



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-008 - AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MODALIDADES DE TRATAMENTO DE ESGOTO, EM TERMOS DE ATENDIMENTO AOS PADRÕES DE LANÇAMENTO PRECONIZADOS PELAS LEGISLAÇÕES ESTADUAIS DE MINAS GERAIS E SÃO PAULO

Sílvia M. A. Corrêa Oliveira

Engenheira eletricista, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG, doutoranda na área de Saneamento na UFMG.

Maurrem Ramon Vieira

Engenheiro Químico, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG, Doutor em Tecnologia Mineral pela UFMG, Pesquisador DTI do CNPq.

Marcos von Sperling⁽¹⁾

Engenheiro civil (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental (Imperial College, Universidade de Londres – Inglaterra). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Carlos Augusto Lemos Chernicharo

Engenheiro civil (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental (Universidade de Newcastle-upon-Tyne, Inglaterra). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Pedro Alem Sobrinho

Engenheiro civil (EESC-USP) e Engenheiro Sanitarista (FHSP-USP). MSc em Saneamento (Universidade de Newcastle upon Tyne, Inglaterra). Doutor em Engenharia (Escola Politécnica da USP). Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da USP.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG - Av. Contorno, 842 – 7º andar - Centro – Código postal: 30.110-060 – Belo Horizonte – BRASIL. Tel: (31) 3238-1935 – Fax: (31) 3238-1882.

 marcos@desa.ufmg.br

RESUMO

Esta pesquisa avaliou a capacidade de 206 estações de tratamento de esgotos sanitários em operação nos estados de Minas Gerais e São Paulo, quanto ao alcance aos padrões de lançamento preconizados pelas DN COPAM nº 10/86, DN COPAM nº 46/01 e Dec. nº 8468/76 - SP. Foram avaliados os parâmetros DBO para os dois estados e DQO e Sólidos Suspensos Totais, para Minas Gerais. Foram investigadas 21 modalidades de tratamento diferentes, totalizando cerca de 5765 dados, e representando o maior levantamento de desempenho já efetuado no Brasil. As tecnologias analisadas compreendem processos de tratamento aeróbios e anaeróbios, combinados ou não, cobrindo uma vasta gama de sistemas usualmente utilizados em países tropicais. Os dados mostraram-se muito heterogêneos considerando a frequência de amostragem, o período de dados disponibilizados e os parâmetros monitorados. Os resultados obtidos mostraram uma grande dificuldade de atendimento aos padrões estabelecidos pelas legislações ambientais, quando estas contemplam apenas o quesito concentração efluente. A incorporação do critério de eficiência de remoção favorece o atendimento a todos os padrões de lançamento. Ressalta-se o bom desempenho obtido pelas modalidades representadas pelos reatores UASB seguidos de pós-tratamento, considerando-se todos os critérios de avaliação adotados. Mais do que uma mera avaliação de padrões específicos preconizados por legislações ambientais de dois estados brasileiros, o trabalho apresenta um diagnóstico da capacidade de atendimento de diversas modalidades de tratamento de esgotos, que podem ser aplicáveis a vários outros estados do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Esgotos sanitários, tratamento de esgotos, padrões de lançamento, avaliação de desempenho.

INTRODUÇÃO

O estabelecimento de uma legislação para proteção da qualidade dos corpos d'água, que seja adequada às realidades dos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, tem sido motivo de discussões nacionais e internacionais por vários pesquisadores da área (von Sperling, 1998; Nascimento e von Sperling, 1999; Johnstone e Norton, 2000; von Sperling e Chernicharo, 2000). Os países menos desenvolvidos estão sempre buscando seguir os padrões de lançamento adotados pelas nações mais desenvolvidas, que se encontram em um estágio bastante diferenciado quanto aos problemas ambientais, por possuírem legislação suficiente e capacidade institucional e econômica adequada para financiar, projetar, construir, manter e operar os sistemas de tratamento de esgotos.

