

# CONTROLE OPERACIONAL E SANEAMENTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

José Reges da Silva Lobão<sup>1</sup> Marisete Dantas de Aquino<sup>2</sup>

## RESUMO

A emissão de efluentes qualitativos nos corpos hídricos está sujeita às incertezas integradas ao comportamento das estações de tratamento de esgotos (ETEs) de onde deverão ser lançados os efluentes tratados que poderão influenciar na logística operacional das ETEs, e provocar diversas variações. Estas variações podem estar alinhadas aos fatores climáticos, operacionais e de projetos. Para mapear e controlar tais fatores, foi aplicado o conceito de confiabilidade, que é a probabilidade do efluente obedecer aos patamares determinados. Na presente pesquisa de campo, foram considerados os padrões DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e SST (Sólidos Suspensos Totais) como os parâmetros representativos, por serem usuais no monitoramento de ETEs. Tais patamares são deliberados pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e estabelecidos pela SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará). O principal objetivo contempla elaborar uma metodologia investigativa da qualidade do tratamento de esgotos, bem como analisar a variabilidade das amostras efluentes, a confiabilidade e a estabilidade das ETEs. Na metodologia de trabalho foi utilizada a abordagem e a experimentação qualitativa e quantitativa de parâmetros, compreendendo avaliação da eficiência, confiabilidade e estabilidade, que contribuíram para a aproximação das técnicas de projeto com as alterações das variáveis operacionais inerentes às ETEs. A avaliação das normas mostrou que as ETEs estudadas atingiram desempenhos irregulares, considerando os padrões de eficiência e níveis de confiança rigorosos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análises de confiabilidade. Tratamento de esgoto. Meio ambiente.

## OPERATIONAL CONTROL AND ENVIRONMENTAL SANITATION IN THE PRODUCTION OF DOMESTIC EFFLUENTS

### ABSTRACT

*The emission of quality effluents in hydric bodies is subject to uncertainties which are integrated to behavior of sewage treatment plants (STPs) from where treated effluents should be launched. Such effluents may influence the operational logistics of STPs, and cause several variations. Such variations can be aligned to the climatic, operational and project factors. To map and control these factors, it was applied the concept of reliability, which is the probability of the effluent to obey certain levels. In the present field study, we considered the patterns BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) and TSS (Total Suspended Solids) as representative parameters, for being usual in the monitoring of STPs. Such levels reflect upon the CONAMA (National Environment Council) established by the SEMACE (State Superintendent of Environment of Ceará). The main aim of this work is to prepare a research methodology on the sewage treatment quality, to analyze the variability of effluent samples, as well as the reliability and stability of the plants. In the working methodology it was used the qualitative as well as quantitative approaches, experimentation of parameters, including assessment of the efficiency, reliability and stability. They contributed to the approximation of the design techniques with changes in operating variables inherent to the STPs. The assessment of standards showed that the studied plants reached uneven performances, considering the standards of efficiency and rigorous confidence levels.*

**KEYWORDS:** Reliability analysis. Sewage treatment. Environment.

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: regislobão@bol.com.br.

<sup>2</sup>Doutora em Engenharia de Pesca pela École des Hautes Études – Paris, França. Professora do DEHA - UFC. E-mail: marisete@ufc.br.

## 1 INTRODUÇÃO

Em termos de desempenho operacional de uma estação de tratamento de esgoto, a confiabilidade pode ser entendida como a fração de tempo em que se obedece às concentrações esperadas no efluente, a fim de cumprir com as exigências de emissão; logo, uma ETE será completamente confiável se não ocorrerem falhas na sua atuação, ou seja, se não houver uma violação dos limites predeterminados pelos órgãos deliberativos. Tais falhas do processo de tratamento ocorrerão sempre que o padrão de emissão for excedido.

Em conformidade com as diversas incertezas, presentes na fase de projeto e operação de estações de tratamento de esgotos, é provável que existam alguns riscos de falha, que são inevitáveis, e as ETEs devem ser projetadas em função de concepções aceitáveis de risco ou violação. Neste artigo, foi investigada a eficiência de remoção de DBO, DQO e SST, por estarem relacionados com a produtividade e a qualidade operacional das emissões de esgotos tratados. Também foi efetuada a elaboração de uma metodologia de investigação da qualidade do tratamento de esgotos bem como à execução de análises da variabilidade das amostras dos efluentes domésticos, da confiabilidade operacional das ETEs e da estabilidade dos dados obtidos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A confiabilidade de uma ETE é fundamentada no entendimento do comportamento do processo. De acordo com as variações na qualidade do efluente tratado, é necessário que a estação de tratamento seja projetada naturalmente, a fim de promover a produção de uma concentração média efluente abaixo dos padrões de lançamento.

O menor patamar de exigência de confiabilidade deve ser previsto e estabelecido para determinar o quantitativo da probabilidade de falha que poderá ser aceito. Para tal determinação, Niku *et al.* (1982) indicam a teoria da decisão estatístico-econômica, desenvolvida por Singh (1971) quando são determinados os custos totais de estações de tratamento, considerando a construção, que a operação e o valor do custo de falha multiplicado pela probabilidade de sua ocorrência, sejam mínimos.

