

II-178 - REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES PRECEDIDO DE REATOR UASB: O CASO DA ETE GAMA (DF).**Mauro Roberto Felizatto⁽¹⁾**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU, 1985). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB, 2000). Analista de Sistema de Saneamento III (Engº Sênior) da CAESB, atualmente Coordenador de Operação do Sistema Alagado, Santa Maria e Gama. Professor dos Cursos de Tecnologia em Gestão Ambiental e Engenharia Ambiental da Universidade Católica de Brasília (DF).

Antônio Carlos Teixeira Pinto Filho

Engenheiro Químico pela Universidade Federal Fluminense (UFF, 1981). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB, 1999). Analista de Sistema de Saneamento III (Engº Sênior) da CAESB, atualmente Coordenador de Operação dos Sistemas Melchior, Samambaia, Brazlândia e Recanto das Emas.

Edson da Silva Soares

Técnico em Química Industrial (DIOCESANO, 1983). Licenciado em Química pela Universidade Federal do Piauí (UFPI, 1996). Especialização em Docência do Ensino Superior pelas Faculdades Integradas de Jacarepaguá (FIJ-RJ, 2006). Técnico em Sistemas de Saneamento II da CAESB, atualmente Supervisor de Operação da ETE Gama.

Carlos Alexandre Batista dos Santos

Técnico Industrial em Saneamento pela Escola Técnica Federal de Goiás (IFG – Instituto Federal de Goiânia, 1997). Bacharel em Química pelo Centro Universitário de Goiás (Uni-Anhanguera, 2009), atualmente Técnico em Sistema de Saneamento I da Coordenadoria de Operação do Sistema Gama, Santa Maria e Alagado e Gama.

Rosvaldo Catino

Engenheiro Sanitarista pela Escola de Engenharia de Mauá (EE Mauá, 1985). Especialista em Ciências Ambientais pela Universidade São Francisco (Pari - São Paulo, 1993). Engenheiro de Processo de Sistemas de Tratamento atuando há 25 anos na área de projetos, comissionamento e *start-up*. Professor do Curso de Tecnologia em Processos Ambientais na Escola SENAI Mario Amato (SP).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Sibiruna Lotes 13/21, CAESB - Centro de Gestão Águas Emendadas – POE/POEO/POEOG - Águas Claras - DF - CEP: 71.928-720 - Brasil - Telefone: +55 (61) 3213-7184 – Telefone-Fax: +55 (61) 3213-7398 - e-mail: maurofelizatto@caesb.df.gov.br.

RESUMO

O presente trabalho avalia o desempenho operacional da Estação de Tratamento de Esgotos do Gama durante o período de 2007 a 2010, através de dois métodos: PRODES/ANA e TPS/US-EPA. Pelo PRODES/ANA o desempenho demonstrou frequências de dados conformes, com remoções de 99,26%, 96,20%, 90,72%, 96,40% e 95,54%, para DBO, DQO, NTK, SST e P_T , respectivamente. O dados de concentração do efluente final da planta calculado pela outra abordagem (que dentre outras faixas utiliza o percentil 95%) permitiu uma visualização mais clara do desempenho do processo analisado. Pela US-EPA o melhor desempenho demonstrado para o percentil 95%, quanto às concentrações de DBO, DQO, NTK, SST e P_T do efluente final de 6; 47; 10,1; 13 e 0,91, respectivamente expressos em mg/ℓ.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgotos, Remoção Biológica de Nutrientes, Estatística Aplicada, PRODES/ANA, TPS US-EPA.

INTRODUÇÃO

As primeiras fazendas desapropriadas pelo Governo de Goiás para compor o território do Distrito Federal, lá pelo final dos anos 50, foram: Alagado, Ipê, Ponte Alta e Gama, sendo nesta última propriedade, a Fazenda do Gama, o local onde, em 1956, desembarcou a primeira comitiva oficial em visita à nova capital. Posteriormente, o Governo Federal construiu nesse mesmo sítio uma pista de pouso e a primeira residência de Brasília, o *Catetinho* (Ferro, 1997).

Comenta Ferro (1997), que a cidade-satélite do Gama, inaugurada em 12 de outubro de 1960, foi planejada para uma população constituída de trabalhadores oriundos de invasões/acampamentos e outros grupos que desde 1959 viviam em torno das antigas fazendas da região. O projeto urbanístico do Gama, de autoria de Paulo Hungria, dividiu a cidade em cinco setores: Norte, Sul, Leste, Oeste e Central, lembrando o formato de uma colméia; o Setor Central, voltado às atividades comerciais e os demais, destinados às quadras residenciais. O nome Gama, originalmente dado a um ribeirão da região, foi uma homenagem a *Luiz da Gama Mendonça*, primeiro padre do povoado de Santa Luzia, hoje Luziânia-GO (Ferro, 1997).

Os conceitos fundamentais do processo de lodos ativados foram desenvolvidos em 1914 por Edward Andern e William Lockett, discípulos do Dr. Gilbert John Fowler da Universidade de Manchester, Inglaterra, tornando-se, desde então, amplamente difundido no mundo (Jordão e Pessoa, 2005). Segundo Cooper (2001), esse processo (e suas diversas variantes) tem sido o principal mecanismo no tratamento secundário de águas residuárias e provavelmente aquele que mais contribuiu para a melhoria do meio ambiente aquático no século XX.

Cooper (2001) também comenta que foi no período de 1965 a 2000 onde houve maior ênfase na aplicação das técnicas conhecidas para remoção de Matéria Orgânica (DBO, DQO, SST), Nutrientes (Fósforo e Nitrogênio) e processo de desinfecção (Cooper, 2001).

Becarri et al. (1993), reportaram que a preocupação com a remoção de fósforo começou em meados dos anos 50, indo até o fim dos anos 60. Levin, Shapiro e Zea G. (1967) examinaram em detalhe o comportamento do fósforo no processo de lodos ativados em condições aeróbias e anaeróbias, observando uma liberação de fósforo na fase anaeróbia e uma forte captura, chamada pelos próprios de “luxury uptake”, em uma fase aeróbia; tal fenômeno era interrompido na presença de substâncias tóxicas, revelando assim a natureza biológica do mecanismo de remoção, também chamado de Desfosfatização Biológica.

O problema de como remover fósforo em unidades de tratamento de lodos ativados, em escala real, foi solucionado em 1974 por James Barnard, hoje considerado o “pai da remoção biológica de fósforo”, e seus colegas da África do Sul. Em função de padrões rigorosos de fósforo total no efluente final ($P_T < 1,0 \text{ mg/L}$), a solução atualmente utilizada tem sido combinar a desfosfatização biológica com a remoção química, utilizando coagulantes metálicos (Haas, Wentzel, e Ekama, 2002).

No Brasil, o processo de lodos ativados convencional foi inicialmente implementado pelo Engenheiro Azevedo Netto nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e no Distrito Federal, sendo adotado nas ETES Brasília Sul (1962) e Norte (1967) (Jordão e Pessoa, 2005).

As citadas ETES de Brasília lançam os seus efluentes no Lago Paranoá, importante espelho d’água de efeito estético e de lazer. Tendo em vista o aumento populacional do Distrito Federal, além do planejado, e ressaltando que as ETES originais não removiam nutrientes, ocorreu na década de 70 o processo de eutrofização do Lago Paranoá. Com isso, a CAESB decidiu construir novas estações de tratamento com remoção biológica ampliada de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo).

O presente relato técnico tem como finalidade analisar o desempenho operacional da ETE Gama, comparando os resultados da seguinte forma: (i) cálculo das remoções globais da unidade operacional para DBO, DQO, SST, P_T e N_T , em comparação com as referências adotadas pelo Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas, conhecido como PRODES/ANA (Libânio et al., 2007) e (ii) levantamento de frequências das concentrações do efluente final dos mesmos parâmetros citados utilizando o método para avaliação de desempenho de ETES - *TPS (Technology Performance Statistics)*, proposto por US-EPA (2010).