Tradicionalmente, o alcance aos padrões de lançamento é quantificado através de medições de concentração de DBO, DQO, sólidos suspensos, nitrogênio total e fósforo total. Johnstone e Norton (2000) comentam que, no entanto, algumas definições e, às vezes indefinições, dificultam a interpretação do cumprimento ou não dos padrões. Alguns esclarecimentos sobre o regime de amostragem (se amostras simples ou compostas), sobre a forma de atendimento (se valores absolutos ou avaliação estatística), sobre a frequência requerida de amostragens e análises e, finalmente, sobre o período de julgamento do cumprimento (se deve ser considerada a amostra diária, a média mensal, a média anual ou um valor percentual medido em um certo período de tempo) seriam importantes e necessários. Outros questionamentos usualmente presentes dizem respeito aos erros na amostragem e análises e à definição do que se constitui uma falha.

Estas indefinições acarretam uma dificuldade extra à interpretação e avaliação de desempenho dos diversos processos de tratamento de esgotos existentes, considerando o atendimento aos padrões de qualidade para os efluentes. No Brasil, além da escassez de estações de tratamento de esgotos – ETE's, somam-se a estas dificuldades a falta de um monitoramento regular e freqüente pelas operadoras existentes, observando-se, em alguns casos, carência de anos de resultados.

Von Sperling e Chernicharo (2000) investigaram o desempenho de diversas tecnologias de tratamento de esgoto disponíveis e os conseqüentes níveis de qualidade do efluente obtidos. As conclusões se basearam em uma revisão que incluiu referências internacionais e nacionais, além de resultados obtidos no PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.

De forma semelhante, este trabalho procura avaliar o desempenho de diversas modalidades de tratamento de esgoto, através do estudo de 206 ETE's em operação nos estados de Minas Gerais e São Paulo, em termos de atendimento aos padrões de lançamento para Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO₅, a 20 °C, preconizados pelas respectivas legislações estaduais. O objetivo é avaliar a condição destes processos de atingir os padrões de lançamento de esgotos atualmente em vigor.

Para as ETE's de Minas Gerais foi efetuado, ainda, um estudo sobre a porcentagem de atendimento aos padrões de lançamento para Demanda Química de Oxigênio - DQO e Sólidos Suspensos Totais – SST.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos no âmbito do projeto URBAGUA, da Agência Nacional de Águas - ANA. O referido projeto foi desenvolvido em uma parceria entre a UFMG e a USP, e teve como um dos objetivos a avaliação de desempenho de estações municipais de tratamento de esgotos.

Para realização dos trabalhos foram efetuados levantamento e aquisição de dados de monitoramento referentes a estações municipais de tratamento de esgotos dos estados de Minas Gerais e de São Paulo. Os dados foram obtidos junto aos órgãos públicos estaduais responsáveis pelo monitoramento, às companhias de saneamento e às Prefeituras Municipais dos dois Estados, dependendo do tipo de serviço adotado em cada localidade.

As tecnologias investigadas compreendem processos aeróbios e anaeróbios, simples e combinados, cobrindo uma larga faixa de processos atualmente utilizados no país.

As legislações consideradas foram a Deliberação Normativa COPAM nº 10/86 e a alteração estabelecida pela DN COPAM nº 46/01, específica para esgotos domésticos, de Minas Gerais, e o Decreto nº 8468/76 - Cetesb, de São Paulo. A DN COPAM 010/86 estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados

nos corpos d'água desde que a concentração de DBO_5 atinja, no máximo, 60 mg/L. A alteração estabelecida pela DN COPAM 46/01, especificamente para esgotos domésticos e chorumes de aterros sanitários, preconiza que este limite máximo poderá ser ultrapassado em situações onde estudos de autodepuração de corpos d'água receptores comprovarem que os padrões de qualidade serão resguardados e o sistema de tratamento reduzir a carga poluidora dos efluentes, em termos de DBO_5 em, no mínimo, 60%.