No processamento estatístico, um determinado fator que pode ser estabelecido em função dos diversos parâmetros é a confiabilidade, que é a probabilidade de que um determinado mecanismo possa atuar adequadamente, conforme peculiaridades, durante uma fração temporal prevista por Metcalf e Eddy (1991) e em condições específicas ao comportamento de ETEs. A fração temporal em que o efluente obedece aos padrões de emissão deliberados pelos órgãos competentes pode ser definida como confiabilidade. Logo, é preponderante entender que as concepções tecnológicas de tratamento de esgotos sejam investigadas e testadas à variável probabilística em questão, promovendo a produção de informações que serão integradas à escolha

de uma tipologia de tratamento e permitir condicionar uma análise da atuação desta concepção em escala real.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estabelecimento de uma concentração média, que garanta que a concentração do efluente esteja abaixo de determinado valor, em um determinado nível de confiabilidade, Niku *et al.* (1982) desenvolveram uma metodologia que influenciou na concentração média do constituinte (valor de projeto) com os patamares máximos a ser atendidos, fundamentando-se em investigações de natureza probabilística. Tal metodologia foi empregada nesta pesquisa a fim de promover a determinação dos coeficientes de confiabilidade das nove concepções tecnológicas de tratamento analisadas.

A equação 1.2 mostra que a confiabilidade pode ser deduzida pela quantificação da probabilidade da operação adequada, considerando uma determinada fração temporal e condições específicas, como por exemplo, o funcionamento adequado de uma ETE, logo, uma estação bem planejada deve, em determinado patamar de tempo, sustentar uma estabilidade-padrão de eficiência, que, em termos repetitivos, não ocorre por causa de mudanças funcionais, que se estendem desde a existência de erros operacionais às variações climáticas. Com relação à variabilidade, uma investigação da confiabilidade foi aplicada pretendendo a obtenção de padrões efluentes proporcionais a cada unidade de tratamento.

Metcalf e Eddy (1991) definem a confiabilidade (Cf) como sendo uma função da probabilidade de falhas (P) que pode ser expressa pela Equação (1.1):

$$Cf = 1 - P(\text{falha}) \quad (1.1)$$

em que:

$$1 - P(\text{falha}) = 1 - P(\text{Conc. efluente} > \text{Conc. requerida}) \quad (1.2)$$

Com base na investigação executada, segundo a equação 1.2, foram quantificados novos valores limites para os parâmetros DBO, DQO e SST, pelo Método CDC (Método do Coeficiente de Confiabilidade). Tal metodologia é baseada no cálculo de um coeficiente de confiabilidade para um determinado valor de probabilidade acumulada, conforme as equações 1.3 e 1.4, tanto na elaboração do projeto como na dinâmica da operacional das estações, assumindo-se assim uma distribuição lognormal (CROW e SHIMIZU, 1988).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x \sigma_y}} e^{-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y}} \quad x > 0 \quad (1.3)$$

$$f(x) = 0 \quad (1.4)$$

Tal distribuição consta ser assimétrica, sendo caracterizada por uma extensa cauda à direita da média. Tomando a relação  $y = \ln(x)$  quando  $\mu_x$  e  $\sigma_x$  são conhecidos para  $x$ , a média e variância correspondentes para  $y$  podem ser determinadas pelas equações 1.5 e 1.6 (BROADBENT, 1956, CROW e SHIMIZU, 1988):

$$\mu_y = \ln \left( \frac{\mu^2 x}{\sqrt{\mu^2 x + \mu^2 y}} \right) \quad (1.5)$$

$$\sigma^2 y = \ln \left( 1 + \frac{\sigma^2 x}{\mu^2 x} \right) \quad (1.6)$$

As equações (1.5) e (1.6) foram aplicadas com o objetivo de desenvolver a confiabilidade apresentada por Niku et al (1982). O coeficiente de confiabilidade (CDC), desenvolvido por Niku *et al* (1982), pode ser utilizado para estimar a confiabilidade das ETEs. Para tal procedimento, foram tomados os coeficientes de variação, calculados para as ETEs estudadas. Este “CDC” relaciona os valores das concentrações médias de projeto ao padrão a ser alcançado em uma base probabilística. O valor médio do constituinte,  $m_x$ , poderá ser obtido da equação 1.7:

$$m_x = (\text{CDC}) * X_s \quad (1.7)$$

$m_x$  = concentração média do constituinte;

$X_s$  = meta de qualidade;

CDC= coeficiente de confiabilidade.

Admitindo que, para uma determinada probabilidade de falha  $\alpha$  entre 0 e 1, mais perto de 0, deseja-se projetar um processo para cada variável lognormal  $x$  observada, deve ser utilizada a propriedade:

$$P(x \leq X_s) = 1 - \alpha \quad (1.8)$$

Assim,  $(1 - \alpha)$  é a probabilidade de que a variável  $x$  não exceda o padrão  $X_s$ . Para o desenvolvimento da confiabilidade, Niku *et al.* (1982) utilizaram propriedades da função lognormal, quando a média da função normal é zero ( $\mu_y = 0$ ) e a variância é um ( $\sigma^2 y = 1$ ). Desta forma, as tabelas elaboradas para a distribuição normal central reduzida vêm da equação 1.9:

$$P = \left( Z \leq \frac{\ln X_s - \mu_y}{\sigma_y} \right) = 1 - \alpha \quad (1.9)$$

