

## II-082 - DESEMPENHO OPERACIONAL DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO GAMA (REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES) - SÉRIE HISTÓRICA- 2007 A 2013

**Neila Nunes Ferreira** <sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia do Centro Universitário do Distrito Federal (UDF, 2014).

**Mauro Roberto Felizatto**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU, 1985). Mestre e Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB, 2000). Analista de Sistema de Saneamento III (Eng<sup>o</sup> Sênior) da CAESB, atualmente Coordenador de Operação do Sistema Alagado, Santa Maria e Gama.

**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.

**Cristiano Mano da Silva**

Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília (UnB, 1997). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP, 2005). Atualmente é Analista de Sistemas de Saneamento da CAESB. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Saneamento Básico.

**Marcelo Augusto Sales da Silva**

Engenheiro Sanitarista Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT, 2007). Mestre em Recursos Hídricos pela mesma Universidade (UFMT, 2010). Especialista em Gestão de Projetos em Engenharia e Arquitetura pelo Instituto de Pós Graduação - IPOG/DF e Estatística Aplicada pela Universidade Cruzeiro do Sul. Atua na CAESB na coordenadoria de tecnologia e pesquisas aplicadas. Professor do Centro Universitário do Grupo Cruzeiro do Sul - UDF na área de gerenciamento da construção civil.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Sítio Santos Dumont Chácara 04, Altiplano Leste, QI 29 Lago Sul - Brasília - DF - CEP: 71.680-393 - Brasil - Telefone: +55 (61) 8202-5283 - e-mail: [neila.ferreira@hotmail.com](mailto:neila.ferreira@hotmail.com).

### RESUMO

O presente trabalho avaliou o desempenho operacional da Estação de Tratamento de Esgotos do Gama durante o período de 2007 a 2013, através de dois métodos: PRODES/ANA e TPS/US-EPA. Pelo PRODES/ANA o desempenho demonstrou frequências de dados conformes, com remoções de 99,59%, 99,54%, 93,60%, 94,12% e 82,53%, para DBO, DQO, NTK, SST e  $P_T$ , respectivamente. Os 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 foram de 6; 47; 10; 13 e 0,91, respectivamente expressos em mg/l. 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.

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

### INTRODUÇÃO

A água é a base para a vida na Terra, pois todas as formas de vida existentes dependem dela. Ela mantém a biodiversidade, impulsiona e regula os ciclos biogeoquímicos e é fundamental para o desenvolvimento e crescimento sustentável das atividades humanas (TUNDISI, 2008). Este mesmo autor acrescenta que todos os processos relativos à água estão inter-relacionados e são complexos, dinâmicos e demandam conhecimento e ações multi e interdisciplinares. Contudo, a água doce é um prêmio, pois mais de 97% da água do mundo é

água do mar, indisponível para o uso doméstico e industrial. Três quartos da água doce estão presos em geleiras e nas calotas polares. Lagos e rios são as principais fontes de água potável, mesmo constituindo em seu conjunto, menos de 0,01% do suprimento total de água (BAIRD, 2002). O Brasil é rico em recursos hídricos, com 12% da água doce do planeta, mas a disponibilidade varia de forma acentuada ao longo do território nacional (TUNDISI, 2008). Estudos realizados ao longo dos anos indicam que parte deste percentual é encontrado no subsolo, gerando uma reserva de água denominada mananciais hídricos e abrangendo o centro-sul do Brasil, o nordeste argentino e outros países como Uruguai e Paraguai (BRANCO, 1997).

Branco (1997) acrescenta que se não houver alterações por fatores naturais ou antrópicos neste gigantesco manancial de 115 milhões de metros cúbicos, teremos água para 2500 anos. Atualmente este já está sendo utilizado pela população dos países do qual faz parte, e explorado comercialmente devido à ótima qualidade de água mineral.

Tundisi (2008) diz que a física, a química e a biologia das águas estão envolvidas de forma permanente e complexa, pois água de baixa qualidade compromete a saúde humana e o desenvolvimento econômico e social, dessa forma são necessários planejamento e gestão de águas e recursos disponíveis em nosso país. O desenvolvimento desenfreado das grandes cidades sem um rigoroso planejamento leva a um acréscimo da poluição doméstica e industrial, criando condições ambientais inadequadas levando ao desenvolvimento de doenças, poluição, aumento da temperatura, contaminação dos lençóis freáticos, entre outros. Vale salientar que as águas residuais provenientes de processos de fabricação atingem altos volumes (CESARO, 2007).

O tratamento de águas residuárias é indispensável para minimizar os impactos sobre os recursos hídricos. A remoção dos nutrientes como nitrogênio e fósforo garante o equilíbrio ecológico dos corpos hídricos, impedindo o crescimento descontrolado de algas e o processo de eutrofização, que possuem impactos sinérgicos sobre a biota aquática. A discussão sobre as formas de tratamento para a remoção dos nutrientes das águas residuárias, mensuram a importância da sua eficiência para preservação da qualidade dos corpos de água receptores destes efluentes. Existem algumas alternativas que podem trazer benefícios quando bem utilizadas. (von SPERLING, 1996)

A remoção biológica de nutrientes (RBN) é um termo que vem sendo discutido de forma crescente com a atenção voltada nos processos de lodos ativados nos últimos anos. Os nutrientes de interesse, neste caso, são o nitrogênio e o fósforo. Em alguns países, a RBN vem sendo inserida de forma sistemática em novos projetos e estações existentes estão sendo adaptadas de forma que possibilitem a ocorrência da RBN. Em congressos e encontros científicos internacionais, o tópico de maior discussão tem sido a remoção biológica de nutrientes, com significativos avanços no sentido de maior compreensão do fenômeno e da sua modelagem matemática (von SPERLING, 1997)

Naturalmente que a necessidade de se executar a remoção de nitrogênio e fósforo depende dos objetivos mais amplos do tratamento e da qualidade das águas do efluente final e do corpo receptor. Em corpos sensíveis, tais como lagos, represas estuários expostos a problemas de poluição, como eutrofização, a RBN assume grande importância (von SPERLING, 1997)

Ao se analisar a importância de implementar a RBN, em função de uma tendência emanada dos países mais desenvolvidos, deve-se ter sempre em conta uma escala de prioridades. Estes países mais avançados já resolveram, em sua maioria os problemas de matéria carbonácea (DBO e DQO) nos seus efluentes, havendo a necessidade agora de se passar para um segundo estágio de prioridades a qual se concerne a RBN. No Brasil, temos ainda que resolver o problema da matéria carbonácea e dos patogênicos, obviamente sem perder a perspectiva da atuação, sempre que necessário, na remoção de nutrientes. (von SPERLING, 1997)

Além dos aspectos do corpo receptor, a remoção intencional pode contribuir para a melhoria na operação da estação de tratamento de esgoto (ETE). No caso da remoção de nitrogênio, há economia de oxigênio e alcalinidade, além de se reduzir a possibilidade de lodo ascendente nos decantadores secundários. (von SPERLING, 1997)

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

Entende-se por poluição de recursos hídricos qualquer atividade humana que altere as condições naturais das águas superficiais ou subterrâneas (BRANCO 1986). Estes usos incluem, além da irrigação e da utilização doméstica, a navegação, a recreação, o turismo, a mineração a produção de hidroeletricidade e os processos industriais. A utilização cada vez maior dos recursos hídricos tem resultado em problemas, não só de carência, como também na degradação da sua qualidade (MOTA, 1995). Os esgotos das cidades, os resíduos industriais, os depósitos de lixo, as substâncias químicas utilizadas na agricultura e o desmatamento contribuem para a deterioração da qualidade de um corpo d'água. Com isso surgiram maiores exigências com relação à conservação e ao uso racional dos recursos hídricos (BRAGA, 2003).