O Dec. 8468/76 permite que os efluentes de qualquer fonte poluidora sejam lançados, direta ou indiretamente, nas coleções de água, desde que a concentração máxima de DBO_5 seja de 60 mg/L. Este limite poderá ser ultrapassado quando os sistemas de tratamento apresentarem uma eficiência de remoção da carga poluidora de, no mínimo, 80%.

Desta forma, foram utilizados três critérios, baseados nas legislações em vigor nos dois Estados, para a avaliação dos sistemas de tratamento:

- Critério 1 - concentração de DBO_5 no efluente igual ou inferior a 60 mg/L;
- Critério 2 - concentração de DBO_5 no efluente igual ou inferior a 60 mg/L ou percentual de eficiência de remoção igual a, no mínimo, 80%;
- Critério 3 - concentração de DBO_5 no efluente igual ou inferior a 60 mg/L ou percentual de eficiência de remoção igual a, no mínimo, 60%.

Para as ETE's de Minas Gerais foram utilizados outros dois critérios de avaliação, considerando os percentuais de atendimento aos padrões de lançamento para os parâmetros DQO e SST, de 90 e 60 mg/L, respectivamente, preconizados pela DN COPAM 010/86. Para DQO foi considerada, ainda, a alteração estabelecida pela DN COPAM 046/01, que preconiza que o limite de 90 mg/L poderá ser ultrapassado após estudos de autodepuração que assegurem que os padrões de qualidade serão resguardados e o sistema de tratamento reduzir a carga poluidora dos efluentes, em termos de DQO em, no mínimo, 60%. Sendo assim, os outros critérios de avaliação serão:

- Critério 4 - concentração de DQO no efluente igual ou inferior a 90 mg/L;
- Critério 5 - concentração de DQO no efluente igual ou inferior a 90 mg/L, ou percentual de eficiência de remoção igual a, no mínimo, 60%;
- Critério 6 - concentração de SST no efluente igual ou inferior a 60 mg/L.

RESULTADOS

Foram coletados dados de 206 ETE's de 21 modalidades diferentes, que apresentaram resultados muito heterogêneos considerando a frequência de amostragem, o período de dados disponibilizados e os parâmetros monitorados. A Tabela 1 apresenta a modalidade de tratamento, a notação de referência adotada e o número de ETE's compreendidas em cada tipologia.

Todos os 5765 dados de DBO_5 efluente foram analisados, para verificação do atendimento aos três critérios de avaliação adotados para os dois Estados. Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 1, 2 e 3 e representam as médias dos atendimentos individuais de cada ETE, agrupadas nas respectivas modalidades de tratamento.

Na Figura 4 são apresentados gráficos "Box-Whisker", utilizados para uma análise comparativa dos resultados de atendimento de todas as ETE's para os três critérios. Para cada critério são mostrados os valores mínimos e máximos, os percentis 25 e 75% e a mediana referente às porcentagens de atendimento obtidas em cada modalidade.

Os resultados do estudo sobre a porcentagem de atendimento aos padrões de lançamento para os parâmetros DQO e SST, efetuado para as ETE's de Minas Gerais, são apresentados nas Figuras 5 e 6.

Tabela 1: Sistemas de tratamento de esgotos inventariados

Modalidade	Notação de referência	Número de ETE's
Escoamento Superficial	ES	02
Filtro Biológico	FBP	01
Fossa Séptica + Filtro Aerado	FS + FAE	01
Fossa Séptica + Filtro Anaeróbio	FS + FA	23
Lagoa Aerada Facultativa	LAF	02
Lagoa Aerada Mistura Completa	LAMC	05
Lagoa Aerada Facultativa + Escoamento Superficial	LAF + ES	01
Lagoa Aerada Facultativa + Lagoa Facultativa	LAF + LF	01
Lagoa Anaeróbia	LAN	01
Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa	SA*	50
Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	SA* + LM	07
Lagoa Facultativa	LF	78
Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	LF + LM	03
Lodos Ativados	LA	19
Reator UASB	UASB	04
Reator UASB + Filtro Aerado	UASB + FAE	01
Reator UASB + Filtro Anaeróbio	UASB + FA	02
Reator UASB + Filtro Biológico Percolador	UASB + FBP	01
Reator UASB + Flotação	UASB + FLOT	01
Reator UASB + Lagoa Facultativa	UASB + LF	02
Reator UASB + Lagoa de Polimento	UASB + LP	01
	21	206