Sendo Z uma variável normal, padronizada, e o termo da equação (1.8)  $\left( \frac{\ln X_s - \mu_y}{\sigma_y} \right)$  corresponde ao valor padrão normal, variado, e será nomeado aqui de  $(Z_{1-\alpha})$ , de tal modo que:

$$P(Z \leq Z_{1-\alpha}) = 1 - \alpha \quad (1.10)$$

O objetivo foi desenvolver uma expressão para o CDC (coeficiente de confiabilidade) para a computação do valor médio, a fim de que o processo garanta uma confiabilidade  $(1-\alpha)$  dados um conhecido padrão  $X_s$  e um conhecido coeficiente de variação,

$$\left( CV = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \right) \quad (1.11)$$

A média e a variância da função log-normal (equações 1.5 e 1.6) foram rearranjadas, sendo obtidas as equações 1.12 e 1.13:

$$\mu_y = \ln(\mu_x) - \frac{1}{2} \sigma^2_y \quad (1.12)$$

$$\sigma^2_y = \ln \left( 1 + \frac{\sigma^2_x}{\mu^2_x} \right) = \ln(1 + CV^2_x) \quad (1.13)$$

Desta forma, substituindo-se as equações (1.12) e (1.13) na equação 1.8, chegou-se às equações 1.14 e 1.15:

$$Z_{1-\alpha} = \ln X_s - \left[ \ln \mu_x - \frac{1}{2} \ln(1 + CV^2_x) \right] * \frac{1}{\sqrt{\ln(V_x + 1)}} \Rightarrow \quad (1.14)$$

$$Z_{1-\alpha} = \left[ \frac{-\ln \left( \left( \frac{\mu_x}{X_s} \right) * \left( \frac{1}{\sqrt{V_x + 1}} \right) \right)}{\sqrt{\ln(V_x + 1)}} \right] \quad (1.15)$$

A equação 1.15 tem por finalidade calcular o número de desvios-padrão relacionados ao saneamento da ocorrência de falhas operacionais, que consta ser dado de entrada na Tabela de Distribuição Normal Padrão, para quantificar a confiabilidade das estações estudadas no presente trabalho. Em função do número de desvios-padrão  $(Z_{1-\alpha})$  com base na equação 1.15, pode ser calculado o coeficiente de confiabilidade (CDC) pela equação 1.16:

$$(CDC) = (Vx^2 + 1)^{1/2} \cdot e^{(-Z_{1-\alpha} \cdot (\ln(Vx^2 + 1))^{1/2})} \quad (1.16)$$

em que,  $\bar{x}$  - média da concentração do constituinte,  $X_s$  - concentração padrão requerida,  $V_x$  - Coeficiente de Variação (CV),  $Z_{1-\alpha}$  - número de desvios - padrão.

O coeficiente de confiabilidade relaciona  $\mu_x$ , ao padrão  $X_s$  para um nível de confiabilidade de  $1 - \alpha$ , fundamentado nas propriedades originais e não dos logaritmos dos dados, que são os valores das concentrações efluentes.

Foi tomada a concentração de projeto de um efluente, que permite garantir confiabilidade durante uma determinada fração temporal, que é dada em função do produto do valor padrão pelo CDC, segundo a equação 1.17:

$$CP = X_{sx}(CDC) \quad (1.17)$$

### CP: Concentração de Projeto

Com base no  $X_s$ , estabelecido pela legislação para ETEs em operação, e com a variação das concentrações efluentes alterando a sua atuação, teremos uma nova concentração.

$$CO = (X_s) / CDC \quad (1.18)$$

### CO: Concentração de Operação

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos junto à Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará, após análises laboratoriais e visitas técnicas, entre janeiro e dezembro de 2011. As análises laboratoriais seguiram os métodos preconizados no Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). Para a obtenção das concentrações paramétricas, foram relacionados os experimentos: DQO (Colorimétrico), DBO (Frasco Padrão), SST (Gravimétrico). Foram consideradas nove ETEs em operação na cidade de Fortaleza. Tais dados foram obtidos e coletados segundo uma frequência de coletas simples e mensais para todas as estações. De modo geral, para todos os processos (09 ETEs), foram tomadas as médias aritméticas das concentrações afluentes e efluentes para DBO, DQO e SST, sendo constituídos de cada parâmetro, por 24 dados (12 meses do ano 2011) totalizando 648 valores para a composição tanto das análises de eficiência operacional como para os testes de confiabilidade e estabilidade.

Os valores de concentração dos efluentes, considerados meta, foram obtidos segundo a Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005) e a Portaria 154 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará (2002) sendo para a DQO (200mg/L); para a DBO (60mg/L); e para a SST (150mg/L). A metodologia foi baseada em dois procedimentos: o primeiro sem probabilidade preconizada, sendo calculada a confiabilidade em função da média anual, do desvio-padrão, do coeficiente de variação e do  $Z_{1-\alpha}$ , que é quantificado