Segundo Mota (1995), os esgotos domésticos (ou sanitários), são originários predominantemente das habitações, sendo provenientes de instalações sanitárias, lavagens de e utensílios domésticos, pias, banheiros, lavagens de roupas e outros domiciliares. Ainda que conscientes da grande importância do tratamento de esgotos, no Brasil muito pouco se tem investido para melhorar as redes coletoras de esgotos e posterior tratamento. Apenas 30 % da população urbana brasileira têm seus esgotos coletados, e destes, apenas 10% têm tratamento adequado (SILVA JUNIOR et al., 1996).

Uma Estação de Tratamento de Esgotos deve funcionar de maneira correta para não acarretar problemas tanto do ponto de vista social, quanto do ponto de vista ambiental. De acordo com Braga & Hespanhol (2003) as substâncias presentes no esgoto exercem ação deletéria nos corpos de água. A matéria orgânica presente no esgoto pode ocasionar a redução de oxigênio dissolvido, causando a morte de peixes e outros organismos aquáticos, escurecimento da água e aparecimento de maus odores (BRAGA & HESPANHOL, 2003).

Segundo Almeida (2005), é possível tratar o esgoto a qualquer grau que se deseje para torná-lo utilizável para qualquer fim. A eficiência do tratamento é a percentagem removida de um determinado atributo do esgoto (ALMEIDA, 2005).

As ETEs Sul e Norte 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 de esgoto com remoção biológica ampliada de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo).

Administrada pela CAESB, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Gama está entre as três maiores do DF, com capacidade de tratamento de até 545 litros de esgoto por segundo. A estação foi planejada antevendo o crescimento populacional do Gama, podendo atender até 300 mil habitantes e custou aproximadamente R\$ 14 milhões de reais, sendo uma das mais modernas do Brasil na atualidade. A ETE – Gama trata aproximadamente 479.260 m<sup>3</sup> de esgotos, sendo gerados por uma população estimada de 126 mil habitantes. Antes, todo esse esgoto “in natura” era lançado nos efluentes, causando graves impactos ambientais.

A presente pesquisa teve como objetivo verificar e analisar o desempenho operacional da ETE Gama, comparando os resultados com o PRODES/ANA – Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (Libânio et al., 2007) em relação ao cálculo das remoções globais da unidade para DBO, DQO, SST, P<sub>T</sub> e NTK além de fazer um levantamento de frequência das concentrações do efluente final dos parâmetros supracitados utilizando o método para avaliação de desempenho de ETEs – *TPS (Technology Performance Statistics)*, proposto por USEPA (2010).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### • LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ETE GAMA

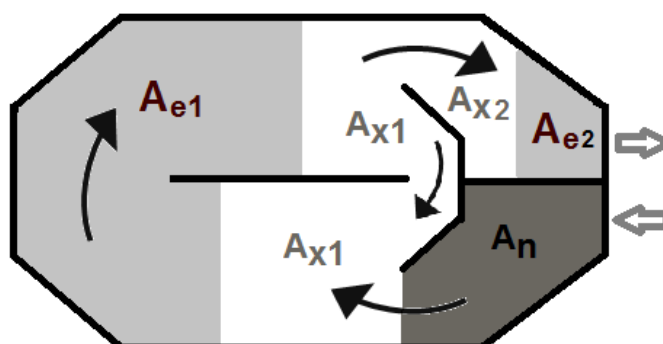
A estação de tratamento de esgoto em estudo está localizada no km 20 da rodovia DF 290(16°01,493' S e 48°05,815' E), ao sudoeste da Região Administrativa do Gama, uma das 17 ETEs pertencentes ao sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal e operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

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.

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: An Zona Anaeróbia, Ax1... Zona Anóxica (Primeira), Ae1... Zona Aeróbia (Primeira), Ax2...Zona Anóxica (Segunda), Ae2...Zona Aeróbia (Segunda) (Felizatto *et al*, 2011).**

#### • DADOS DO PROJETO

A ETE Gama 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).

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).

### • DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PRECONIZADOS NO PROJETO

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 - PT e Nitrogênio - N<sub>T</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); 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 <sub>2</sub> / ℓ	580	246 – 333	≤ 125
DBO	mg-O <sub>2</sub> / ℓ	348	148 – 200	≤ 50
SST	mg/ ℓ	290	74 – 100	-
N <sub>T</sub>	mg-N/ ℓ	56,0	38 – 51	≤ 10,0
P <sub>T</sub>	mg-P/ ℓ	8,20	5,20 – 7,10	≤ 1,00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg-N/ ℓ	35,0	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg-N/ ℓ	0,04	-	-
pH	-	-	-	5,0 – 9,0
Temperatura	°C	-	-	≤ 40
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 m ℓ	1,0 x 10 <sup>7</sup>	-	-

Fonte: CAESB (2003).

### • DESCRIÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL

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 coprecipitação de Fósforo.

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.