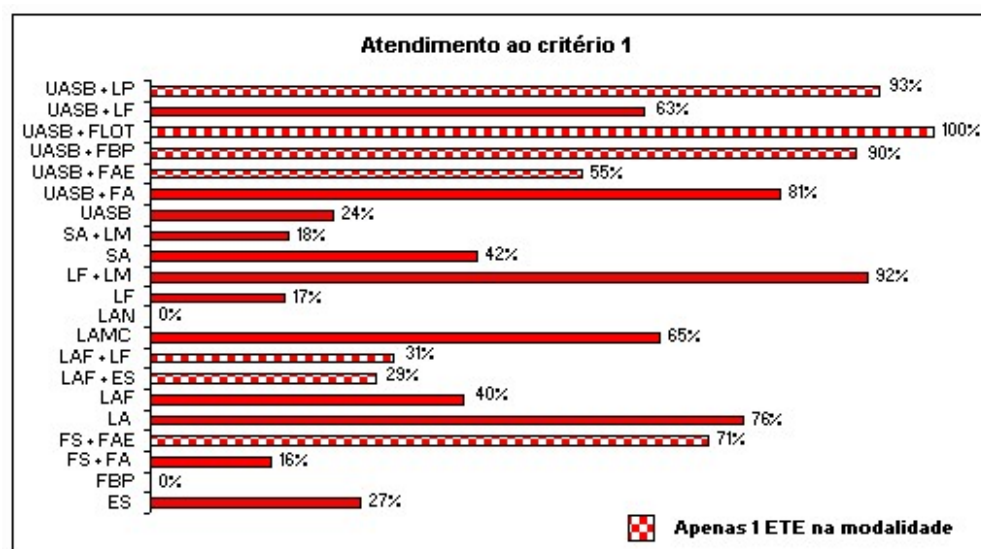


Figura 1: Comparação dos atendimentos percentuais das diversas modalidades de tratamento dos estados de Minas Gerais e São Paulo ao critério 1*

*Critério 1: Concentração DBO_5 efluente = 60 mg/L

Os resultados apresentados na Figura 1 mostraram uma grande variação no desempenho médio das diversas modalidades de tratamento de esgotos, considerando o atendimento aos padrões de lançamento de DBO_5 . Os processos de tratamento que demonstraram maior capacidade de atender aos padrões de lançamento de efluentes em vigor foram

Fossa Séptica seguida de Filtro Aeróbio (FS + FAE), Lodos Ativados (LA), Lagoa Facultativa mais Lagoa de Maturação (LF+LM) e reatores UASB seguidos por Filtro Biológico Percolador, Flotação e Lagoas de Polimento (UASB+FBP, UASB+FLOT e UASB+LP). Deve-se salientar que alguns processos analisados continham apenas uma ETE, como no caso de FS + FAE e dos reatores UASB, o que pode comprometer a comparação com outras modalidades de tratamento, onde várias ETE's foram avaliadas.

Os piores desempenhos foram observados nas modalidades Filtro Biológico Percolador (FBP), Fossa Séptica seguida de Filtro Anaeróbio (FS + FA), Lagoa Anaeróbia (LAN), Sistema australiano seguido de Lagoa de Maturação (SA+LM) e reator UASB sem pós-tratamento. Também neste caso observa-se que alguns dos processos analisados continham apenas uma ETE que, se mal operada ou em sobrecarga, comprometeria as conclusões a respeito de toda a modalidade. Isto não se aplica às ETE's da modalidade FS + FA e LF, onde foram avaliadas 23 e 78 ETE's, respectivamente. Dentre estas, um número irrisório teve um desempenho acima de 60%, considerando o número de amostragem de DBO₅ efluente dentro dos limites permitidos de lançamento.