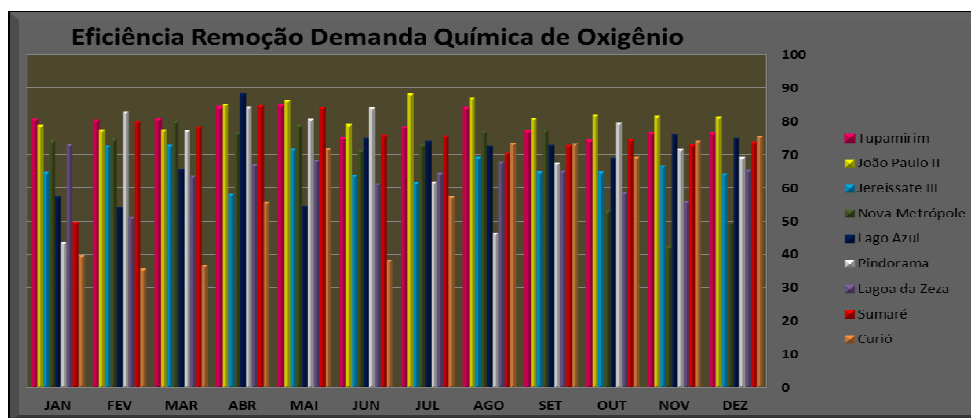
e inserido na Tabela da Distribuição Normal Padrão, para a obtenção da confiabilidade. Já no segundo método, a probabilidade é estabelecida para a quantificação tanto das concentrações de projeto quanto das concentrações de operação. Estas concentrações dependem das metas legais e do CDC, que é calculado em função da média anual, do desvio-padrão, do coeficiente de variação e do  $Z_{1-\alpha}$  (90%), que é dado de entrada para a obtenção da confiabilidade, pela Tabela da Distribuição Normal Padrão. As verificações das eficiências foram calculadas por meio das médias de remoção dos parâmetros avaliados e dos preconizados para cada tipologia de tratamento, obtidos segundo Von Sperling (1996) que foram comparadas com os valores médios, obtidos neste trabalho. Estas referências foram empregadas na presente pesquisa, dentre elas: Reator UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (DQO – 55 a 70%, DBO – 60 a 75%, SST – 65 a 80%), Decanto-Digestor (DQO – 70 a 80%, DBO – 80 a 85%, SST – 80 a 90%) e as Lagoas de Estabilização (DQO – 65 a 80%, DBO – 75 a 85%, SST – 70 a 80%).

## **4 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análise de Eficiência Operacional das Estações de Tratamento de Esgotos – 2011**

Em termos comparativos (figuras 1, 2 e 3) entre as eficiências observadas nas ETEs e os valores esperados para cada tecnologia, de acordo com os resultados literários, pode ser entendido que, independentemente do atendimento ou não à legislação do CONAMA (2005) e da SEMACE (2002) 22,3% das ETEs se mostraram enquadradas na faixa de valores esperados para a eficiência mínima de remoção de DBO. Para as eficiências de remoção de DQO e SST, foi constatado que 88,9% e 22,2% das ETEs atenderam às expectativas, respectivamente. Logo, em função do excesso de concentração afluente, muitas vezes são superadas às demandas expectativas dos projetos das ETEs. Assim, mesmo a ETE operando com eficiência, provavelmente não atenderá às exigências legais, pois mesmo a remoção sendo elevada, as concentrações efluentes irão permanecer em patamares superiores aos padrões determinados. As modalidades mais bem adequadas à remoção dos parâmetros operacionais foram os sistemas de lagoas de estabilização, com eficiências operacionais, médias, anuais de 79,95%, 82,36% e 64,58%, respectivamente, para DBO, DQO e SST. Em seguida, o sistema UASB apresentou desempenhos de 76,71%, 71%, 74,95%, para os mesmos parâmetros. A ETE Tupamirim teve boa atuação, com eficiências de 66,98%, 79,63% e 71,97%, para DBO, DQO e SST, respectivamente. De acordo com a figura 1, verificou-se que os melhores desempenhos e maiores estabilidades de eficiência foram relativas às ETEs João Paulo II, Tupamirim e Pindorama, respectivamente, para a remoção da Demanda Química de Oxigênio.

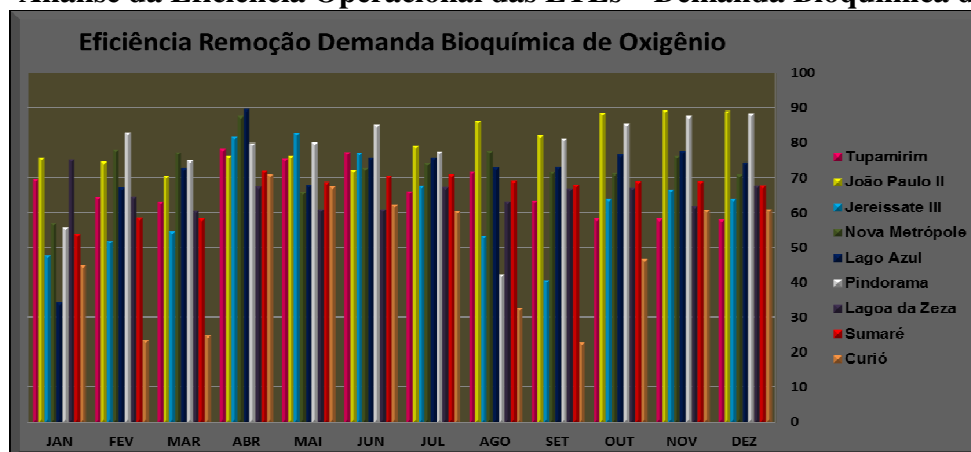
**Figura 1 – Análise da Eficiência Operacional das ETEs – Demanda Química de Oxigênio**