MATERIAL E MÉTODOS

• ETE GAMA

A unidade depuradora está localizada no km 20 da rodovia DF 290 ($16^{\circ}01,493'S$ e $48^{\circ}05,815'E$), ao sudoeste da cidade-satélite do Gama, uma das 17 ETES pertencentes ao sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal e operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

Foi projetada para tratar águas residuárias de uma população equivalente de 182.730 habitantes. A Tabela 1 demonstra alguns dos principais parâmetros utilizados no projeto (CAESB, 2003).

Essa unidade de depuração traz no seu desenho a nova filosofia nacional para tratamento de esgotos domésticos, que associa sequencialmente os processos anaeróbio e aeróbio. Jordão, Volschan e Além Sobrinho (2007) comentaram que essa nova configuração é uma excelente experiência brasileira no tratamento de águas residuárias.

Tabela 1 – Principais Parâmetros de Projeto da ETE Gama.

Parâmetros	Valores	Unidades
Vazão Média (Q_{med})	328	ℓ/s
Vazão Máxima (Q_{max})	545	ℓ/s
Carga Orgânica Diária	9.867	Kg DBO/d
Contribuição <i>per capita</i>	155	ℓ/hab.d

Fonte: CAESB (2003).

A ETE Gama lança seu efluente final no Ribeirão Ponte Alta, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Corumbá. A construção de uma represa a jusante desse lançamento, levou à necessidade do tratamento dos esgotos a nível terciário, ou seja, processo de remoção biológica de nutrientes (RBN) com foco principal no Fósforo.

O reator aeróbio da ETE Gama é classificado como processo PHOREDOX ou BARDENPHO® Modificado de cinco Estágios (Barnad, Randall e Stensel, 1992), com aeração prolongada e co-precipitação, como ilustrado nas Figuras 1 e 2.

A Figura 1 apresenta um desenho esquemático do reator aerado da ETE Gama, onde pode ser verificado que não existe compartimentação das fases que compõem o processo. Essa configuração não é muito frequente em remoção biológica de nutrientes, mas muito usual em Valos de Oxidação.

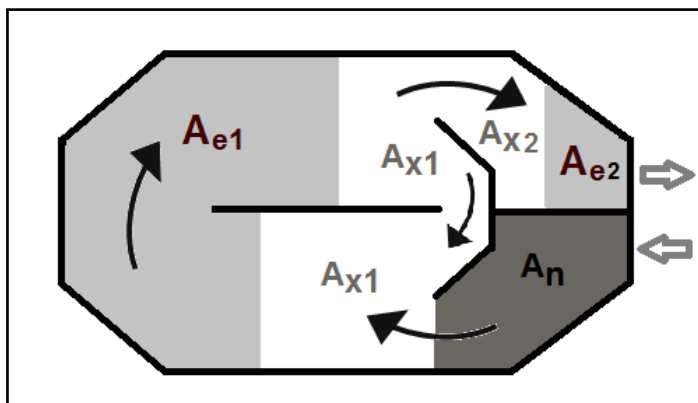


Figura 1 – Desenho esquemático do reator aerado da ETE Gama (sem escala).

Legenda: A_n ... Zona Anaeróbia, A_{x1} ... Zona Anóxica (Primeira), A_{e1} ... Zona Aeróbia (Primeira), A_{x2} ... Zona Anóxica (Segunda), A_{e2} ... Zona Aeróbia (Segunda).

A Figura 2 apresenta o fluxograma de todo o processo de tratamento da ETE Gama, fases líquida e sólida. Na fase líquida pode-se observar a adição de coagulante metálico, Sulfato de Alumínio líquido, com vistas à co-precipitação de Fósforo.

O projeto da ETE Gama estipulou as características das águas residuárias em cada etapa do processo de tratamento, conforme demonstrado na Tabela 2; observa-se como características químicas: matéria carbonácea (DQO, DBO e SST) e nutrientes (Fósforo - P_T e Nitrogênio - N_T , NH_4^+ e NO_3^-); características físicas (pH e Temperatura) e microbiológica (CT – Coliformes Termotolerantes).

Tabela 2 – Características da Qualidade da Água preconizadas no projeto da ETE Gama.

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente UASB	Efluente Final
DQO	mg-O ₂ / ℓ	580	246 – 333	≤ 125
DBO	mg-O ₂ / ℓ	348	148 – 200	≤ 50
SST	mg/ ℓ	290	74 – 100	-
N _T	mg-N/ ℓ	56,0	38 – 51	≤ 10,0
P _T	mg-P/ ℓ	8,20	5,20 – 7,10	≤ 1,00
NH ₄ ⁺	mg-N/ ℓ	35,0	-	-
NO ₃ ⁻	mg-N/ ℓ	0,04	-	-
pH	-	-	-	5,0 – 9,0
Temperatura	°C	-	-	≤ 40
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 m ℓ	1,0 x 10 ⁷	-	-

Fonte: CAESB (2003).

Como demonstrado no fluxograma de processo da Figura 2, a configuração das unidades de tratamento da ETE Gama é a seguinte: Tratamento Preliminar (Grade Grosseira de limpeza manual de abertura de 2”, três Esteiras de Peneiramento Mecânico de abertura 3 mm), quatro reatores UASB e dois reatores aerados com dois clarificadores por reator.

Na fase sólida o adensamento do lodo aeróbio descartado é realizado pelo processo de flotação por ar dissolvido sob pressão – FAD. Essa etapa ainda possui um reservatório de lodos (anaeróbio e aeróbio adensado), desaguamento mecanizado de lodos por centrifugação e decandator-adensador de lodo não capturado. O lodo de esgotos desaguado produzido é estocado temporariamente em galpão coberto.

O programa de monitoramento do desempenho operacional é efetuado duas vezes por semana, através de coletas compostas realizadas durante 24 horas, com alíquotas tomadas de duas em duas horas, de onde destacamos alguns parâmetros conforme descritos na Tabela 3. Todas as marchas analíticas utilizadas seguem o preconizado pela APHA/AWWA/WPCF (1999).

Tabela 3 - Parâmetros de controle operacional e métodos empregados.

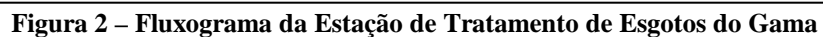
Parâmetros	Método
DBO (mg-O ₂ /ℓ)	Manométrico
DQO (mg-O ₂ /ℓ)	Digestão em refluxo fechado - leitura titulométrica
Sólidos em Suspensão totais (mg/ℓ)	Gravimétrico
NTK-N (mg-N/ℓ)	Método Micro-Kjeldahl
NO _x -N (mg-N/l)	Filtração/Método da coluna de Cádmio
P _T -P (mg-P/ℓ)	Digestão Persulfato de Potássio/H ₂ SO ₄ , Redutor Cloreto Estanoso
CT (NMP/100 mℓ)	Método dos Tubos Múltiplos (Substrato A1)

• PRODES/ANA

Como reportado por Libânio et al. (2007), PRODES é um programa implementado pela ANA (Agência Nacional das Águas) em 2001 para estimular a implantação e a operação adequada de ETES através de um processo de certificação de desempenho. As informações periódicas demandadas pelo PRODES abrangem dados como vazões de esgoto, cargas orgânicas afluentes às estações de tratamento e resultados de eficiência de remoção de determinados parâmetros (DBO, SST, N_T, P_T e CT). Também é conhecido como um “Programa de Compra de Esgotos Tratados”.

O programa classifica as unidades de depuração em nove categorias (de A até I), sendo “A” aquela de menor complexidade, seguindo em ordem alfabética de acordo com o aumento da complexidade e capacidade de depuração do processo.

A ETE Gama foi classificada como “H”, ou seja, processo de tratamento secundário avançado seguido de remoção de nutrientes (Fósforo ou Nitrogênio), sendo que as remoções estabelecidas pelo PRODES/ANA são: DBO e SST – 90%, P_T – 85% ou NTK – 80%. No presente trabalho, para avaliar o desempenho da unidade depuradora de forma ainda mais restritiva, também foi incluída a DQO com meta de remoção de 90%.



ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

Um processamento estatístico realizado na base de dados da ETE Gama, para DBO, DQO, SST, N_T e P_T , calcula a frequência relativa de atendimento das remoções desses parâmetros aos valores preconizados pelo PRODES/ANA.

• ESTATÍSTICAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PROCESSO

Nos últimos anos, o uso de percentis tem crescido nas legislações e nos padrões ambientais. Países como a Inglaterra têm limites legais de permissão quanto ao monitoramento de dados da qualidade da água baseados nos percentis 90% e 94%. A lógica é: o limite consentido não deve ser excedido. A US-EPA tem estabelecido limitações, em termos de percentis, no monitoramento da qualidade do ar. Essas limitações, por exemplo, determinam que as concentrações de um determinado composto no ar não podem ser ultrapassadas mais de uma vez por ano (percentil 99,73%). Na qualidade da água, a US-EPA, tem adotado o percentil 99% como diretriz para os padrões de concentração de produtos químicos tóxicos, com isso utilizando a estatística para tomar decisões importantes no monitoramento e na avaliação do cumprimento do que foi especificado. Com relação a efluentes industriais, como por exemplo indústria de papel e celulose, a agência ambiental norte-americana tem usado o percentil 99%. O emprego de um percentil de 99% para tomada de decisões pode dar um impressão de grande conservadorismo, ou mesmo de grande confiança em fazer aquilo que é seguro e portanto, a melhor decisão do ponto de vista ambiental. Infelizmente, segundo a US-EPA, o percentil 99% é difícil de antecipadamente ser previsto em um determinado processo e uma vez definido, difícil de ser mantido (Berthouex e Brown, 2002).

US-EPA (2010), da mesma forma citada por US-EPA (2008^a e 2008^b), considerando as variabilidades que ocorrem em uma planta de tratamento, entendeu não ser prático avaliar seu desempenho utilizando um único número, por exemplo, média aritmética ou desvio padrão, etc. Segundo a US-EPA (2010), a praticidade para avaliação do desempenho operacional deve ser alcançada através do sistema descrito como *TPS (Technology Performance Statistics)*, que os autores traduziram livremente para o presente texto como sendo Estatísticas Aplicadas na Avaliação do Desempenho de Processos (EADP). Os três níveis de EADP foram definidos como: (i) Melhor Desempenho (*Best Performance*), (ii) Desempenho Mediano (*Median Performance*) e (iii) Desempenho realizável com segurança (*Reliably Achievable Performance*).

Segundo US-EPA (2010), o Melhor Desempenho (*Best Performance*) baseia-se na menor concentração atingida em 14 dias pela planta, período de tempo assim escolhido por representar uma idade do lodo típica de estações de remoção biológica de nutrientes. O EADP-14dias pode ser calculado através de duas maneiras: (a) o menor valor obtido pelo cálculo das médias móveis (14 dias) da série analisada ou (b) a frequência 3,84% da série de dados. No presente trabalho optou-se pelo segundo modo (EADP-3,84%).

O Desempenho Mediano (*Median Performance*) - EADP-50% é calculado pelo levantamento da mediana da série. O valor aproxima-se do desempenho médio do processo de tratamento alcançado em um ano de operação. A média aritmética é a estatística mais utilizada em trabalhos técnicos que avaliam o desempenho de processos de tratamento e no controle operacional das ETEs brasileiras, ferramenta que a US-EPA (2010) considera menos refinada.

Desempenho realizável com segurança (*Reliably Achievable Performance*) pode ser representado pelo percentis 90, 95 ou 99. Neethling et al. (2009 apud US-EPA, 2010) comentam que a frequência 91,7% retrata o desempenho de uma planta (médias mensais), que possui uma não conformidade a cada ano, ou seja, resultados em conformidade durante 11 meses por ano. O EADP-95% indica 3 meses de não conformidade em um ciclo de 5 anos. No presente relato, optou-se pela análise dos percentis 90%, 91,7% e 95% (EADP-90%, EADP-91,7% e EADP-95%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito no monitoramento do desempenho operacional da ETE Gama, as séries de dados obtidas e analisadas no presente trabalho têm como base um programa com frequência de duas vezes por semana, enquanto a US-EPA (2010) adota uma base mensal. Em vista disto, houve necessidade de adequação numérica na interpretação dos resultados, mantendo, contudo, a mesma filosofia da agência ambiental norte-americana. A apresentação dos resultados e discussões segue a ordem: Matéria Orgânica (DBO, DQO e SST) e Nutrientes (Fósforo e Nitrogênio).

• PRODES/ANA

A Tabela 4 apresenta os resultados da frequência de atendimento das remoções da ETE Gama, sempre comparada com as de referência do PRODES/ANA (DBO, DQO e SST – 90%, P_T – 85% e NTK – 80%).

A frequência geral da Tabela 4 representa a média aritmética dos parâmetros em questão, significando que no geral, para o período de 2007 a 2010, a frequência de atendimento é de 95,82%. Portanto, a cada 84 dias de operação a ETE Gama apresenta um resultado fora da conformidade, ou seja, abaixo das remoções propostas pelo PRODES/ANA, muito embora essas remoções não conformes sejam maiores que 75% para DBO, NTK e P_T e maiores que 80% para SST, como representado nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7.

Tabela 4 – Resultados da frequência de atendimento das remoções da ETE Gama.

ANO	DBO	DQO	SST	NTK	Pt	GERAL
2007	98,33%	94,68%	93,60%	89,01%	93,28%	93,78%
2008	98,81%	95,83%	100,00%	97,50%	98,40%	98,11%
2009	100,00%	98,96%	100,00%	89,74%	98,97%	97,53%
2010	100,00%	95,12%	95,35%	83,33%	90,59%	92,88%
2007-2010	99,26%	96,20%	97,40%	90,72%	95,54%	95,82%

A Figura 3 apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para a DBO para o período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010.

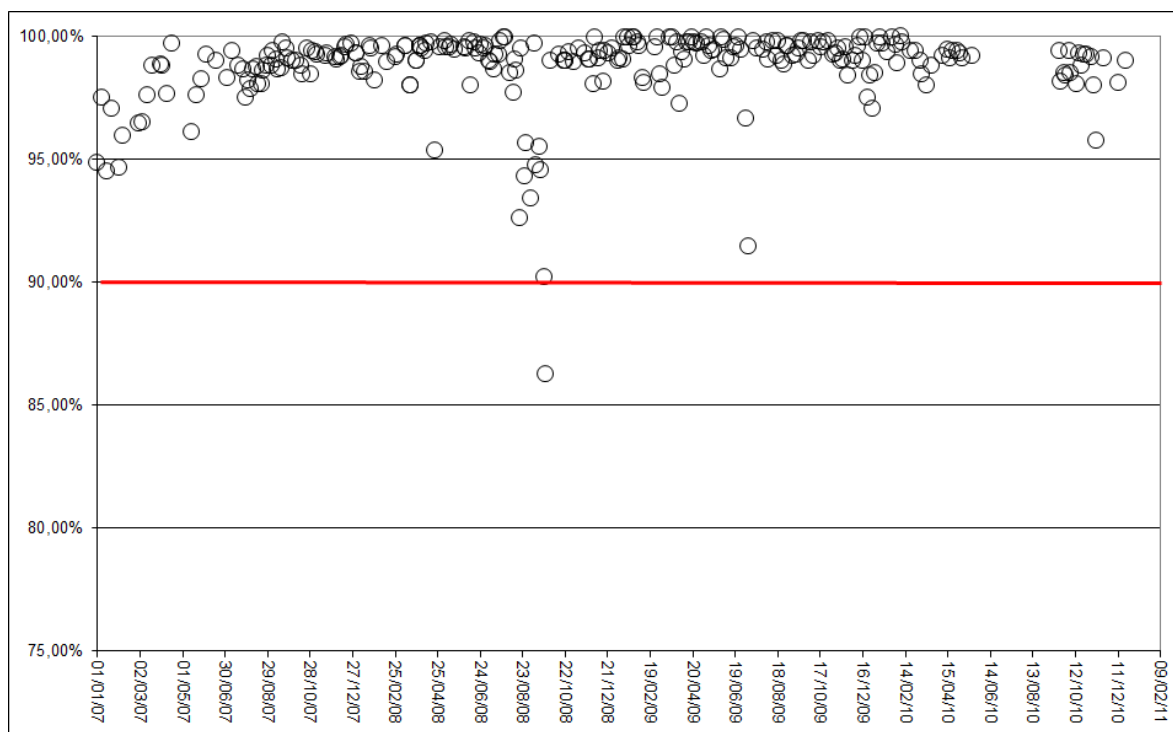


Figura 3 - Gráfico de Distribuição da Série Temporal de Remoção de Matéria Orgânica (DBO) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).