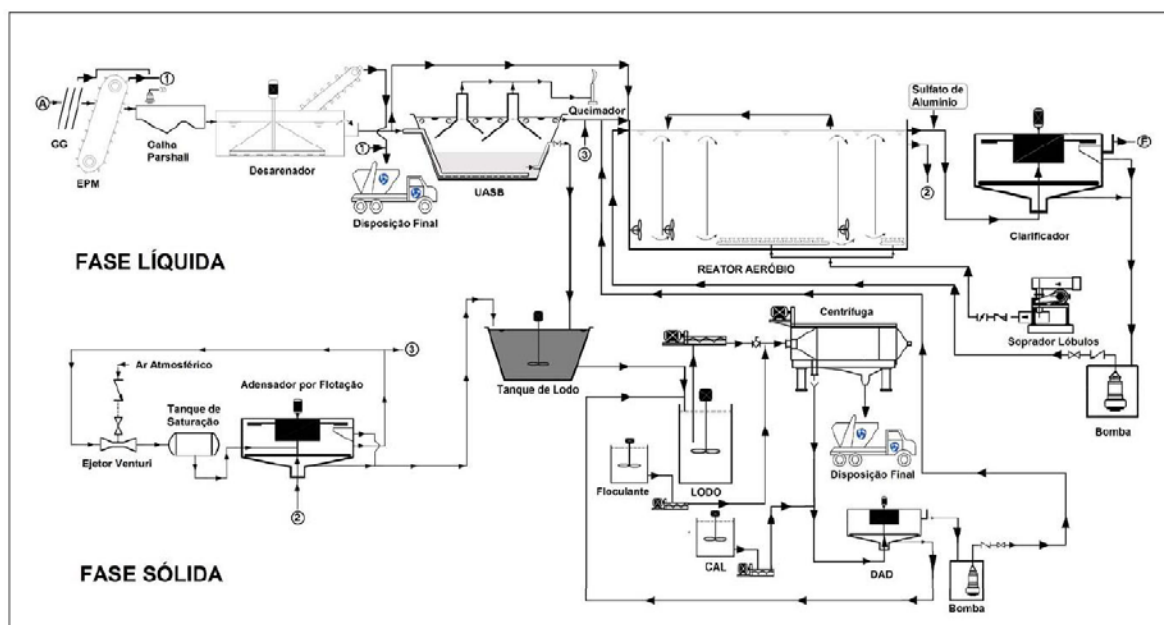
O programa de monitoramento do desempenho operacional é efetuado duas vezes por semana, através de coletas compostas realizadas durante 24 horas, com alíquotas tomadas de duas em duas horas, de onde estacamos alguns parâmetros conforme descritos na Tabela 3. Todas as marchas analíticas utilizadas seguem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

**Tabela 3- Parâmetros de controle operacional e métodos empregados**

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

Fonte: CAESB (2003).





**Figura 2 - Fluxograma da Estação de Tratamento de Esgotos do Gama** Legenda: A.Afluente, E Efluente, GG...Grade Grosseira, EPM...Esteira Peneiramento Mecânico, UASB...Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, DAD. Decantador e Adensador de Lodo não capturado. (FELIZATTO *et al*, 2011).

#### • PRODES/ANA

De modo a incentivar a implantação de estações de tratamento de esgotos, com a finalidade de reduzir os níveis de poluição dos recursos hídricos no país, e ao mesmo tempo induzir à implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, definido pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, mediante a organização dos Comitês de Bacia e a instituição da cobrança pelo direito de uso da água, a ANA criou, em março de 2001, o Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES).

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%.

#### • 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 uma impressão de grande conservadorismo, ou mesmo de grande confiança em fazer aquilo que é seguro portanto, a melhor decisão do ponto de vista ambiental. Infelizmente, segundo a US-EPA, o percentil 99% 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<sup>a</sup> e 2008b), 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 pelos 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

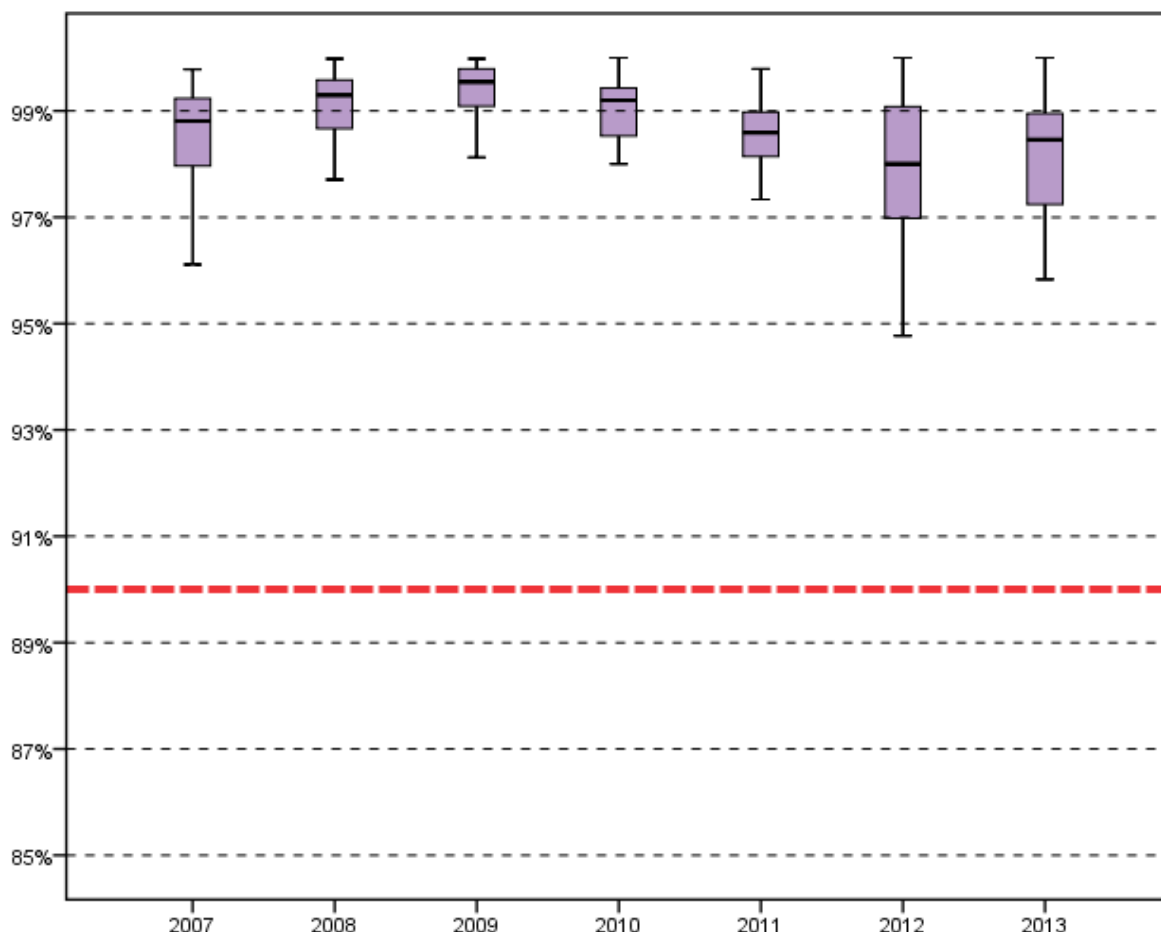
### • PRODES/ANA

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 8 representa a média aritmética dos parâmetros em questão, significando que no geral, para o período de 2007 a 2013, a frequência de atendimento é de 92,96%. Portanto, a cada 49 dias de operação a ETE Gama apresenta um resultado fora da conformidade, ou seja, abaixo das remoções propostas pelo PRODES/ANA.