Fonte: Próprio autor

Com relação ao sistema UASB, os resultados foram satisfatórios, ou seja, o tratamento biológico executado pelos microorganismos nos reatores anaeróbios de fluxo ascendente foi eficiente. Certamente, durante o período de monitoramento, não ocorrem a presença de caminhos preferenciais, de curtos-circuitos no interior dos reatores, ou mesmo de quedas bruscas de pH no sistema, que poderiam afetar o desenvolvimento dos micro-organismos, alterando tanto a sua capacidade de reprodução como reduzindo a sua atuação na remoção da matéria orgânica. Tais efeitos são as principais causas da perda de eficiência operacional dos reatores UASB. Já para o sistema de lagoas de estabilização, a boa atuação pode estar ligada à estabilidade climática, cearense, onde, na maior parte do ano, predomina a boa radiação solar. Tal característica favorece o desempenho deste sistema, melhorando o desempenho dos microorganismos, a atuação da radiação solar na eliminação dos microorganismos patogênicos e a ocorrência de condições aeróbias. Já para a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (figura 2) os melhores desempenhos foram inerentes às ETEs João Paulo II, Pindorama e Tupamirim, respectivamente.

**Figura 2 – Análise da Eficiência Operacional das ETEs – Demanda Bioquímica de Oxigênio**

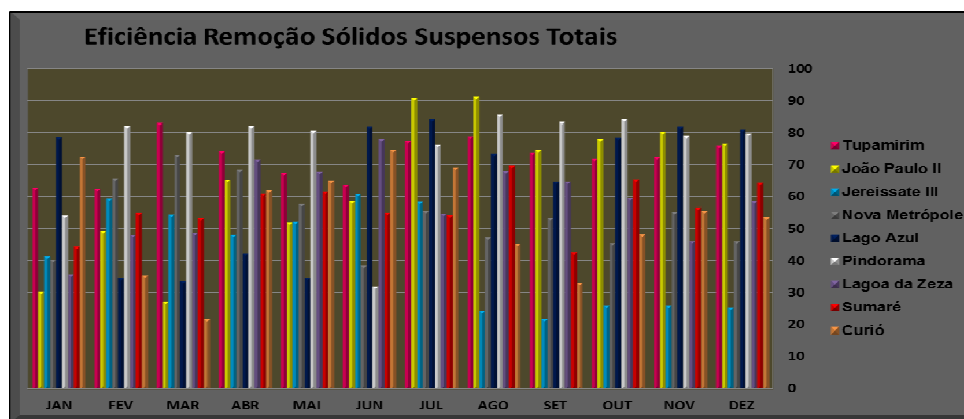


Fonte: Próprio autor

Em relação à remoção dos Sólidos Suspensos Totais (figura 3), as melhores atuações foram relativas às ETEs Pindorama e Tupamirim.



**Figura 3 – Análise da Eficiência Operacional das ETEs – Sólidos Suspensos Totais**



Fonte: Próprio autor

#### 4.2 Análise de Confiabilidade Estações 2011 – Procedimento 01

Nas tabelas 1, 2 e 3, foram expostos os resultados das investigações de atendimento aos padrões de lançamento exigidos. Inicialmente, foi executado um diagnóstico quanto ao atendimento ao padrão de emissão das ETEs, considerando-se as médias aritméticas das concentrações efluentes e as eficiências de remoção. O atendimento à legislação pressupõe o enquadramento das ETEs às normas do CONAMA e da SEMACE, obedecendo simultaneamente aos padrões impostos para DBO, DQO e SST.

Conforme investigações executadas, as concepções que obtiveram as melhores atuações, quanto à frequência de atendimento parcial aos padrões deliberados, foram os sistemas de lagoas de estabilização e o sistema UASB, respectivamente. De acordo com as tabelas 1, 2 e 3, em relação à DQO, apenas 22,3% das ETE's atenderam à legislação, no caso as ETEs João Paulo II e Tupamirim. Para a DBO, 100% das ETEs não atenderam às exigências legais. Já para SST, 88,9% das ETEs se enquadraram, com exceção das ETEs Lagoa da Zeza e Curió. Tais resultados mostraram a dificuldade das ETEs para operarem de acordo com a legislação, durante todo o tempo de operação, sendo os parâmetros DQO e DBO os mais difíceis de ser atendidos de acordo com o verificado. Assim, como a exigência de atendimento ao constituinte DBO é mais restritiva (60mg/L), a maioria das ETEs tenderá a desobedecer aos padrões legais.

Nas investigações iniciais, não foi tomada a variabilidade das concentrações efluentes; logo, deve-se adicionar uma verificação de confiabilidade às investigações deste tipo. A confiabilidade de uma concepção pode ser definida como a probabilidade de atuação adequada, por uma fração temporal determinada, e com peculiaridades impostas.

Segundo a análise dos valores de desvio-padrão, nenhuma das estações de tratamento pode ser considerada estável. Com base na análise do desvio-padrão realizado por Niku (1982), apenas a ETE Tupamirim se aproximou da condição de estabilidade, quanto ao parâmetro SST (Tabela 01) onde o desvio- padrão constatado foi igual a 15,16 mg/L, superior ao exigido em apenas 5,16mg/L, que é de 10,0mg/L. A condição de estabilidade está diretamente relacionada com o

desvio-padrão, ou seja, quanto maior o desvio-padrão menor será a possibilidade de a estação ser estável. O grau de estabilidade de uma estação pode ser determinado com o objetivo de estabelecer uma faixa a ser observada tanto para análises pontuais (mensal) como para investigações conjuntas (bimestral, semestral, anual). Ele visa a estimar o quanto as concentrações afluentes e efluentes poderão variar com relação aos valores previstos. Caso uma destas concentrações mensais esteja em condições atípicas, existe a possibilidade de se planejar como enquadrar a estação dentro do exigido, já que não só importam os valores pontuais ou mensais, mas também o período (anual) em que a ETE opera dentro do limite preconizado para cada sistema de tratamento.