As ETE's que utilizam os processos de Lodos Ativados mostraram uma eficiência de remoção média de 76% no período analisado. Este número poderia ser até maior, não fosse a presença de algumas ETE's, cerca de 21% do total, que apresentaram um desempenho abaixo de 60%, muito abaixo do esperado para esta modalidade de tratamento.

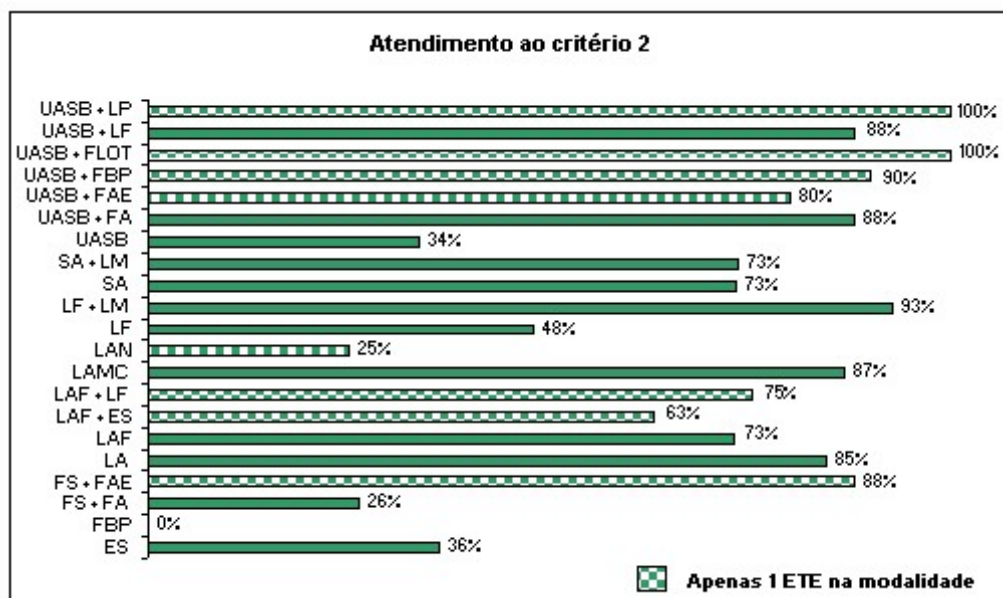


Figura 2: Comparação dos atendimentos percentuais das diversas modalidades de tratamento dos estados de Minas Gerais e São Paulo ao critério 2*

*Critério 2: Concentração DBO₅ efluente = 60 mg/L ou eficiência de remoção = 80%

Pela comparação dos resultados apresentados na Figura 2, conclui-se que o critério 2 favorece bastante o percentual de atendimento às legislações. Em alguns casos, os níveis de atendimento chegam a aumentar em quatro vezes, como no caso da modalidade SA+LM, em três vezes para LF e em duas vezes para a modalidade SA.