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

ANO	DBO	DQO	SST	P <sub>T</sub>	NTK	GERAL
2007	98,33%	94,68%	93,60%	93,28	89,01%	93,78%
2008	98,81%	95,83%	100%	98,40	97,50%	98,11%
2009	100%	98,96%	100%	98,97%	89,74%	97,53%
2010	100%	95,12%	95,35%	90,59%	83,33%	92,88%
2011	100%	97,87%	74,47%	91,40%	98,92%	92,53%
2012	100%	88,51%	97,70%	47,67%	98,84%	86,54%
2013	100%	93,62%	97,73%	57,45%	97,87%	89,35%
2007-2013	99,59%	94,94%	94,12%	82,53%	93,60%	92,96%

A Figura 3 representa o gráfico dos resultados das remoções da ETE Gama para a DBO para o período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2013.



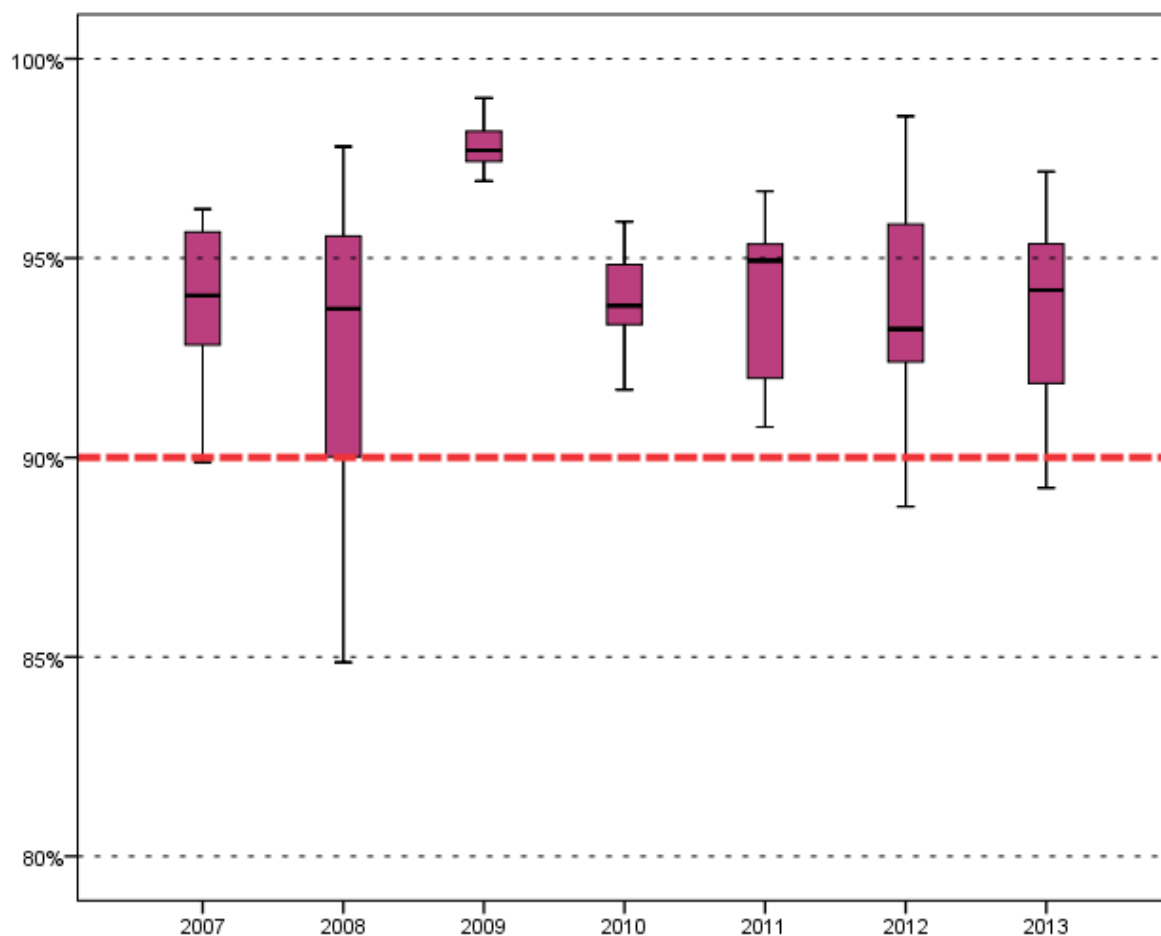
**Figura 3 - Gráfico da Remoção de Matéria Orgânica (DBO) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2013).**

Conforme ilustrado na Figura 3, 99,59% das vezes a remoção de DBO encontra-se acima do valor preconizado pelo PRODES/ANA. Aproximadamente a cada 854 dias 1 resultado de remoção ficou abaixo de 90%, resultado de inconformidade insignificante para o gráfico em questão. A resolução do CONAMA que trata dos limites de lançamento para efluente de Sistema de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs), estabelece uma 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 dos resultados das remoções da ETE Gama para a DQO para o mesmo período da Figura 3.

