 4, também idênticas, com capacidade de tratamento de $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, classificadas como Médio Porte (M); e a ETE 5, com capacidade por módulo de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ e total de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, classificadas como Grande Porte (G).

Na Figura 1 são apresentadas fotografias a fim de ilustrar as ETES em estudo, sendo as mesmas identificadas por porte.



Nota: A = Afluente e E = Efluente.

Figura 1: Ilustração fotográfica dos diferentes portes das ETES estudadas – P (Pequeno porte), M (Médio porte), G (Grande porte) da esquerda para a direita.

Na Tabela 1 são apresentados o porte das ETES, sua respectiva localização e atendimento por número de funcionários, o processo de tratamento aplicado, assim como a origem dos efluentes, sendo a maioria oriunda de banheiros e limpeza das instalações, exceto a ETE de maior porte (ETE 5) que recebe também contribuições dos efluentes do refeitório e vestiários.

Tabela 1: Características gerais das estações de tratamento de esgotos que fizeram parte do estudo.

Características Gerais	ETE 1	ETE 2	ETE 3	ETE 4	ETE 5
Porte	P	P	M	M	G
Atendimento (nº de funcionários)	8*	8	90	60	330**
Localização das ETES	Portaria do empreendimento	Balança de caminhões	Almoxarifado e oficinas de manutenção	Planta de beneficiamento de minério	Prédios de infraestrutura administrativa
Processo de tratamento***	AN/A	AN/A	AN/A	AN/A	AN/A
Origem dos efluentes	Banheiros e limpeza das instalações	Banheiros e limpeza das instalações	Banheiros e limpeza das instalações	Banheiros e limpeza das instalações	Banheiros, refeitório, vestiários e limpeza das instalações

P (Pequeno), M (Médio), G (Grande): porte da ETE definido conforme a capacidade de tratamento dos esgotos.

* Contribuição adicional (300 visitantes em média/mês).

** Contribuição adicional do refeitório (12.000 refeições/mês).

*** AN/A: Anaeróbio / Aeróbio

Levantamento e sistematização dos dados operacionais

A série histórica dos dados operacionais das cinco ETES estudadas compreendeu o período de julho de 2013 a outubro de 2017. O plano de amostragem para avaliação do desempenho das ETES foi estabelecido de acordo com procedimentos internos da mineradora, estudo de impacto ambiental desenvolvido por consultorias especializadas e licenças ambientais vigentes que influíram em suas condicionantes ambientais de monitoramento dentro dos processos de licenciamento ao longo dos anos de operação do empreendimento. Foram coletadas amostras simples do afluente e do efluente, com frequência mensal para os parâmetros DBO e DQO e trimestral para SST.

Os dados de monitoramento das ETES foram analisados por meio de estudos estatísticos preliminares, com objetivo de se conhecer e caracterizar os sistemas. Para os parâmetros de caracterização de interesse, DBO, DQO e SST, afluentes e efluentes de todas as ETES, foram calculadas as estatísticas básicas. Essa primeira etapa contemplou o cálculo do número de dados, mediana, os valores máximos e mínimos, os quartis inferior e superior, percentis de 25% e 75%, o desvio padrão, os *outliers* superiores e o número de dados faltantes.

A apresentação dos dados das ETES avaliadas foi padronizada de forma a facilitar sua utilização. Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel), em ordem cronológica de monitoramento e por porte da ETE, o que possibilitou análises por agrupamentos.

Foram ainda elaborados gráficos, a partir das análises da estatística descritiva dos parâmetros analisados, bem como da comparação entre as concentrações afluentes e efluentes usuais (reportadas na literatura especializada) e reais dos parâmetros de caracterização, visando ao entendimento do desempenho dos sistemas em operação ao longo do período estudado.

De modo a avaliar o atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos na legislação vigente foram analisados todos os dados de DBO, DQO e SST efluentes de cada ETE, comparando-os com os limites

estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) n° 01, de 05 de maio de 2008, do Estado de Minas Gerais, que 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. Em seu artigo 29, a Deliberação Conjunta apresenta as concentrações e condições de lançamento para diversos parâmetros, sendo DBO até 60 mg.L⁻¹ ou eficiência de remoção de no mínimo 60%; DQO até 180 mg.L⁻¹ ou eficiência de remoção de no mínimo 55% e sólidos em suspensão até 100 mg.L⁻¹ (MINAS Gerais, 2008).