Conforme ilustrado na Figura 3, 99,26% das vezes a remoção de DBO encontra-se acima do valor preconizado pelo PRODES/ANA, ou seja, a cada 945 dias dois resultados de remoção ficaram abaixo de 90%, porém com remoção acima de 85%. A resolução do CONAMA que trata dos limites de lançamento para efluente de Sistema de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs), estabelece um remoção mínima de 60% para DBO. A DBO do efluente da ETE pode ultrapassar a 120 mg/l caso a remoção mínima for atendida (Brasil, 2011). Verifica-se, portanto, que a ETE Gama possui uma remoção de DBO bem superior ao especificado por Brasil (2011).

A Figura 4 apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para a DQO para o mesmo período da Figura 3.

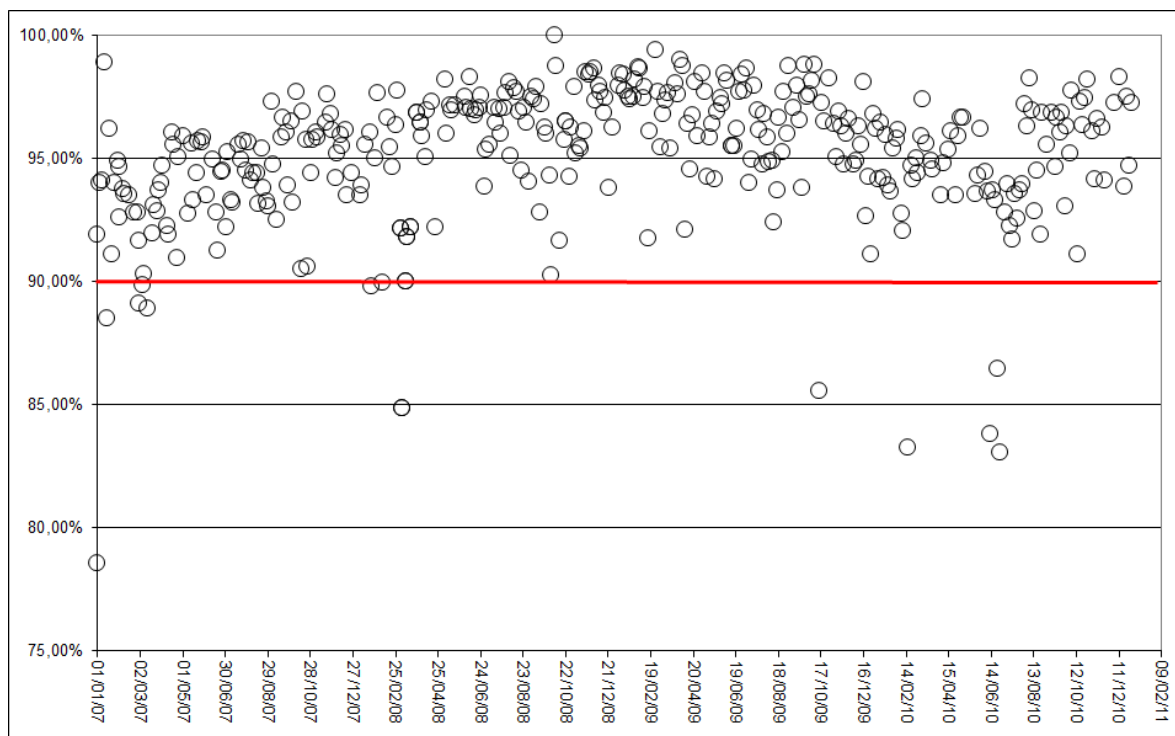


Figura 4 - Gráfico de Distribuição da Série Temporal da Remoção da Matéria Orgânica (DQO) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).

Conforme apresentado na Figura 4, 96,20% das vezes a remoção de DQO encontra-se acima do valor adotado pelo PRODES/ANA para a DBO, parâmetro usado como valor de referência para a DQO, ou seja, aproximadamente a cada três meses um resultado de remoção ficou abaixo de 90%, porém com remoção acima de 75%.

A Figura 5 apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para a SST de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010.

Como visto na Figura 5, 97,40% das vezes a remoção de SST encontra-se acima do valor estabelecido pelo PRODES/ANA, ou seja, a cada 91 dias um resultado de remoção ficou abaixo de 90%, mas com remoção acima de 80%.

A Figura 6, para o mesmo período, apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para P_T .

Conforme verificado na Figura 6, 95,54% das vezes a remoção de P_T encontra-se acima do valor do PRODES/ANA, ou seja, aproximadamente a cada 77 dias um resultado de remoção ficou abaixo de 85%, apresentando, todavia, uma remoção acima de 75%.

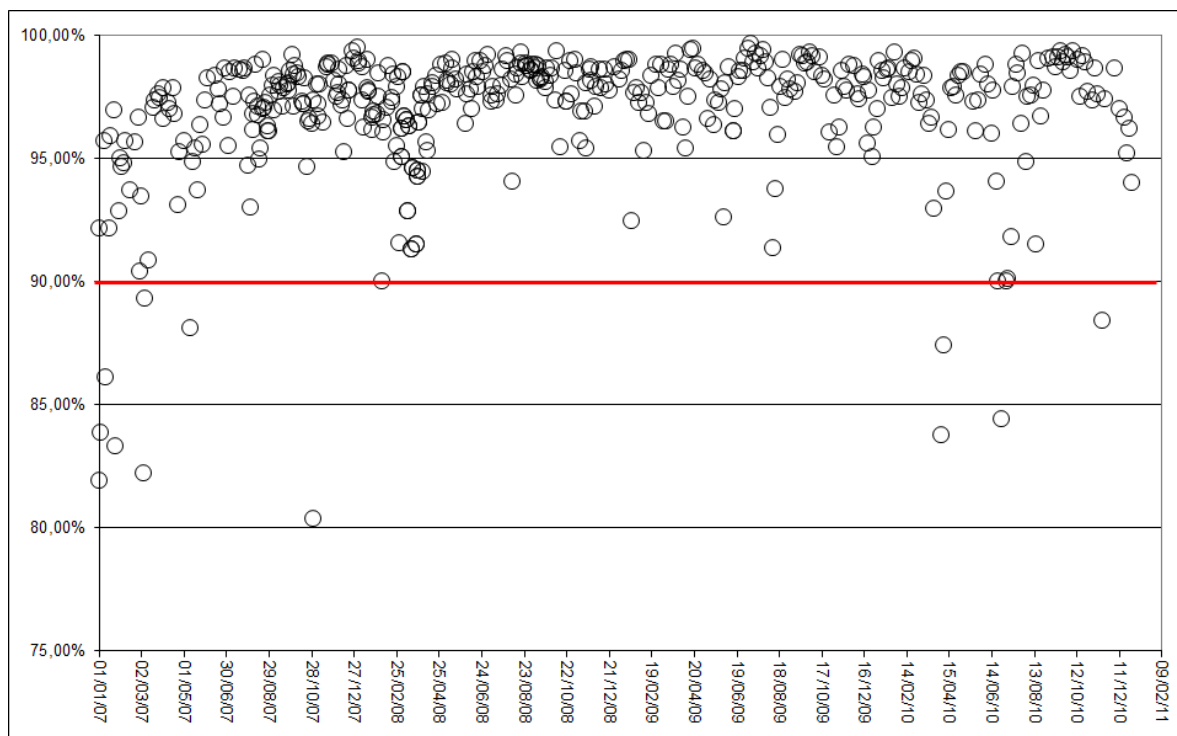


Figura 5 - Gráfico de Distribuição da Série Temporal da Remoção de Matéria Orgânica (SST) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).