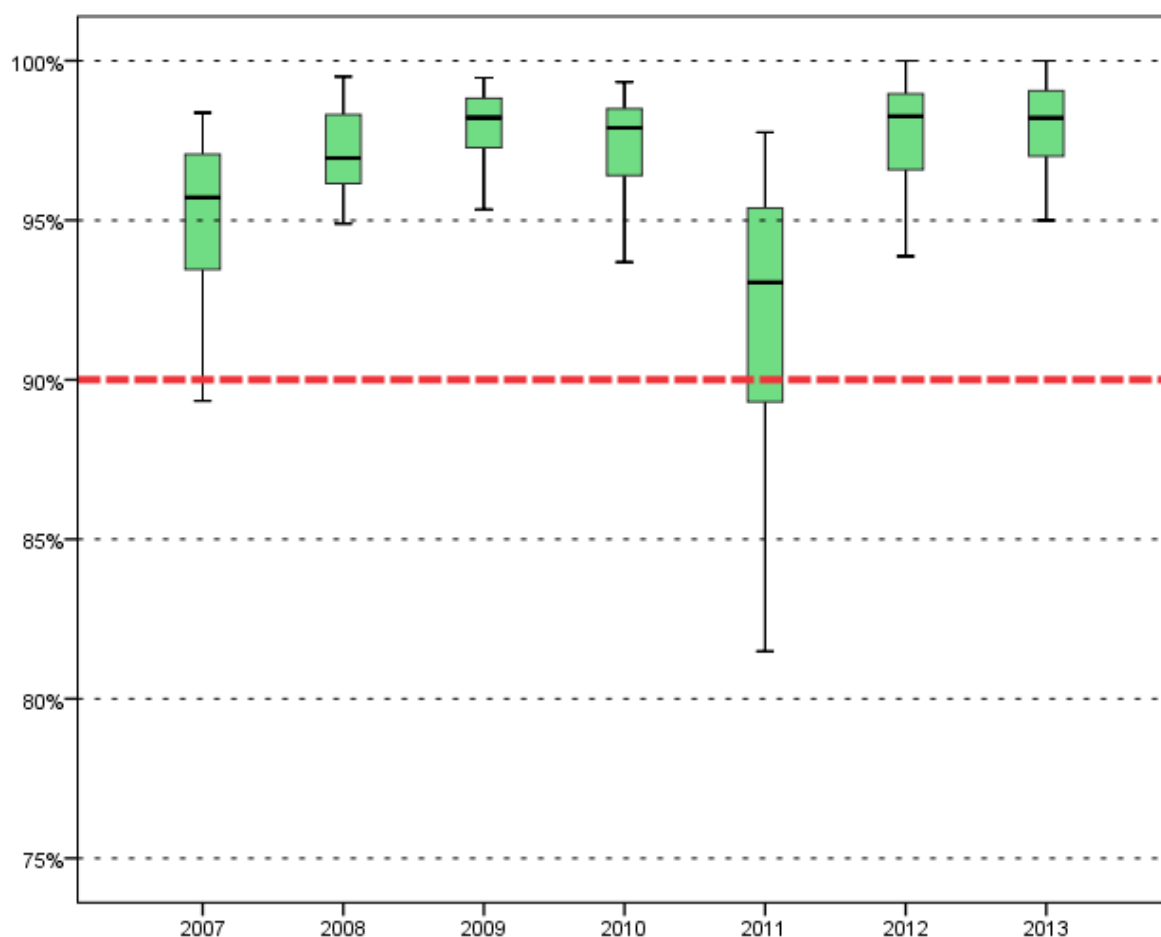


**Figura 4 - Gráfico da Remoção da Matéria Orgânica (DQO) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2013).**

Conforme apresentado na Figura 4, 94,94% das vezes a remoção de DQO encontra-se acima do valor adotado pelo PRODES/ANA para a DQO, ou seja, aproximadamente a cada 70 dias um resultado de remoção ficou abaixo de 90%, porém com remoção acima de 84%.

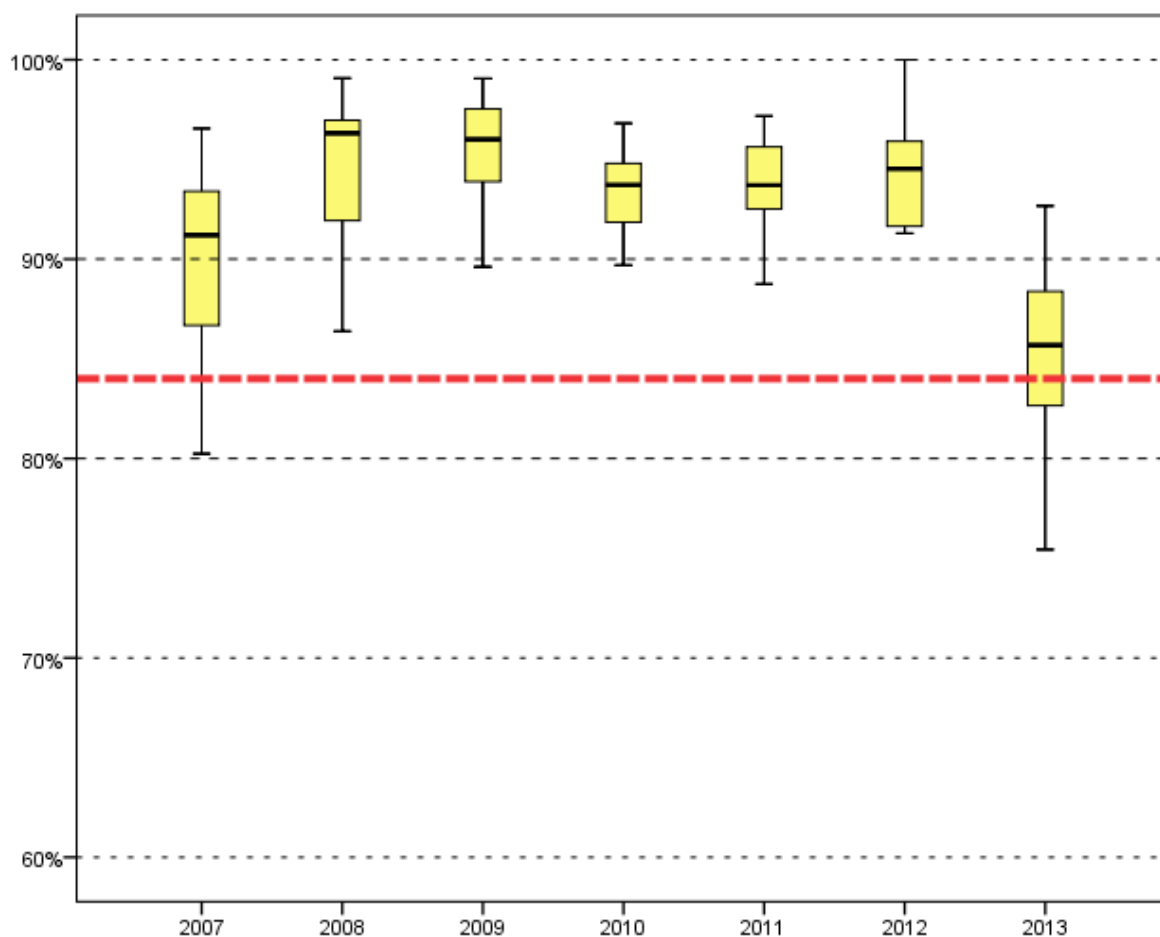
A Figura 5 apresenta o gráfico dos resultados das remoções da ETE Gama para a SST de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2013.

Como visto na Figura 5, 94,12% das vezes a remoção de SST encontra-se acima do valor estabelecido pelo PRODES/ANA, ou seja, a cada 2 meses um resultado de remoção ficou abaixo de 90%, mas com remoção acima de 80%.