Para a comparação, os dados agrupados por ordem cronológica no Microsoft Excel foram avaliados de forma individual para verificação do atendimento à legislação. Após essa avaliação, o percentual dos dados foi consolidado, considerando a razão entre o número de dados que atendiam aos padrões de lançamento em relação ao total de dados.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

O percentual de *outliers* superiores das concentrações dos afluentes avaliados para cada constituinte de interesse esteve próximo de 10%, à exceção dos SST (mg/L) nas ETEs 1 e 3, cujos valores apresentaram percentuais de 22% e 17%, respectivamente. No caso das análises da estatística básica das concentrações dos efluentes, destaca-se que o percentual de *outliers* superiores esteve próximo de 10%, à exceção pontual também dos SST (mg/L) na ETE 3, cujo valor apresentou percentuais de 22%. Vale ressaltar que o número de dados disponíveis e avaliados para SST (mg/L) são inferiores à metade dos dados de DBO (mg/L) e DQO (mg/L), o que representa uma amostra bem menor e que pode evidenciar com maior ênfase esses valores.

Caracterização dos esgotos afluentes às ETEs estudadas

De acordo com von Sperling (2005), as faixas das concentrações usuais reportadas na literatura técnica de esgotos sanitários brutos são apresentadas a seguir: 1) DBO (200 a 500 mg/L); 2) DQO (450 a 800 mg/L); e 3) SST (200 a 450 mg/L). De maneira geral, percebe-se que os valores calculados das medianas de concentrações afluentes observadas para as ETEs em estudo, apresentados na Tabela 2 e nas Figuras 2a, 2b e 2c, estão muito abaixo das concentrações usuais típicas, bem como suas faixas, indicadas na literatura especializada.

Tabela 2: Comparação entre concentrações afluentes usuais e reais dos parâmetros de caracterização.

Sistema	Constituinte	Concentrações usuais*		Concentrações observadas
		Faixa	Típicas	Mediana
ETE 1	DBO (mg/L)	200 – 500	300	178
	DQO (mg/L)	450 – 800	600	388
	SST (mg/L)	200 – 450	350	118
ETE 2	DBO (mg/L)	200 – 500	300	172
	DQO (mg/L)	450 – 800	600	428
	SST (mg/L)	200 – 450	350	122
ETE 3	DBO (mg/L)	200 – 500	300	156
	DQO (mg/L)	450 – 800	600	433
	SST (mg/L)	200 – 450	350	116
ETE 4	DBO (mg/L)	200 – 500	300	94
	DQO (mg/L)	450 – 800	600	217
	SST (mg/L)	200 – 450	350	69
ETE 5	DBO (mg/L)	200 – 500	300	187
	DQO (mg/L)	450 – 800	600	420
	SST (mg/L)	200 – 450	350	60

* Von Sperling, 2005

Uma possível justificativa é que os esgotos afluentes podem estar muito diluídos, com baixas concentrações afluentes e com pouca matéria orgânica, por consequência. A diluição pode estar associada, principalmente, às lavagens diárias dos pisos das instalações do empreendimento para remoção de material particulado presente, inerente à atividade minerária. Além disso, a manutenção das instalações limpas é importante para a manutenção de um lugar com assepsia adequada, a fim de evitar a proliferação de doenças, dada a utilização dessas instalações por um grande número de funcionários. Sabe-se que, mesmo com diversas campanhas educativas veiculadas em grande escala nos meios de comunicação internos da empresa e externos na mídia em geral sobre a necessidade de economizar água, ainda é frequente o número de pessoas que utilizam a água como ferramenta de varrição para a limpeza de pisos.

Outras questões que podem influenciar a caracterização dos esgotos afluentes no que tange à sua diluição é a forma de coleta das amostras para a análise laboratorial (amostras simples) e em horários com maior contribuição de águas de lavagens das instalações, conforme supracitado.

Caracterização dos efluentes das ETEs estudadas

No caso das comparações realizadas por von Sperling (2005) para as concentrações usuais efluentes indicadas para sistemas de tratamento compostos por UASB+POS-TRATAMENTO, foram reportadas as seguintes faixas: 1) DBO (20 a 80 mg/L); 2) DQO (60 a 200 mg/L); e 3) SST (10 a 90 mg/L). O mesmo comportamento pode ser observado para os valores das medianas das concentrações efluentes, as quais diferem das faixas das concentrações usuais típicas indicadas na literatura especializada, conforme indicado na Tabela 3 e nas Figuras 2d, 2e e 2f.

Tabela 3: Comparação entre concentrações efluentes usuais e reais dos parâmetros de caracterização.

Constituinte	Literatura*	Concentrações observadas (Efluente) – Mediana				
	UASB+POS Tratamento	ETE 1	ETE 2	ETE 3	ETE 4	ETE 5
DBO (mg/L)	20 a 80	14	31	28	17	32
DQO (mg/L)	60 a 200	74	93	99	79	108
SST (mg/L)	10 a 90	10	18	6	5	29

*Von Sperling, 2005.