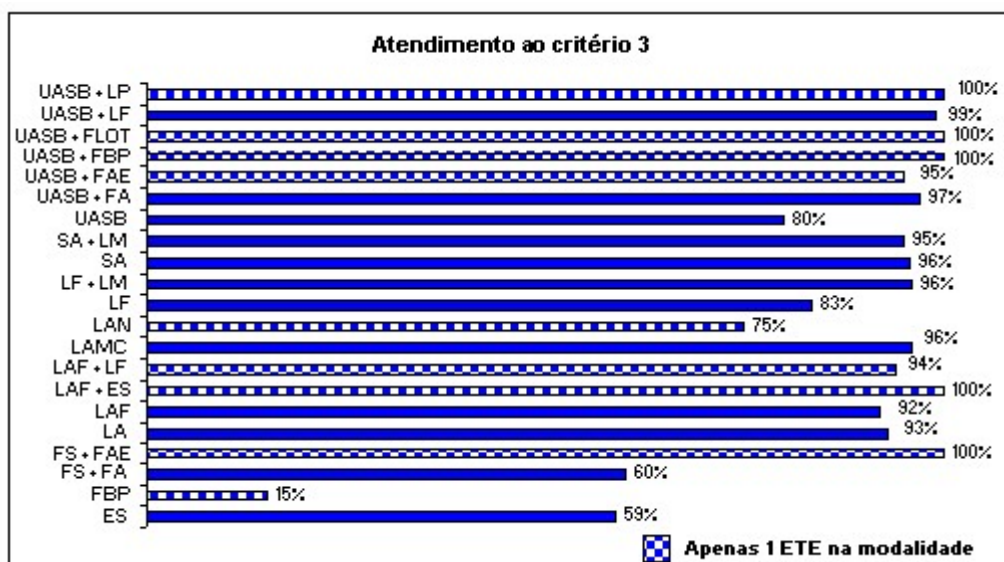


Figura 3: Comparação dos atendimentos percentuais das diversas modalidades de tratamento dos estados de Minas Gerais e São Paulo ao critério 3*

*Critério 3: Concentração DBO_5 efluente = 60 mg/L ou eficiência de remoção = 60%

Como seria de se esperar, o critério 3 mostrou ser o menos restritivo de todos, favorecendo um alto índice de atendimento por, praticamente, todas as modalidades de tratamento.

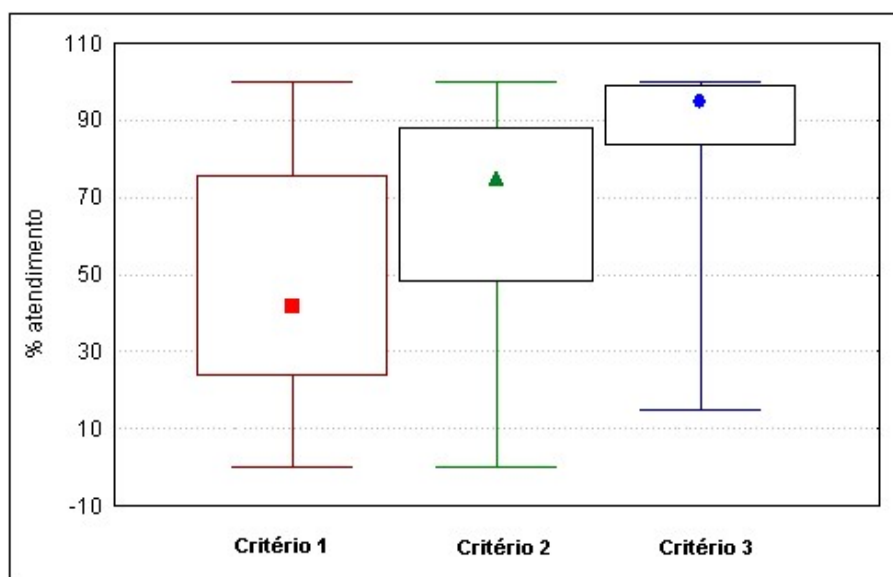


Figura 4: Variação dos percentuais de atendimento das diversas modalidades de tratamento dos estados de Minas Gerais e São Paulo, considerando os três critérios

A variação dos resultados de atendimento aos três critérios é bem clara quando se observam os gráficos contidos na Figura 4. Observa-se o crescente nível de atendimento e a redução na variabilidade do percentual de atendimento quando os critérios se tornam menos restritivos.