**Figura 5 - Gráfico da Remoção de Matéria Orgânica (SST) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2013).**

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

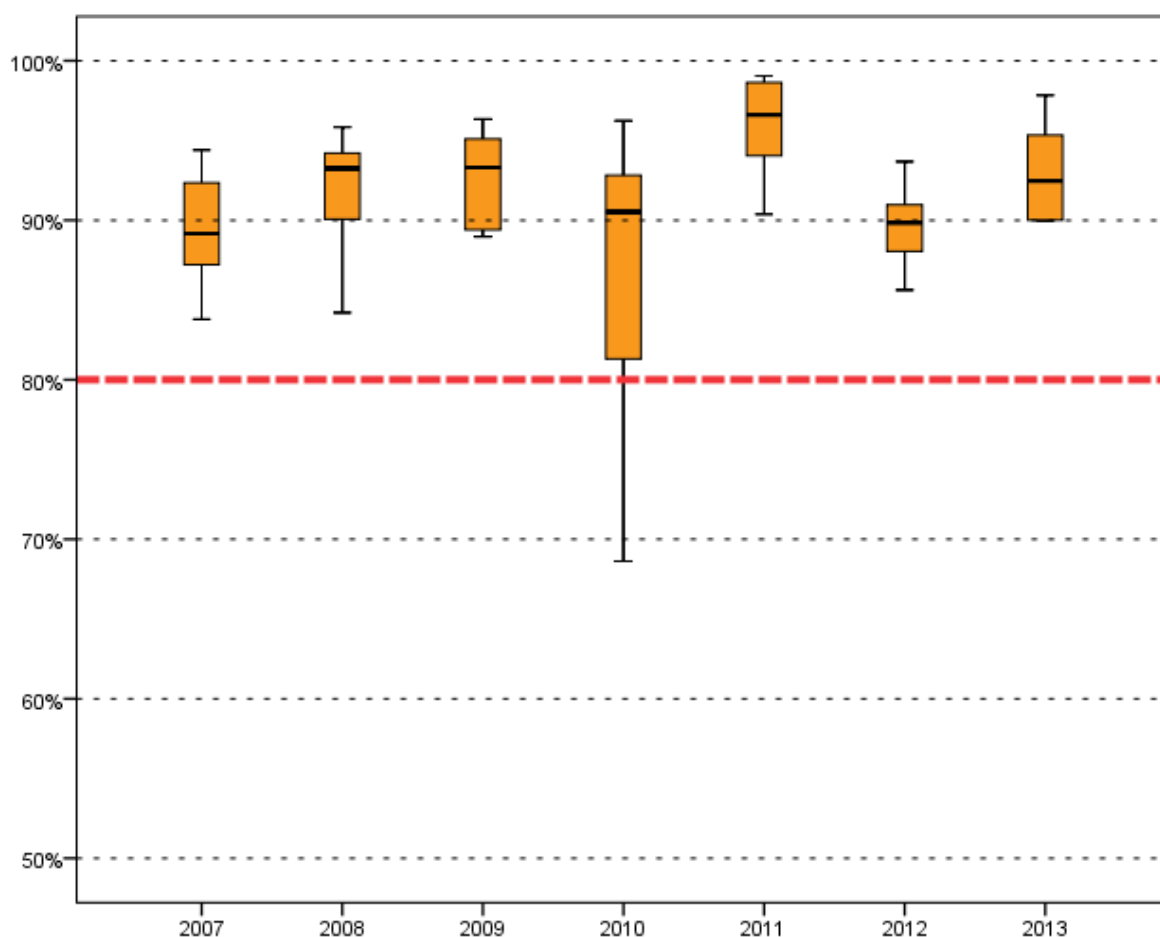


**Figura 6 - Gráfico da Remoção de Fósforo Total ( $P_T$ ) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2013).**

Conforme verificado na Figura 6, 82,53% das vezes a remoção de  $P_T$  encontra-se acima do valor do PRODES/ANA, no entanto um valor menor do que o preconizado pelo programa para  $P_T$ , ou seja, aproximadamente a cada 21 dias um resultado de remoção ficou abaixo de 85%.

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 2013.

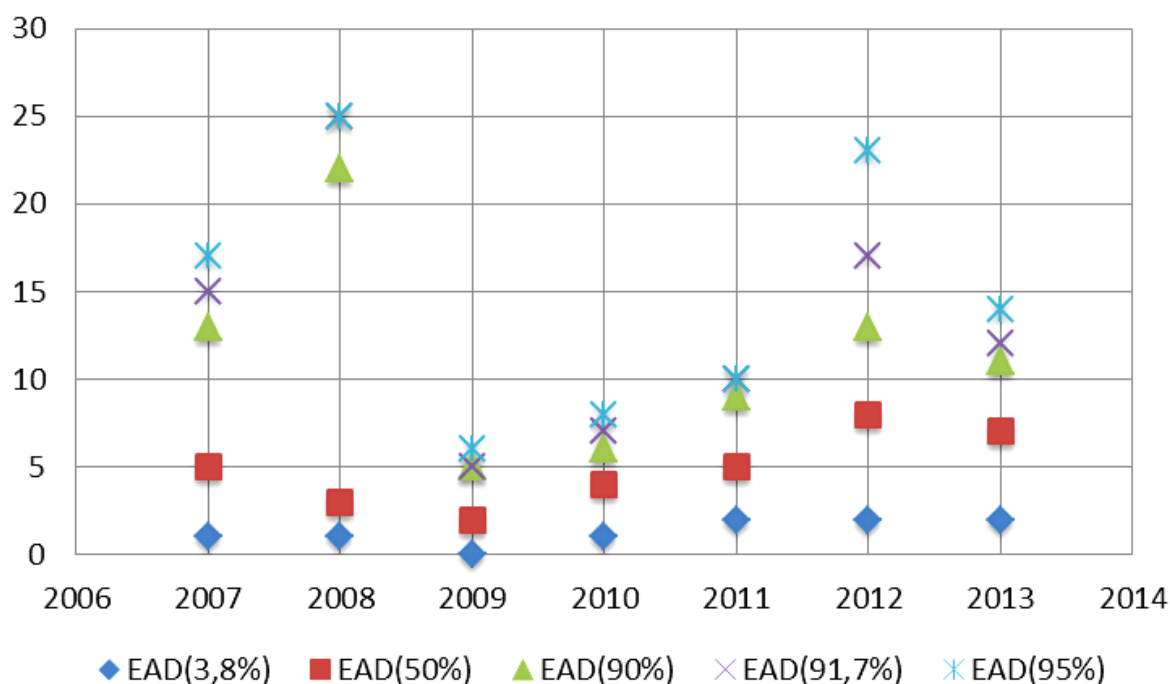
Como pode ser visto na Figura 7, 93,60% das vezes a remoção de NTK encontra-se acima do valor preconizado pelo PRODES/ANA, ou seja, aproximadamente a cada 112 dias dois resultados de remoção ficaram abaixo de 80%, mas com remoção acima de 65%.