Como as concentrações afluentes são bem menores que as concentrações usuais típicas, é de se esperar o reflexo dessas características no efluente das ETEs em questão.

Diante dos valores das medianas calculadas para cada constituinte abordado nesse estudo (DBO, DQO e SST) e para todas as ETEs analisadas, pode-se constatar que tais valores ficaram muito próximos ao limite inferior das faixas indicadas pela literatura. A exceção observada foi para o parâmetro DQO, cujos valores das medianas apresentaram concentrações dentro da faixa utilizada como referência e não muito próximas ao respectivo limite inferior. Com relação à mediana calculada para o constituinte DBO, apenas as ETEs 1 e 4 apresentaram valores inferiores ao reportado pela literatura. Outro constituinte que apresentou medianas inferiores às faixas usuais foi SST no caso das ETEs 3 e 4.

A partir de uma análise adicional dos dados apresentados nos gráficos da Figura 2d, 2e e 2f, foi possível observar que as medianas dos parâmetros em estudo encontram-se bem abaixo dos limites estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/2008.

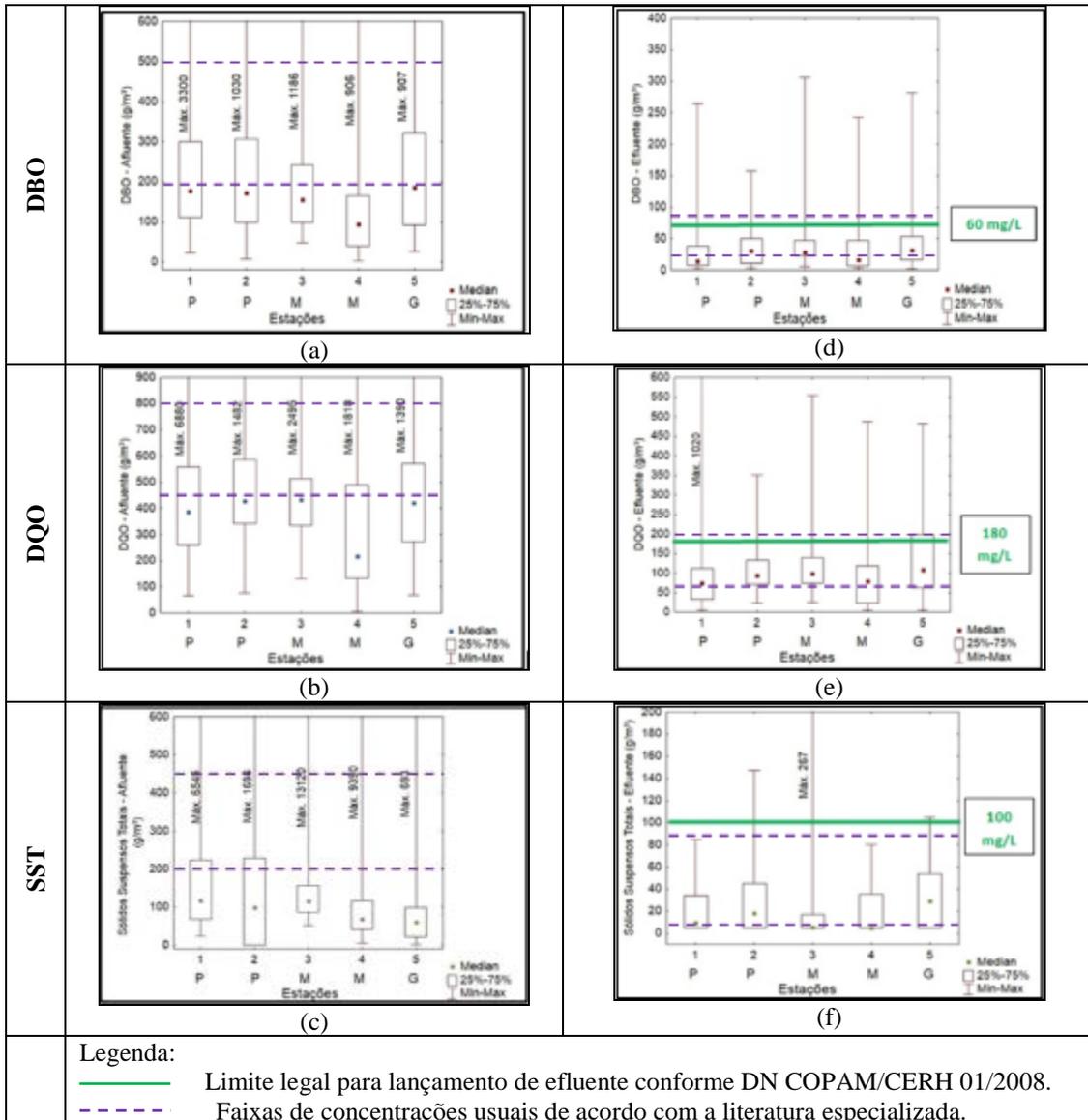


Figura 2: Gráficos box-whisker das concentrações de DBO, DQO e SST afluentes (a, b, c) e efluentes (d, e, f) com identificação das faixas de concentrações usuais (de acordo com a literatura especializada) e do limite legal para lançamento de efluente conforme DN COPAM/CERH 01/2008.