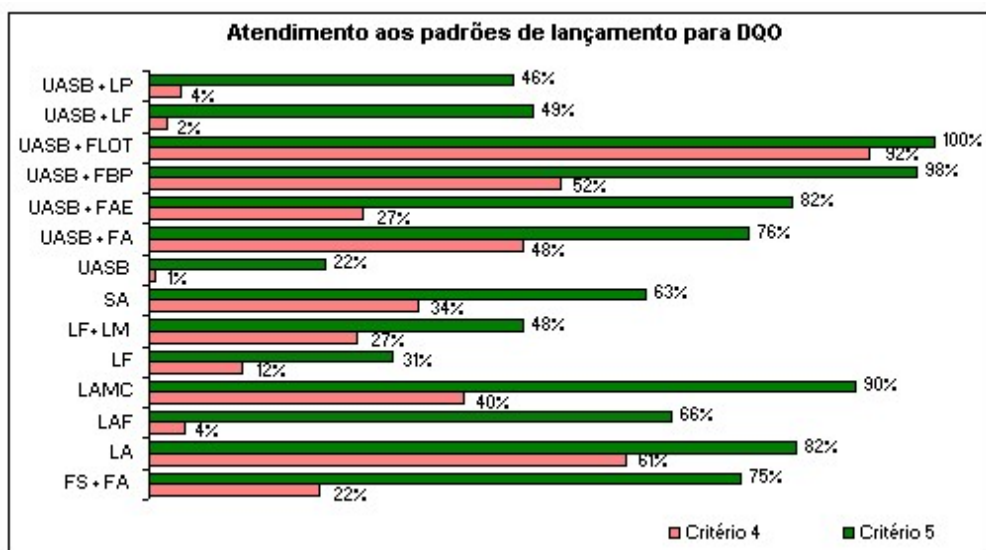


Figura 5: Comparação dos atendimentos percentuais das diversas modalidades de tratamento de Minas Gerais aos critérios 4* e 5**

*Critério 4: Concentração DQO efluente = 90 mg/L

**Critério 5: Concentração DQO efluente = 90 mg/L ou eficiência de remoção = 60%

Os resultados apresentados na Figura 5 mostram, com clareza, o esperado melhor atendimento aos padrões de lançamento quando se incorpora o critério de eficiência de remoção. Diferenças significativas são observadas em alguns casos, como observado para as modalidades FS+FA, LAF, LAMC e reatores UASB com e sem pós-tratamento.

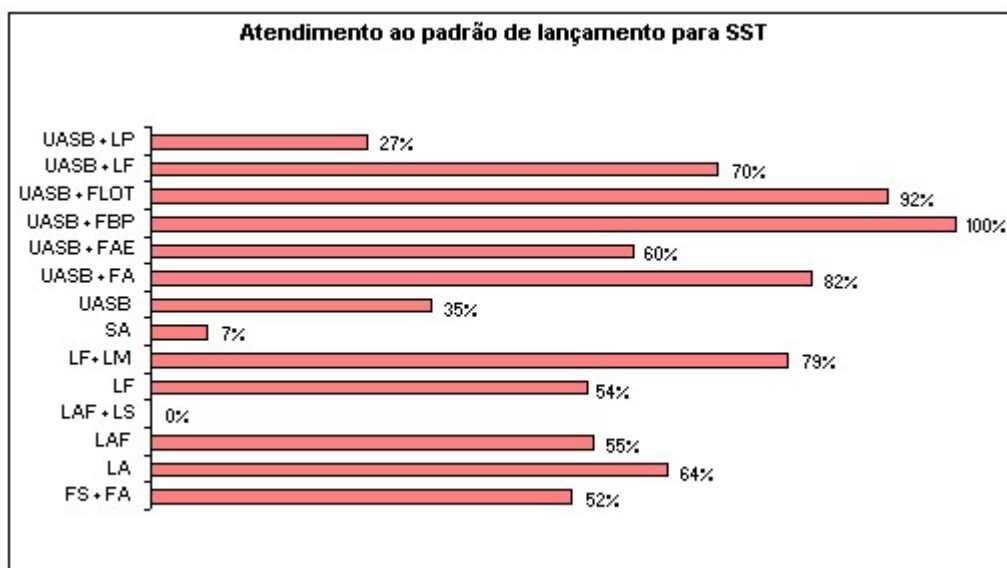


Figura 6: Comparação dos atendimentos percentuais das diversas modalidades de tratamento de Minas Gerais ao critério 4*