**Figura 7 - Gráfico da Remoção de Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2013).**

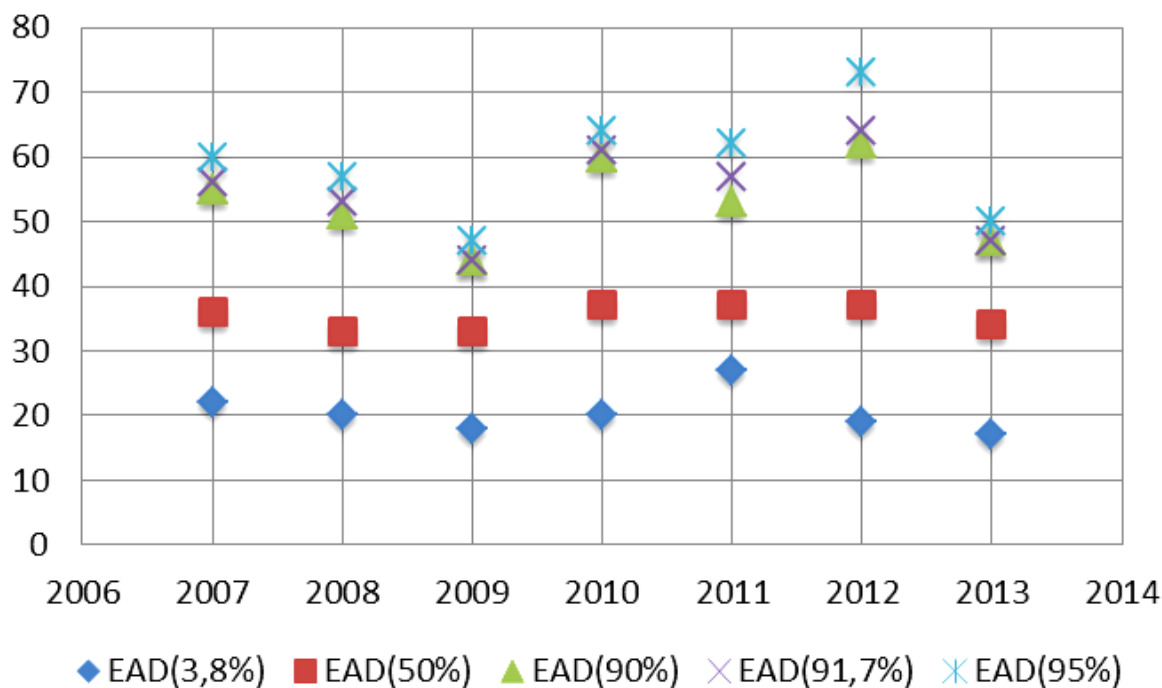
#### • ESTATÍSTICAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PROCESS

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).



**Figura 8 - Gráfico EADP para a concentração da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2013**

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).

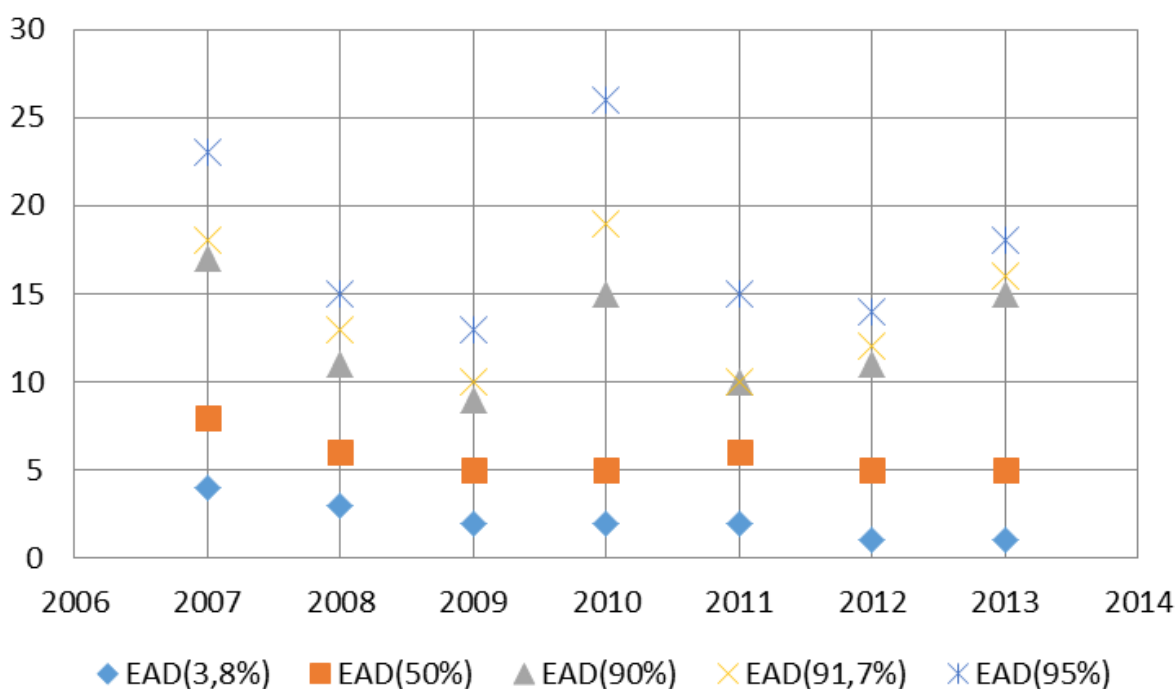


**Figura 9 - Gráfico EADP da concentração da Demanda Química de Oxigênio (DQO) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2013.**



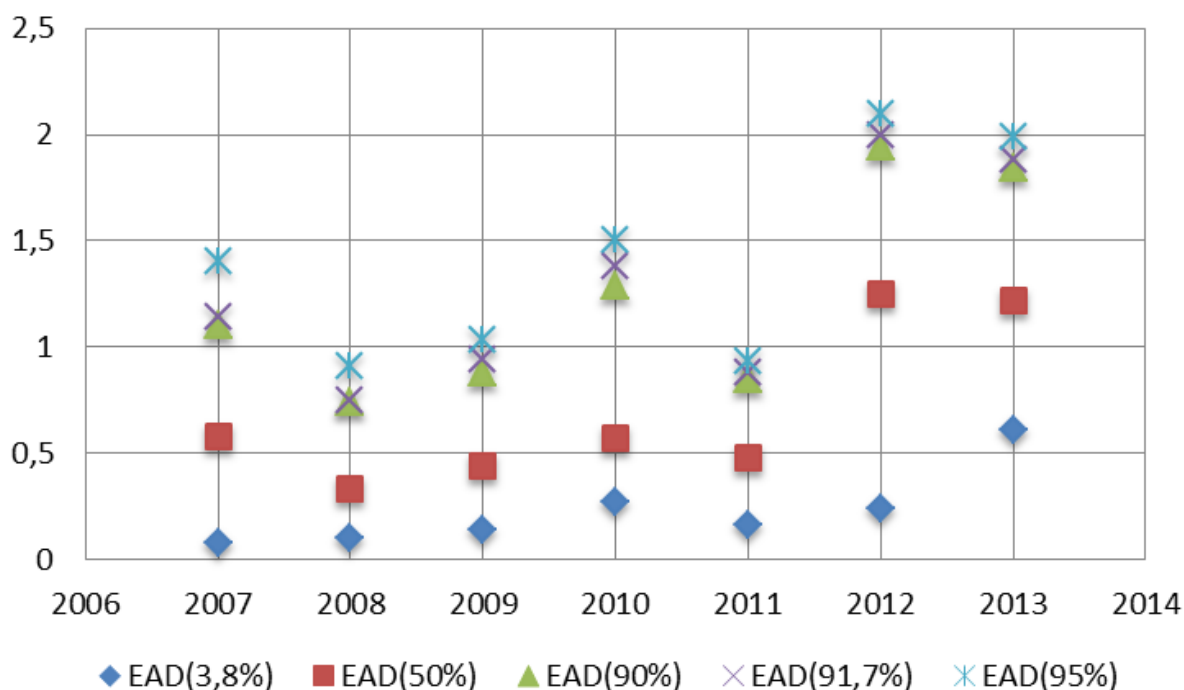
A Figura 9 apresenta as estatísticas avaliadas para as concentrações de DQO efluente da ETE Gama, observando-se que houve uma melhora no desempenho desse parâmetro de 2007 a 2009, com valores de DBO no efluente tratado bem inferiores ao previsto no projeto (125 mg/l). Como nessa figura, o maior valor de DQO efluente foi de 74 mg/l no EADP-95% de 2012, 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 2011, verifica-se um discreto acréscimo em todos os EADP (3,84%, 50%, 90%, 91,7% e 95%). De 2011 para 2012 essa tendência inverteu somente para o EADP-3,8% e de 2012 para 2013 houve uma melhora 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.