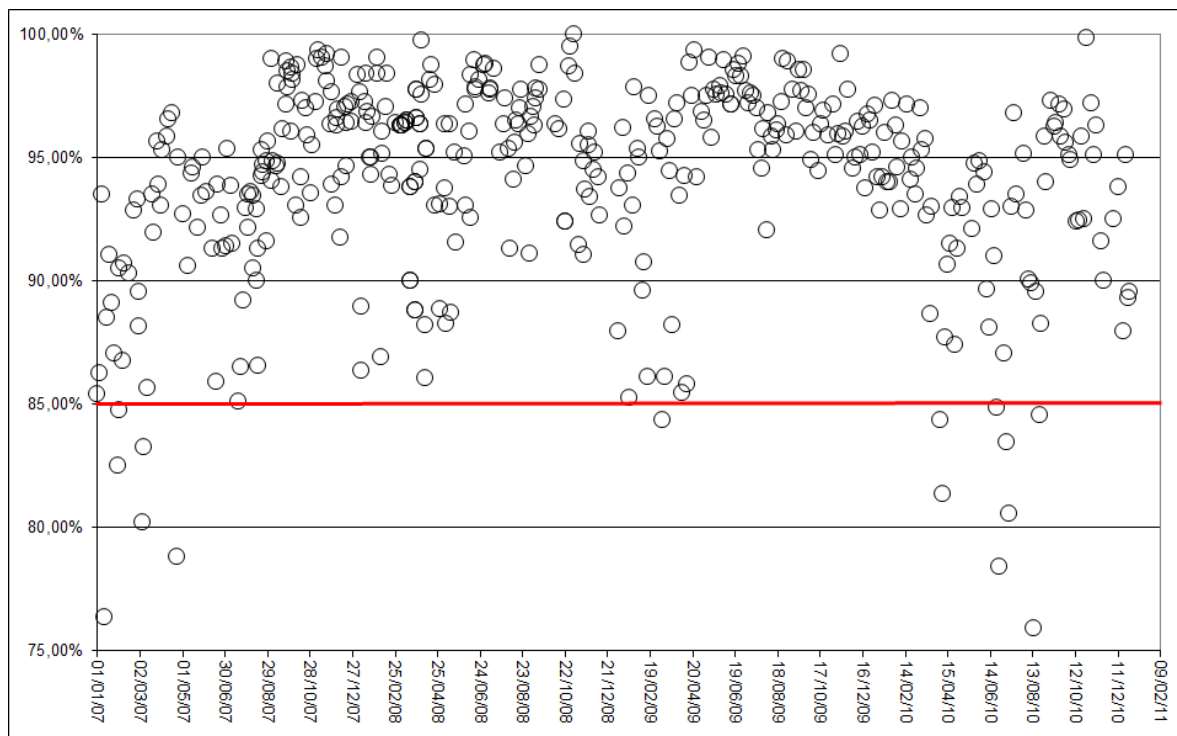


Figura 6 - Gráfico de Distribuição da Série Temporal da Remoção de Fósforo Total (P_T) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).

A Figura 7 apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para o NTK de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010.

Como pode ser visto na Figura 7, 90,72% das vezes a remoção de NTK encontra-se acima do valor preconizado pelo PRODES/ANA, ou seja, aproximadamente a cada 77 dias dois resultados de remoção ficaram abaixo de 85%, mas com remoção acima de 75%.

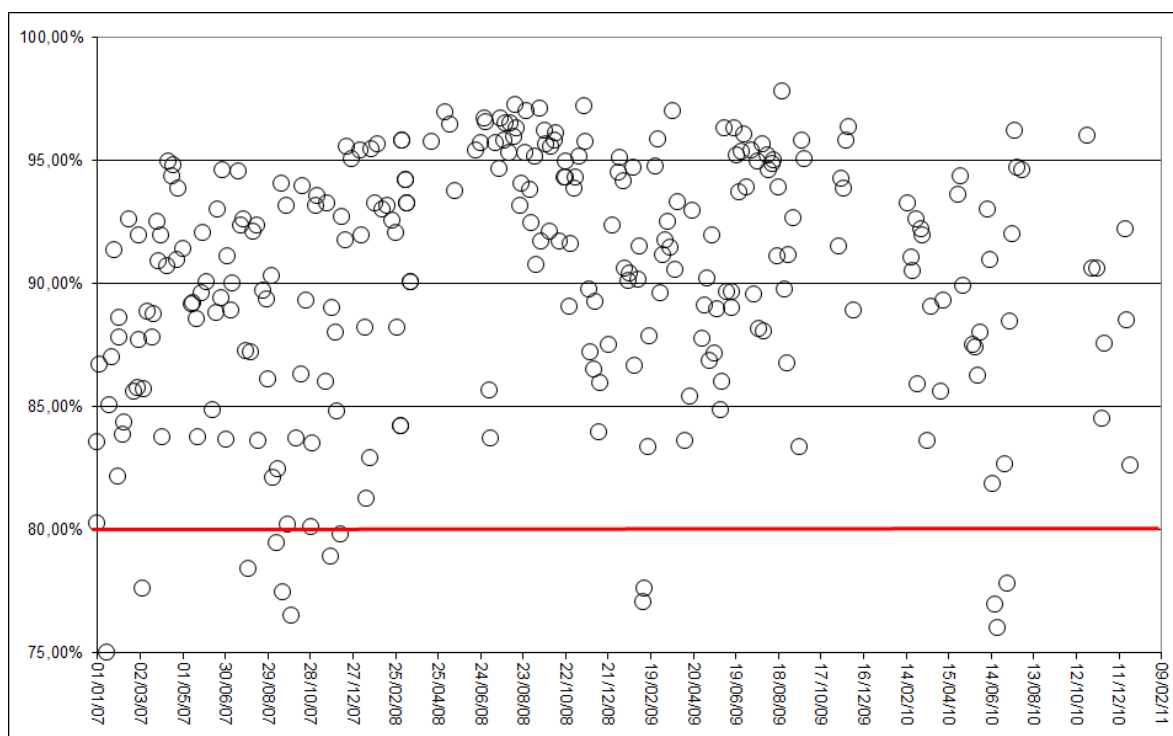


Figura 7 - Gráfico de Distribuição da Série Temporal da Remoção de Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).

• ESTATÍSTICAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PROCESSO

A Figura 8 demonstra as estatísticas avaliadas para as concentrações de DBO efluente da ETE Gama, observando-se que ao longo dos anos houve uma melhora no desempenho deste parâmetro, com valores de DBO no efluente tratado com valores mais reduzidos que o previsto no projeto (50 mg/l).

Como pode ser verificado nessa figura, o maior valor de DBO efluente foi de 25 mg/l no EADP-95%, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa essa concentração, embora, segundo dados da planta, tal valor ainda seja inferior a 50 mg/l, e também muito inferior a 120 mg/l que é o valor estabelecido pela resolução CONAMA já citada (Brasil, 2011).

A Figura 9 apresenta as estatísticas avaliadas para as concentrações de DQO efluente da ETE Gama, observando-se que houve uma melhora no desempenho desse parâmetro de 2007 a 2009, com valores de DBO no efluente tratado bem inferiores ao previsto no projeto (125 mg/l).