**Tabela 1 – Análise de Confiabilidade Procedimento 01 (2011)**

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Tupamirim			João Paulo II			Jereissati III		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa		
Vazão média atual (l/s)	11.98			12.6			6.94		
População atendida	10673			5470			6670		
Vazão de projeto (l/s)	-			12.35			15.26		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	402.75	877.62	220.5	490.92	985.42	218.43	448.83	1031.33	231.83
Eficiência de remoção (%)	66.98	79.63	71.97	79.95	82.36	64.58	62.69	66.55	41.52
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	75	65	70	75	65	70
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	134.44	180.85	61.42	94.38	174.02	63.92	175.61	347.53	138.08
Desvio padrão (mg/l)	39.69	51.82	15.16	25.88	46.99	27.31	103.22	86.38	47.77
Coefficiente de variação (CV)	0.3	0.29	0.25	0.27	0.27	0.43	0.59	0.25	0.35
Valor Z 1- $\alpha$ (CEARÁ)	-1.319	0.4518	2.1264	-0.682	0.5284	1.7253	-1.237	-0.933	0.4251
Confiabilidade no Ceará	9.68%	67.36%	98.34%	24.83%	69.85%	95.73%	11.51%	17.62%	66.28%

Fonte: Próprio autor

A confiabilidade obtida se mostrou instável com as características operacionais de algumas ETEs, em função das metas deliberadas e da variabilidade amostral. As ETEs João Paulo II, Tupamirim e Pindorama apresentaram bom desempenho para DBO, DQO e SST (tabelas 1,2 e 3) com base nos patamares literários, (VON SPERLING, 1996). Para a remoção de SST, as ETEs, Tupamirim e João Paulo II, obtiveram confiabilidade entre 95,7% e 98,3%. Já para DBO, a melhor atuação foi a da ETE João Paulo II, 24,8%. Para a DQO, foi mais confiável a ETE João Paulo II, com 69,8%, enquanto as demais atingiram confiabilidade menor, desde 3,4% até 67,4%. As investigações de confiabilidade neste trabalho tomaram como nível de confiança 90%, ou seja,

estimou-se que 10% dos resultados obtidos para DBO, DQO e SST, ultrapassariam as metas legais (tabelas 1,2 e 3). Tal estimativa é considerada rigorosa, logo, se fosse menor, teríamos mais estações com melhor confiabilidade. A ETE Nova Metrópole apresentou eficiência adequada para remoção de DBO, 73,4%. No entanto, mostrou uma confiabilidade, neste  tem, de apenas 5,48%, (Tabela 1). Com isto, pode ser entendido que mesmo com elevada eficiência e boa atuação da ETE, a confiabilidade foi baixa (5,48%) devido às elevadas cargas afluentes de DBO (631,88mg/L). Mesmo assim, tal carga pode ser alterada para níveis normais, durante uma determinada fração de tempo, mas não em sua integralidade, justificando assim, a baixa confiabilidade, para um nível de confiança de 90% de exigência.

Daí se conclui que, quantificar a confiabilidade significa elevar a precisão da preconização de valores de concentrações efluentes, para melhorar o desempenho operacional, atender à economicidade na atuação das ETEs e garantir a segurança dos corpos hídricos.

**Tabela 2 – Análise de Confiabilidade Procedimento 01 (2011)**

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Nova Metrópole			Lago A zul			Pindorama		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Vazão média atual (l/s)	45.96			1.84			19.85		
População atendida	17976			2000			7491		
Vazão de projeto (l/s)	32.43			3.04			-		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	631.88	1240.83	311.96	646.58	992.67	329.42	607.08	1143.65	481.04
Eficiência de remoção (%)	73.36	69.19	53.91	71.51	69.81	64.14	76.71	71	74.95
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	60	55	65	60	55	65
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	168.36	371.28	149.33	168.33	286.53	88	154.58	365.18	118.5
Desvio padrão (mg/l)	56.71	142.9	61.6	45.76	89.6	37.84	140.7	276.89	29.12
Coefficiente de variação (CV)	0.34	0.38	0.41	0.27	0.31	0.43	0.91	0.76	0.29
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-1.637	-0.806	0.3007	-1.866	-0.432	1.1907	-0.774	-0.426	1.0517
Confiabilidade no Ceará	5.48%	20.90%	62.17%	3.07%	33.36%	88.30%	21.77%	33.72%	85.31%

Fonte: Próprio autor

A ETE Lagoa da Zeza apresentou eficiência próxima ao exigido para a remoção de DBO, 65,5%; no entanto mostrou não ser confiável - NC (Tabela 3). Logo, destaca-se que, mesmo com uma eficiência adequada e bom desempenho de tal ETE, não foi atingida uma confiabilidade

(NC) devido às elevadas concentrações de DBO afluente (745,58mg/L) influenciando no cálculo da confiabilidade. Se fosse adotado um nível de confiança inferior a 90%, como exemplo 80%, em que 20% não atendessem ao exigido pela legislação, certamente, a ETE Lagoa da Zeza, teria um nível de confiabilidade atingido; porém, neste estudo, foi adotado alto rigor de confiança, a fim de incentivar maior controle operacional e ambiental das emissões efluentes nos corpos hídricos, bem como garantir bons resultados durante a maior parte do tempo de operação.