*Critério 6: Concentração SST efluente = 60 mg/L

O atendimento ao padrão de lançamento para SST, de no máximo 60 mg/L, não se mostrou tão fácil de ser alcançado por alguns processos de tratamento. Vale a pena ressaltar o bom desempenho de quase todas as modalidades de UASB seguidas de pós-tratamento e das lagoas facultativas seguidas de lagoa de maturação. Por outro lado, o baixo nível de atendimento obtido pelas modalidades LAF+LS e SA também chamam a atenção.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- O critério 1, concentração de DBO₅ no efluente igual ou inferior a 60 mg/L, é o mais restritivo de todos, já que contempla apenas o resultado de concentração efluente e não eficiência de remoção de DBO.
- À medida que as eficiências de remoção se tornam menos exigentes, como no caso do critério 3, quase todas as modalidades conseguem atingir um alto percentual de atendimento.
- Quando se analisa a DQO, os resultados obtidos para as ETE's de Minas Gerais são parecidos com os encontrados para DBO. Também neste caso, a incorporação do critério de eficiência de remoção favorece o atendimento ao padrão de lançamento.
- O atendimento ao padrão de lançamento para SST, de no máximo 60 mg/L, não se mostrou tão fácil de ser alcançado por boa parte dos processos de tratamento analisados. Cerca de 50% das modalidades não conseguiu atingir, sequer, 60% de atendimento.
- Ressalta-se o bom desempenho obtido pela modalidade UASB seguida de pós-tratamento, considerando-se todos os critérios adotados.
- Os processos LF+LM (lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação), LAMC (lagoa aerada de mistura completa) e LA (lodos ativados) também mostraram um bom nível de atendimento aos padrões de lançamento para DBO₅.
- Alguns dos processos analisados continham apenas uma ETE que, se mal operada ou em sobrecarga, poderia comprometer as conclusões a respeito de toda a modalidade.
- O trabalho não permite concluir sobre a melhor modalidade de tratamento de esgotos, devido ao pequeno número de ETE's em modalidades que mostraram um bom desempenho, e pelo fato de não se terem analisado, em cada ETE com sucesso ou insucesso, as causas que podem ter conduzido aos bons ou maus resultados.
- Mais do que uma mera avaliação de padrões específicos preconizados por legislações ambientais de dois estados brasileiros, o trabalho apresenta um diagnóstico da capacidade de atendimento de diversas modalidades de tratamento de esgotos, que podem ser aplicáveis a vários outros estados do Brasil.

Agradecimentos: FINEP, SABESP, COPASA, FEAM e a prestadores de serviços municipais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Decreto n. 8468, de 8 de setembro de 1976.
2. CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS (COPAM). Deliberação Normativa n. 10, de 16 de dezembro de 1986.
3. CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS (COPAM). Deliberação Normativa n. 46, de 9 de agosto de 2001.
4. JOHNSTONE, D.W.M.; NORTON, M.R. (2000). Development of standards and their economic achievement and regulation in the 21st century. In: *C.I.W.E.M./Aqua Enviro joint Millennium Conference*. University of Leeds, April 2000.
5. NASCIMENTO, L.V.; VON SPERLING, M. Comparação entre os limites de detecção dos métodos analíticos e os padrões de qualidade das águas e de lançamento de efluentes da Resolução CONAMA 20/86. In *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 20, Rio de Janeiro, 10 - 14 May, 1999, pp. 2407 - 2412.
6. VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 3, No. 1, Jan/Mar 1998, pp. 111-132.
7. VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L. A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality criteria standards. In: *XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. 2000, Porto Alegre. **Anais eletrônicos**. AIDIS, 2000.