**Figura 10 - Gráfico EADP da concentração do Sólidos em Suspensão Totais (SST) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2013.**

Em termos de SST, de 2009 para 2010, ocorre também um discreto acréscimo nos EADP (90%, 91,7% e 95%), porém essa tendência inverteu para 2011. De 2011 para 2013 houve um decréscimo nos EADP-3,8% e EADP-50%, porém houve um acréscimo nos EADP (90%, 91,7% e 95%).



**Figura 11 - Gráfico EADP da concentração de Fósforo Total ( $P_T$ ) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2013.**

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 essa tendência de 2008 para 2010 para todos os EADP (3,84%, 50%, 90%, 91,7% e 95%). De 2010 para 2011 essa tendência inverteu, porém de 2011 para 2013 os EADP voltaram a aumentar.

Conforme visto na Figura 11, o maior valor de  $P_T$  efluente foi de 2,20 mg/l no EADP-95% para 2012, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa este valor.

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 essa tendência de 2008 para 2010 para os EADP (90%, 91,7% e 95%). De 2010 para 2011 houve uma melhora no desempenho para todos os EADP (3,84%, 50%, 90%, 91,7% e 95%). De 2011 para 2012, o EADP-95% manteve-se; e houve um acréscimo nos EADP (50%, 90%, 91,7%).



**Figura 12 - Gráfico EADP da concentração de Nitrogênio Total ( $N_T$ ) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2013.**

Conforme visto na Figura 12, o maior valor de  $N_T$  efluente levantado foi de 17,0 mg/l no EADP-95% do ano 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa este valor, 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.

## 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 2013, apresentando uma frequência de remoções inconformes de 7,04% das vezes para todos os parâmetros avaliados.

Ainda pela abordagem do PRODES, as remoções da concentração de DBO apresentaram frequência de inconformidade de 0,41% 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  $N_T$  apresentaram frequência de não conformidade de 5,06%, 5,88% e 6,4%, respectivamente. No período estudado, a remoção de fósforo apresentou uma maior irregularidade, tendo a maior frequência de não conformidade, igual a 17,47%. Esse valor de não conformidade da remoção do fósforo seria um possível tema para abordagens futuras das causas desse decréscimo na remoção, principalmente a partir do ano de 2012, com base na certeza da fidedignidade dos dados.

Pela abordagem do EADP (TPS), as oscilações que ocorreram no processo ficaram mais visíveis. 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. ALMEIDA, R.; Revista Eletrônica de Enfermagem, V 07, Goiânia, GO, 308 p., 2005.
2. APHA/AWWA/WPCF. *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition*. American Public Health Association (CD-ROM), Washington DC, 1999.
3. 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.
4. BAIRD, c. Química ambiental, 2. ed., Porto Alegre, Bookman, 2002. p 350-580, 2002.
5. BERTHOUEX, P.M. and BROWN, L.C. *Statistical for Environmental Engineers 2th Edition*. Lewis Publishers – CRC Press Company, Boca Raton, Florida, USA, 489p., 2002.
6. BRAGA, B; HESPANHOL, I., et al.; Introdução à engenharia ambiental, 2 th ed., Prentice Hall, 2003
7. BRANCO, S. M.; Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 3 th ed., CETESB/ ASCETESB: São Paulo, 1986.
8. BRANCO, S. M. O meio ambiente em debate. 26 ed. São Paulo: Ed. Moderna, 1997. 96 p.
9. BRASIL. MMA. Resolução CONAMA no 430 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. DOU, 8p., Brasília, DF, 16 Maio de 2011.
10. CESARO, L. R. Degradação de corantes reativos e efluentes de indústria têxtil através da produção de agente oxidante pela eletrólise de cloreto de sódio no meio reacional. 2007. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Química Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
11. COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL, CAESB. Manual de Instruções, Operação e Controle. Sistema de Esgotamento Sanitário do Gama – Processo Biológico Anaeróbico em Reator de Fluxo Ascendente e Manto de Lodo seguido de Processo Aeróbico de Lodos Ativados, 96p., 2003
12. FELIZATTO et al. Remoção Biológica de Nutrientes Precedido de Reator UASB: O Caso da ETE Gama (DF). 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Brasília, DF, 15p., 2011.
13. JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. Tratamento de Esgotos Domésticos – 4ª Edição. Editora SEGRAC, Rio de Janeiro, RJ, 960 p., 2005.
14. 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.
15. LIBÂNIO, P. A. C.; NUNES, C. M.; de OLIVEIRA, E. F. C. C.; SOARES, S. R. A.; BRITO, M. C. S. O.M. 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.
16. MOTA, S.; Preservação e conservação de recursos hídricos. 2 th ed., ABES: Rio de Janeiro, 1995.

17. 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.
18. PEREIRA, Alexandre. Guia Prático de Utilização do SPSS. Análise de dados para Ciências Sociais e Psicologia. 4<sup>a</sup> ed. Edições Silabo. Lisboa. Mar 2003.
19. SILVA JUNIOR,, R. J. C.; A indústria da água como atividade econômica Bio, 1996, 1,22-33.
20. TUNDISI, J. G. Água para o futuro numa perspectiva global. Dossiê: água potável. Scientific American. Brasil, n. 70, p. 32-47, mar. 2008.
21. US-EPA. *Municipal Nutrient Removal Technologies – Reference Document. Volume 1 – Technical Report*. Office of Wastewater Management, Municipal Support Division, USA, 171p, September 2008a.
22. US-EPA. *Municipal Nutrient Removal Technologies – Reference Document. Volume 2 – Appendices*. Office of Wastewater Management, Municipal Support Division, USA, 285p. September 2008b
23. US-EPA. *Nutrient Control Design Manual*. Office of Research and Development, National Riskv Management Research Laboratory – Water Supply and Water Resources Division, Cincinnati, Ohio, USA, 305p., August 2010.
24. von SPERLING, M. Lodos ativados 2. ed.- Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 1997.(Princípios do tratamento biológico de águas residuais; v.4).
25. von SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 211 p. v. 2.