A ETE Pindorama (tabela 2) além de apresentar eficiência adequada para a remoção de SST, de 74,95%, também mostrou uma excelente confiabilidade de 85,31%, ou seja, em apenas 14,69% do tempo, esta estação não atendeu às normas para o constituinte SST. Tal resultado foi devido à ocorrência de um bom cenário, em que a concentração afluente foi compatível com a preconizada, e a ETE operou com eficiência adequada à literatura, a concentração efluente esteve abaixo do exigido e o coeficiente de variação se apresentou acentuadamente baixo, de 0,29. Estas condições refletem a geração de informações úteis não só ao projeto de novas ETEs, mas também ao planejamento de futuras ampliações, para um condicionamento otimizado.

**Tabela 3 – Análise de Confiabilidade Procedimento 01 (2011)**

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Lagoa da Zeza			Sumaré			Curió		
Processo de Tratamento	Sistema 03 Lagoas de Estabilização em Série			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração			REATOR UASB + cloração		
Vazão média atual (l/s)	5.75			1.96			3.05		
População atendida	2300			420			7560		
Vazão de projeto (l/s)	-			0.66			-		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	745.58	1560.38	465.02	673.33	1407.35	247.33	689.5	1448.31	311.83
Eficiência de remoção (%)	65.46	63.72	58.47	66.46	74.69	56.96	48.35	58.69	53.02
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	80	70	80	60	55	65
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	257.25	572.63	196.13	224.92	355.66	109.46	341.58	553.9	152.13
Desvio padrão (mg/l)	53.42	166.84	89.8	40.52	142.44	49.29	153.25	210.33	87.08
Coeficiente de variação (CV)	0.21	0.29	0.46	0.18	0.4	0.45	0.42	0.38	0.57
Valor Z <sub>1-α</sub> (CEARÁ)	-3.116	-1.832	-0.128	-3.045	-0.702	0.8217	-2.85	-1.511	0.3148
Confiabilidade no Ceará	NC	3.36%	44.83%	0.13%	24.20%	79.39%	0.22%	6.55%	61.79%

Fonte: Próprio autor

### 4.3 Análise de Confiabilidade Estações 2011 – Procedimento 02

De acordo com as investigações executadas, foi entendido que a ETE Sumaré apresentou o coeficiente de variação menor, para a remoção de DQO, 0,18 (tabela 6) e, em termos gerais, mostrou um CV operacional, estável, para remoção de DBO e SST, 0,4 e 0,45 (tabela 6) respectivamente, enquanto as outras ETEs apresentaram coeficientes de variação entre 0,21 e 0,91; o último valor representa grande variabilidade de resultados. Porém, para a remoção de DBO, a ETE Sumaré apresentou o maior índice de confiabilidade, 0,8084 (tabela 6). Este entendimento reforça a baixa variabilidade dos resultados obtidos pela ETE em causa, na qual, a concentração de projeto se aproxima da concentração de operação, refletindo uma situação ideal de funcionamento. Seria necessário efetuar uma melhoria no monitoramento desta estação, para quantificar melhor a carga afluente, a fim de garantir melhor confiabilidade que, para a DBO foi de apenas 13% (tabela 3). Observou-se que nenhuma ETE agregou um aumento da concentração de projeto para os parâmetros DQO, DBO e SST, pois as mesmas foram inferiores às concentrações de operação. Com isto, verificou-se que, para os parâmetros DBO, DQO, e SST, a comparação entre concentrações de projeto e concentrações de operação, pode ser entendida pela relação entre o coeficiente de confiabilidade e o coeficiente de variação, ou seja, quanto maior a variação, menor será a confiabilidade. Como a maioria dos níveis de confiança tomados foi elevada, grande parte dos valores de CDC foi baixa, devido à condição de maior rigor no controle operacional. Então, em todas as ETEs as concentrações de operação têm sido maiores que as concentrações de projeto. Segundo as concentrações de operação obtidas para uma confiabilidade de 90% (Tabelas 4,5 e 6) foi constatada uma tendência de aumento dos valores-limites de qualidade. Isto traduz a grande variabilidade dos dados das estações avaliadas.

**Tabela 4 – Análise de Confiabilidade Procedimento 2 (2011)**

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	Tupamirim			João Paulo II			Jereissati III		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa		
Vazão média atual (l/s)	11.98			12.6			6.94		
População atendida	10673			5470			6670		
Vazão de projeto (l/s)	-			12.35			15.26		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	402.75	877.62	220.5	490.92	985.42	218.43	448.83	1031.33	231.83
Eficiência de remoção (%)	66.98	79.63	71.97	79.95	82.36	64.58	62.69	66.55	41.52
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	75	65	70	75	65	70
Meta Concentração No Ceará (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração na U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	134.44	180.85	61.42	94.38	174.02	63.92	175.61	347.53	138.08
Desvio padrão (mg/l)	39.69	51.82	15.16	25.88	46.99	27.31	103.22	86.38	47.77
Coeficiente de variação (CV)	0.3	0.29	0.25	0.27	0.27	0.43	0.59	0.25	0.35
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Z	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28
CDC	0.717	0.7237	0.7521	0.7375	0.7376	0.6424	0.5768	0.7521	0.6856
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	43.02	144.74	112.81	44.25	147.52	96.37	34.6	150.42	102.85
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	83.68	276.35	199.43	81.34	271.15	233.46	104.01	265.91	211.76