Como nessa figura, o maior valor de DQO efluente foi de 64 mg/l no EADP-95% de 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa essa concentração, embora não ultrapasse o limite de 125 mg/l. Em termos de matéria orgânica, de 2009 para 2010, verifica-se um discreto acréscimo em todos os EADP (3,84%, 50%, 90%, 91,7% e 95%).

As estatísticas avaliadas para as concentrações de SST efluente da ETE Gama estão na Figura 10, observando-se que houve uma melhora no desempenho deste parâmetro de 2007 a 2009. Vemos na figura que o maior valor de SST efluente foi de 26 mg/l no EADP-95% de 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa essa concentração.

Em termos de SST, de 2009 para 2010, ocorre também um discreto acréscimo nos EADP (90%, 91,7% e 95%).

Uma análise da Figura 11, que mostra as estatísticas avaliadas para as concentrações de P_T efluente da ETE Gama, mostra que houve uma melhora no desempenho deste parâmetro de 2007 para 2008, invertendo a tendência a partir de então para todos os EADP (3,84%, 50%, 90%, 91,7% e 95%).

Conforme visto nessa figura, o maior valor de P_T efluente foi de 1,50 mg/l no EADP-95% para 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa este valor. Todavia, a maioria dos resultados alcançados para a concentração de Fósforo Total no período avaliado encontra-se abaixo do valor de 1,0 mg/l (Valor de Projeto).

Segundo US-EPA (2010), uma análise do EADP-95% para cinco ETEs com remoção biológica de nutrientes revelou que todos os valores foram inferiores a 0,7 mg/l, sendo que para o Desempenho pela Mediana foi inferior a 0,1 mg/l.

As estatísticas avaliadas para as concentrações de N_T efluente da ETE Gama são vistas na Figura 12, observando-se que houve uma melhora no desempenho deste parâmetro de 2007 para 2008, invertendo a tendência a partir de então para os EADP (90%, 91,7% e 95%).

Conforme visto nessa figura, o maior valor de N_T efluente levantado foi de 13,6 mg/l no EADP-95% do ano 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa 13,6 mg/l, mas a maioria dos resultados alcançados para a concentração de Nitrogênio Total no período avaliado encontra-se abaixo do valor de 10,0 mg/l (Valor de Projeto).

Segundo US-EPA (2010), uma análise do EADP-95% para quatro ETEs com remoção biológica de nutrientes revelou que todos os valores foram inferiores a 8,0 mg/l, sendo que para o Desempenho pela Mediana foi inferior a 4,0 mg/l.

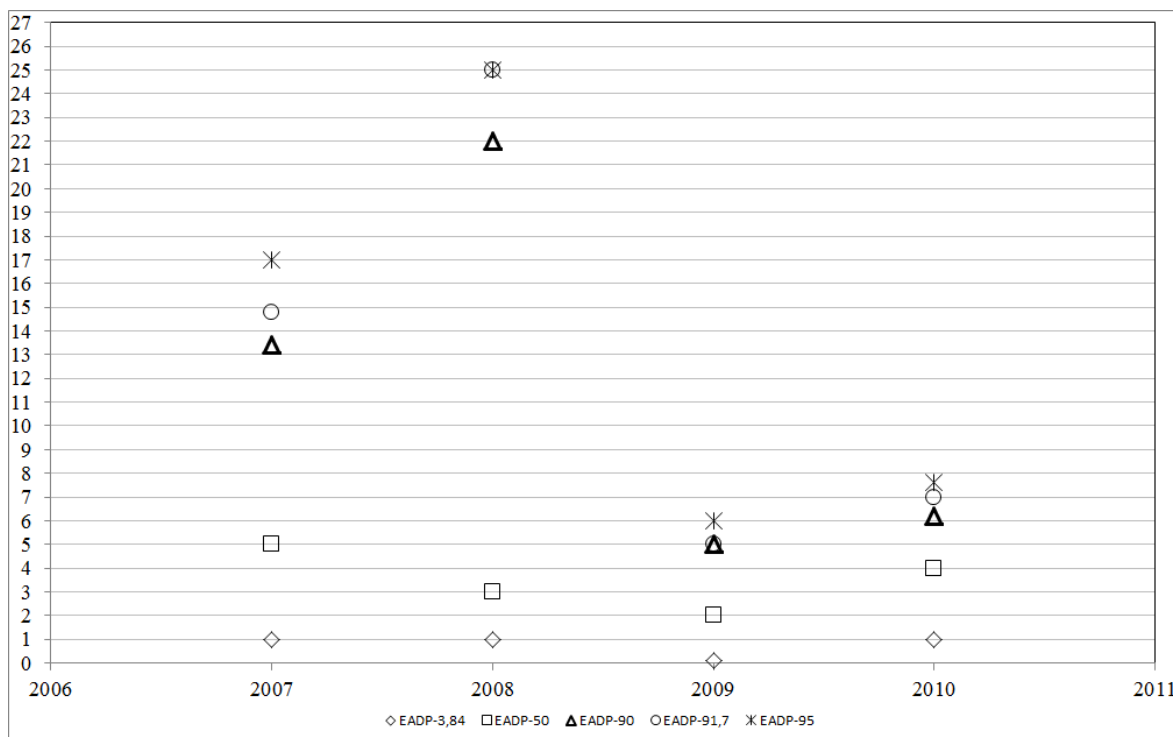


Figura 8 - Gráfico EADP para a concentração da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.

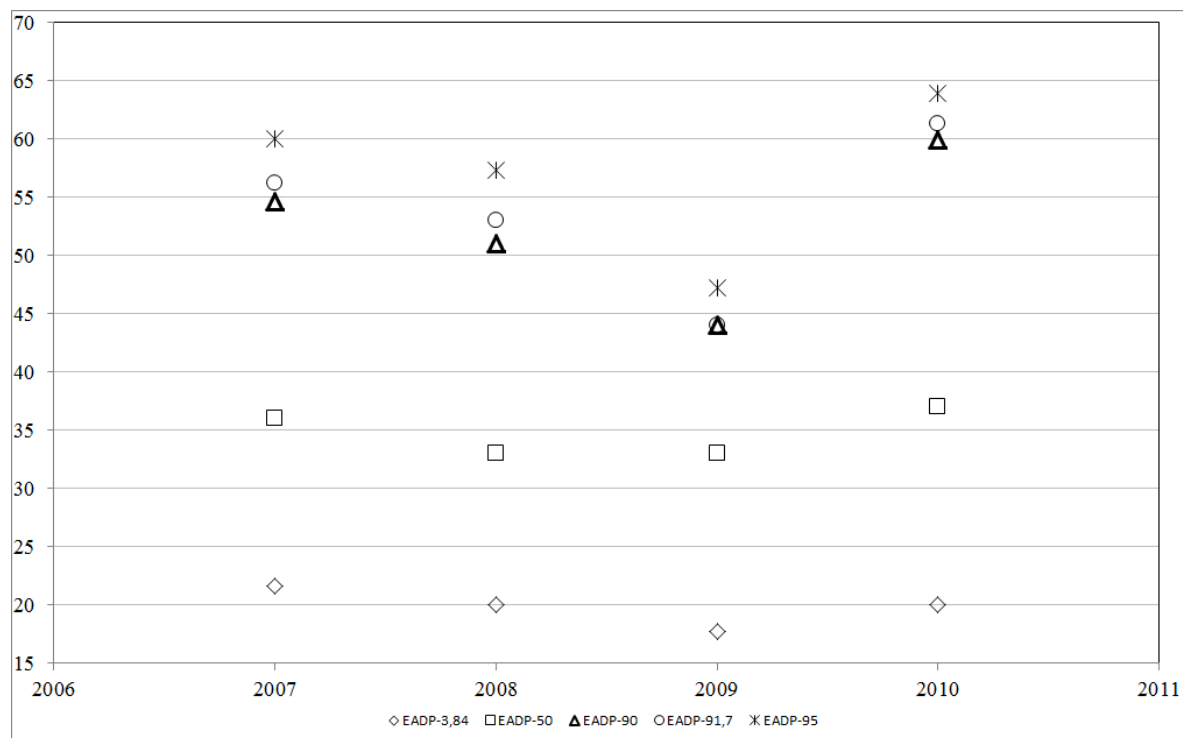


Figura 9 - Gráfico EADP da concentração da Demanda Química de Oxigênio (DQO) Eficiente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.