Adicionalmente, pela comparação dado a dado dos parâmetros de caracterização efluentes com os parâmetros preconizados na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, foi possível observar que a ETE 1 foi a que apresentou um menor percentual total de violação à deliberação, seguida das ETES 4, 2 e 3, para o período de análise dos resultados. A Figura 3 apresenta essas análises em relação ao percentual de violação para cada ETE em estudo.

ETE 1			ETE 2		
Parâmetros	Nº de dados	Não atendimento aos padrões de lançamento (%)	Parâmetros	Nº de dados	Não atendimento aos padrões de lançamento (%)
DBO ou eficiência de remoção de DBO	49	6,1	DBO ou eficiência de remoção de DBO	49	4,1
DQO ou Eficiência de remoção de DQO	48	6,3	DQO ou Eficiência de remoção de DQO	45	6,7
SST	18	0	SST	17	5,9
ETE 3			ETE 4		
Parâmetros	Nº de dados	Não atendimento aos padrões de lançamento (%)	Parâmetros	Nº de dados	Não atendimento aos padrões de lançamento (%)
DBO ou eficiência de remoção de DBO	50	6,0	DBO ou eficiência de remoção de DBO	49	10,2
DQO ou Eficiência de remoção de DQO	48	6,1	DQO ou Eficiência de remoção de DQO	48	6,3
SST	18	5,6	SST	16	0
ETE 5					
Parâmetros	Nº de dados	Não atendimento aos padrões de lançamento (%)			
DBO ou eficiência de remoção de DBO	46	8,7			
DQO ou Eficiência de remoção de DQO	45	20			
SST	16	6,3			

Figura 3: Percentual de violação aos padrões de lançamento por ETE.

A ETE que apresentou maior percentual de violação à DN COPAM/CERH 01/08 foi a 5. O parâmetro que contribuiu para esse percentual bastante elevado de violação (35 %) foi a DQO, com representatividade superior à metade desse percentual. Os demais percentuais de violação das ETEs 1, 2, 3 e 4 ficaram próximos à mesma ordem de grandeza (entre 12% e 18%), em um horizonte de aproximadamente quatro anos de monitoramento.

Na ETE 5, o percentual elevado de violação para o parâmetro DQO e/ou eficiência de remoção de DQO pode estar associado ao uso excessivo de produtos químicos devido às constantes lavagens nas áreas (como vestiários e escritórios), bem como ao material não biodegradável presente nesse efluente.

CONCLUSÕES

Quando comparados os resultados de monitoramento do esgoto afluente e efluente dos sistemas em estudo com a literatura especializada, foi observado que as medianas das concentrações dos parâmetros de caracterização (DBO/DQO/SST) encontravam-se abaixo das concentrações usuais típicas reportadas pela literatura, ou muito próximas ao respectivo limite inferior das faixas, tendo como justificativa a possibilidade do esgoto do empreendimento estar bastante diluído e com pouca matéria orgânica. Dentre as possíveis condições que potencializam essa característica citam-se: as constantes lavagens nas áreas, o sistema de coleta da amostra (amostra simples) e os horários de coleta com maior contribuição de águas de lavagens das instalações.

Em relação à análise de violação dos resultados de monitoramento aos padrões de lançamento, foi possível observar que a ETE de maior porte, que trata efluentes oriundos de vestiários e refeitórios, foi a que apresentou maiores percentuais de violação, principalmente para DQO e/ou eficiência de remoção de DQO, fato este que pode estar associado ao uso excessivo de produtos químicos durante as constantes lavagens,



principalmente de vestiários e refeitórios. Outra possível análise desses resultados pode ter justificativa respaldada na não correspondência das características da amostra do afluente e do efluente, já que as coletas são realizadas por amostragens simples e o tempo de detenção hidráulica - TDH do sistema em média é de 8h. Os demais percentuais de violação das ETEs de pequeno e médio portes (1, 2, 3 e 4) ficaram próximos à mesma ordem de grandeza (entre 12% e 18%), em um horizonte de aproximadamente quatro anos de monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p. : il.
2. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Panorama da Mineração em Minas Gerais – Brasília: IBRAM, 2015.
3. MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, 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. Belo Horizonte: Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM, 2008.
4. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte, 2005. 452p.