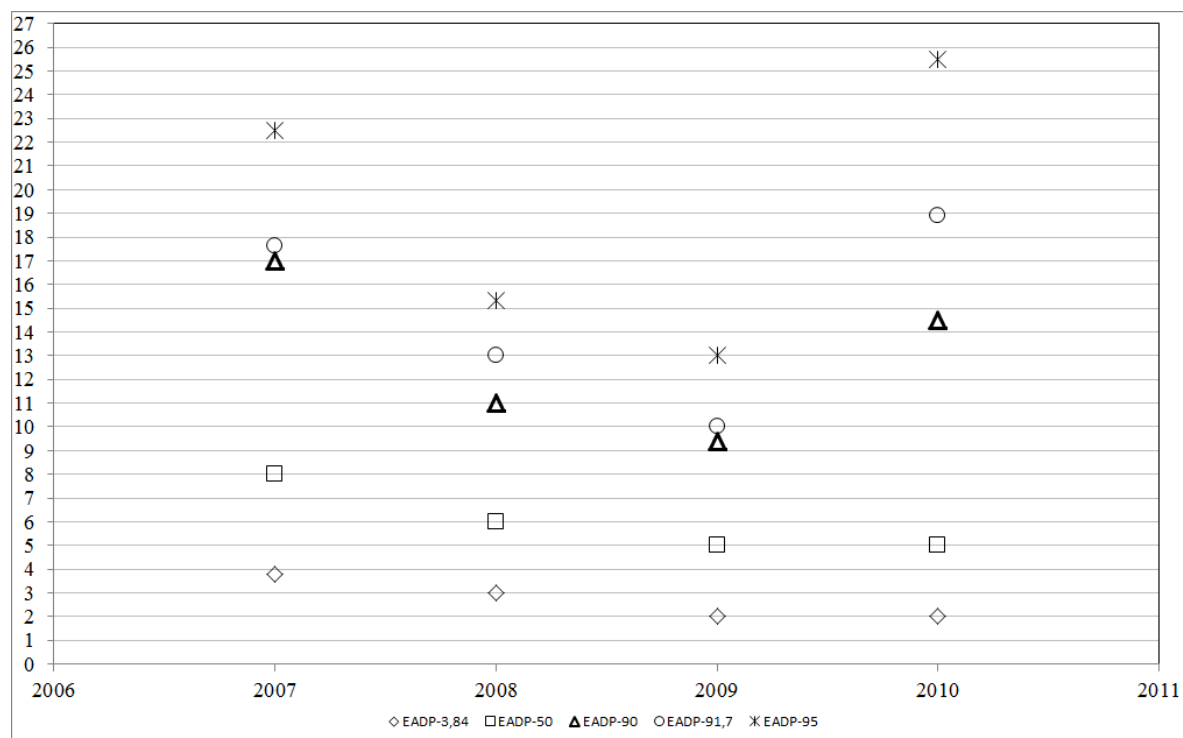


Figura 10 - Gráfico EADP da concentração do Sólidos em Suspensão Totais (SST) Eficiente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.

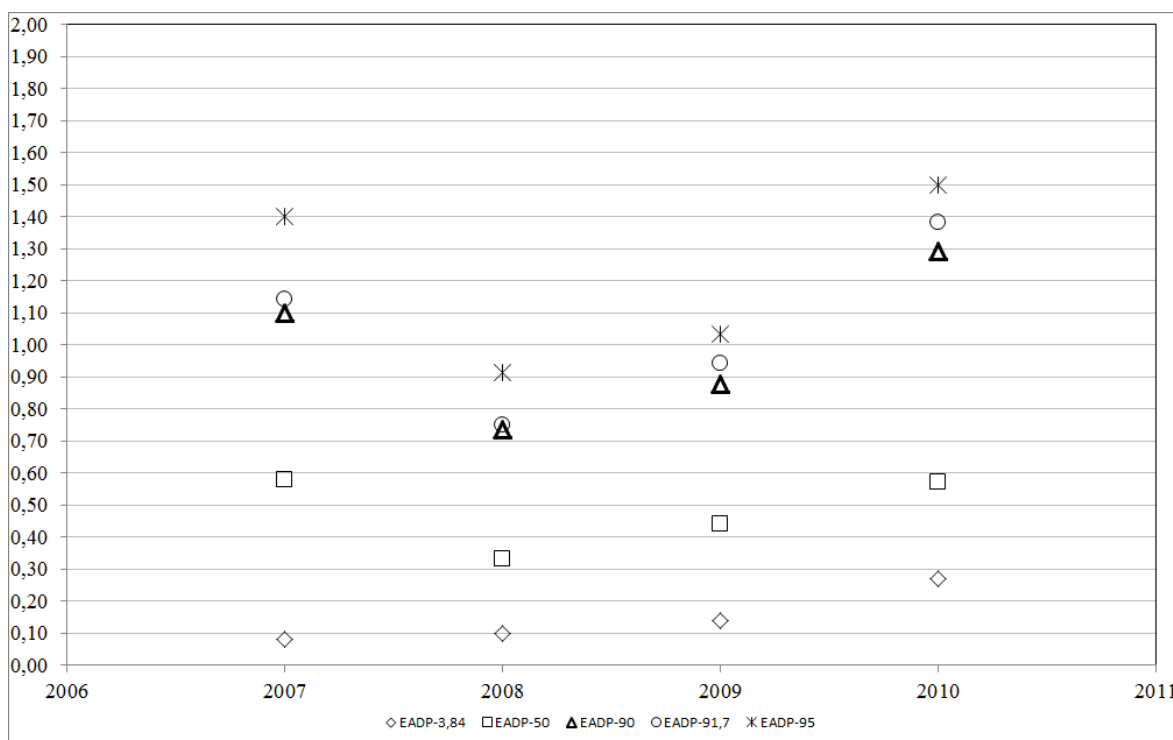


Figura 11 - Gráfico EADP da concentração de Fósforo Total (P_T) Eficiente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.

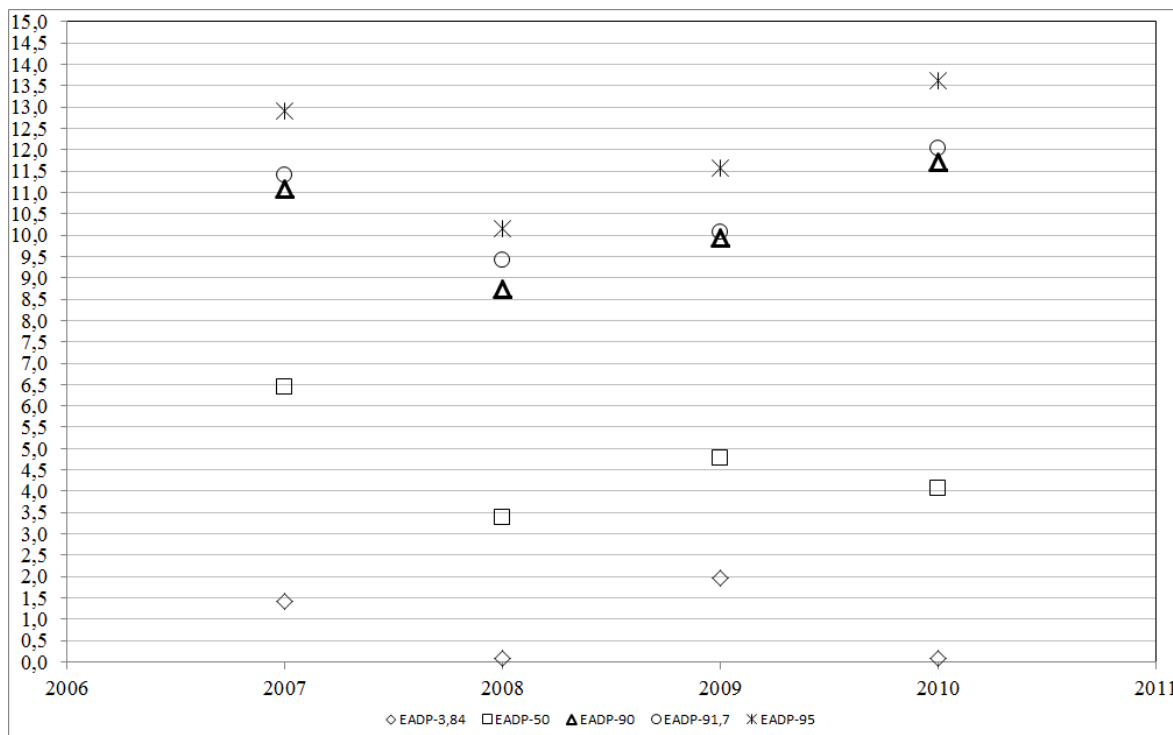


Figura 12 - Gráfico EADP da concentração de Nitrogênio Total (N_T) Eficiente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A análise do desempenho operacional da ETE Gama, pelo PRODES/ANA e pelo EADP, mostrou um bom desempenho da unidade de tratamento no período analisado de 2007 a 2010, apresentando uma frequência de remoções inconformes de 4,18% das vezes para todos os parâmetros avaliados;
- Ainda pela abordagem do PRODES, as remoções da concentração de DBO apresentaram frequência de inconformidade de 0,74% do tempo, valor muito reduzido, demonstrando a capacidade do processo da ETE Gama na remoção de matéria orgânica. Na remoção de DBO a estação apresentou seu melhor desempenho, com maior homogeneidade de dados. As remoções de DQO, SST e P_T apresentaram frequência de não conformidade de 3,80%, 2,60% e 4,46%, respectivamente. Os valores não conformes para DQO, SST e P_T foram influenciados pelo aumento de perda de sólidos nos clarificadores. No período estudado, a remoção de nitrogênio apresentou uma maior irregularidade, tendo a maior frequência de não conformidade, igual a 9,28%;
- Pela abordagem do EADP (TPS), as oscilações que ocorreram no processo ficaram mais visíveis, sendo que o perfil dos gráficos para DQO, SST e P_T foi similar ao longo do período avaliado, possivelmente devido à perda de sólidos já citada. Vale ressaltar que em termos de processo os valores apresentados podem ser oscilações naturais que dizem respeito à própria capacidade do processo (capabilidade) e não um piora no desempenho da unidade. De modo a ter certeza quanto à tendência dos dados, deve-se continuar a avaliar as futuras séries temporais com a estatística proposta (EADP) com a regularidade necessária;
- O método EADP (TPS), avaliando os resultados de concentrações de nutrientes no efluente final de unidades de tratamento norte-americanas, apresentou resultados muito restritivos quando comparados àqueles alcançados pela ETE Gama;
- Tendo em vista que a remoção de Nitrogênio é essencialmente biológica, ao passo que no caso do Fósforo é biológica/química um dos estudos futuros a ser feito deve avaliar a relação estequiométrica C/N e C/P, que implicam diretamente no desempenho do sistema biológico;
- É importante ressaltar que o emprego de métodos estatísticos para análise de desempenho de unidades em escala real é um objetivo a ser perseguido por todos os envolvidos no projeto, na operação e na manutenção e que simples avaliações fundamentadas apenas em um só número, por exemplo, média aritmética ou desvio padrão, são menos esclarecedoras quanto ao real desempenho de um sistema de tratamento;
- Não obstante as irregularidades encontradas no desempenho da ETE Gama, a análise dos dados comprova sua elevada capacidade de remoção, ficando como grande desafio para os operadores da planta identificar a origem dos possíveis desvios apontados e melhorar o processo de tratamento de forma contínua;
- Estudos devem ser feitos para avaliar a confiabilidade das diversas etapas de tratamento, bem como a capacidade dos processos que compõem a planta como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WPCF. **Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition**. American Public Health Association (CD-ROM), Washington DC, **1999**.
2. BARNARD, J. L.; RANDALL, C. W. and STENSEL, H. D. **Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal**. Water Quality Management Library – Volume 5, Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA, 417p., **1992**.
3. BECCARI, M.; PASSINO, R.; RAMADORI, R. e VISMARA, R. **Rimozione di Azoto e Fosforo dai Liquami**. Editore Ulrico Hoepli, 241p., Milano, Italia. **1993**.
4. BERTHOUEX, P.M. and BROWN, L.C. **Statistical for Environmental Engineers 2th Edition**. Lewis Publishers – CRC Press Company, Boca Raton, Florida, USA, 489p., **2002**.
5. BRASIL. MMA. **Resolução CONAMA nº 430 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. DOU, 8p., Brasília, DF, 16 Maio de 2011.
6. CAESB. **Manual de Instruções, Operação e Controle. Sistema de Esgotamento Sanitário do Gama – Processo Biológico Anaeróbio em Reator de Fluxo Ascendente e Manto de Lodo seguido de Processo Aeróbio de Lodos Ativados**, 96p., **2003**.
7. COOPER, P.F. **Historical aspects of wastewater treatment** in Decentralized Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation. IWA Publishing, 11-38p., **Mar 2001**.
8. FERRO, L.R.S. (coordenação). **Atlas Histórico e Geográfico do Distrito Federal**. Fundação Athos Bulcão, Brasília, DF, 188p., **1997**.
9. JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. **Tratamento de Esgotos Domésticos – 4ª Edição**. Editora SEGRAC, Rio de Janeiro, RJ, 960 p., **2005**.
10. JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN Jr., I. and ALÉM SOBRINHO, P. **Secondary WWTP Preceded by UASB Reactor – An Excellent Brazilian Experience**. 10th IWA Specialized Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, Vienna, Austria, 8p., **2007**.
11. HAAS, D.W.; WENTZEL, M.C. and EKAMA, G.A. **The use of simultaneous chemical precipitation in modified activated sludge systems exhibiting biological excess phosphate removal – Part 1: Literature review**. WATER SA, Vol. 26 No. 4, South Africa, 439-452p., **October 2000**.
12. LIBÂNIO, P. A. C.; NUNES, C. M.; de OLIVEIRA, E. F. C. C.; SOARES, S. R. A.; BRITO, M. C. S. O. **Implantação e Operação de Estações de Tratamento de Esgotos: Experiências no Âmbito do Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES)**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais (CD ROM), Belo Horizonte, MG, 9p., **2007**.
13. NEETHLING, J.B.; BOTT, C.B; PARKER, D; PRAMANIK, A. and MURTHY, S. **WEF/WERF Cooperative Study of BNR Plants Approaching the Limit of Technology: II. Statistical Evaluation of Process Reliability**. Presented at WEFTEC - , Orlando, Florida, **2009**.
14. SHAPIRO, J.; LEVIN, G.V. and ZEA G., H. **Anoxically Induced Release of Phosphate in Wastewater Treatment**. Journal Water Pollution Control Federation 1810-1818 p., **November 1967**.
15. US-EPA. **Municipal Nutrient Removal Technologies – Reference Document. Volume 1 – Technical Report**. Office of Wastewater Management, Municipal Support Division, USA, 171p., **September 2008^a**.
16. US-EPA. **Municipal Nutrient Removal Technologies – Reference Document. Volume 2 – Appendices**. Office of Wastewater Management, Municipal Support Division, USA, 285p., **September 2008^b**.
17. US-EPA. **Nutrient Control Design Manual**. Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory – Water Supply and Water Resources Division, Cincinnati, Ohio, USA, 305p., **August 2010**.