Fonte: Próprio autor

Conforme a tabela 4, todas as concentrações de operação são superiores às concentrações de projeto devido à obtenção de valores de CDC, inferiores a 1. Quanto mais o CDC se aproximar de 1, mais próximas serão as concentrações de projeto e operação, com relação à concentração exigida, e melhor será a situação operacional da ETE. No caso da ETE Jereissati (tabela 2) a máxima concentração de projeto calculada foi de 102,85mg/L e a de operação foi de 211,76mg/L; logo, para que somente 10% dos dados ultrapassassem o exigido, seria necessário a ETE operar com 211,76mg/L, considerando um coeficiente de variação 0,35, uma eficiência operacional de 41,52% (baixa) e uma concentração efluente de 138,08mg/L para SST, sendo que o padrão exigido foi de 150mg/L. Como exemplo de interpretação da tabela 5 pode ser tomada a ETE Lago Azul, que obteve um CDC = 0,7104 para a DQO e que teria de ter sido projetada para uma concentração efluente média de 142,09 mg/L, para garantir que 90% dos resultados alcançassem a meta de 200 mg/L, ou seja, a operação da ETE deverá conduzir ao valor médio de 142,09 mg/L de

DQO no efluente para que, com a variabilidade inerente àquela estação, 90% dos dados estejam abaixo de 200 mg/L.

**Tabela 5 – Análise de Confiabilidade Procedimento 2 (2011)**

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Nova Metrópole			Lago A zul			Pindorama		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Vazão média atual (l/s)	45.96			1.84			19.85		
População atendida	17976			2000			7491		
Vazão de projeto (l/s)	32.43			3.04			-		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	631.88	1240.83	311.96	646.58	992.67	329.42	607.08	1143.65	481.04
Eficiência de remoção (%)	73.36	69.19	53.91	71.51	69.81	64.14	76.71	71	74.95
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	60	55	65	60	55	65
Meta Concentração No Ceará (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração na U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	168.36	371.28	149.33	168.33	286.53	88	154.58	365.18	118.5
Desvio padrão (mg/l)	56.71	142.9	61.6	45.76	89.6	37.84	140.7	276.89	29.12
Coeficiente de variação (CV)	0.34	0.38	0.41	0.27	0.31	0.43	0.91	0.76	0.29
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Z	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28	-1.28
CDC	0.6916	0.6685	0.6525	0.7376	0.7104	0.6424	0.5002	0.5292	0.7237
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	41.5	133.7	97.88	44.25	142.09	96.37	30.01	105.84	108.55
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	86.74	299.15	229.86	81.34	281.51	233.46	110.92	377.9	207.26

Fonte: Próprio autor

A ETE Lagoa da Zeza (tabela 6) apresentou um coeficiente de confiabilidade de 0,7832, para DBO. Os valores das concentrações de projeto e operação foram 46,99 mg/L e 76mg/L, respectivamente. Tal resultado indica uma aproximação do valor do CDC a “um”. Então, significa que os valores das concentrações de projeto e operação são próximos, refletindo assim, uma situação de operação ideal. Já para a ETE Curió (tabela 6) o coeficiente de confiabilidade foi de 0,6474, para DBO. Os valores das concentrações de projeto e operação foram, 38,84 mg/L e 92,67mg/L, respectivamente. Estas obtenções indicam um distanciamento do CDC a “um”; logo,

possibilitam uma tendência de diferenciação entre os resultados das concentrações de projeto e operação, mostrando com isto, uma situação indesejável.

**Tabela 6 – Análise de Confiabilidade Procedimento 2 (2011)**

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Lagoa da Zeza			Sumaré			Curio		
Processo de Tratamento	Sistema 03 Lagoas de Estabilização em Série			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração			REATOR UASB + cloração		
Vazão média atual (l/s)	5,75			1,96			3,05		
População atendida	2300			420			7560		
Vazão de projeto (l/s)	-			0,66			-		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	745,58	1560,38	465,02	673,33	1407,35	247,33	689,5	1448,31	311,83
Eficiência de remoção (%)	65,46	63,72	58,47	66,46	74,69	56,96	48,35	58,69	53,02
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	80	70	80	60	55	65
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	257,25	572,63	196,13	224,92	355,66	109,46	341,58	553,9	152,13
Desvio padrão (mg/l)	53,42	166,84	89,8	40,52	142,44	49,29	153,25	210,33	87,08
Coefficiente de variação (CV)	0,21	0,29	0,46	0,18	0,4	0,45	0,42	0,38	0,57
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Z	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28
CDC	0,7832	0,7237	0,6282	0,8084	0,6577	0,6329	0,6474	0,6685	0,5837
CONCENTRAÇÃO DE PROJETO	46,99	144,74	94,23	48,5	131,55	94,93	38,84	133,7	87,56
CONCENTRAÇÃO DE OPERAÇÃO	76	276,35	238,75	74,21	304,6	237	92,67	299,15	256,95

Fonte: Próprio autor

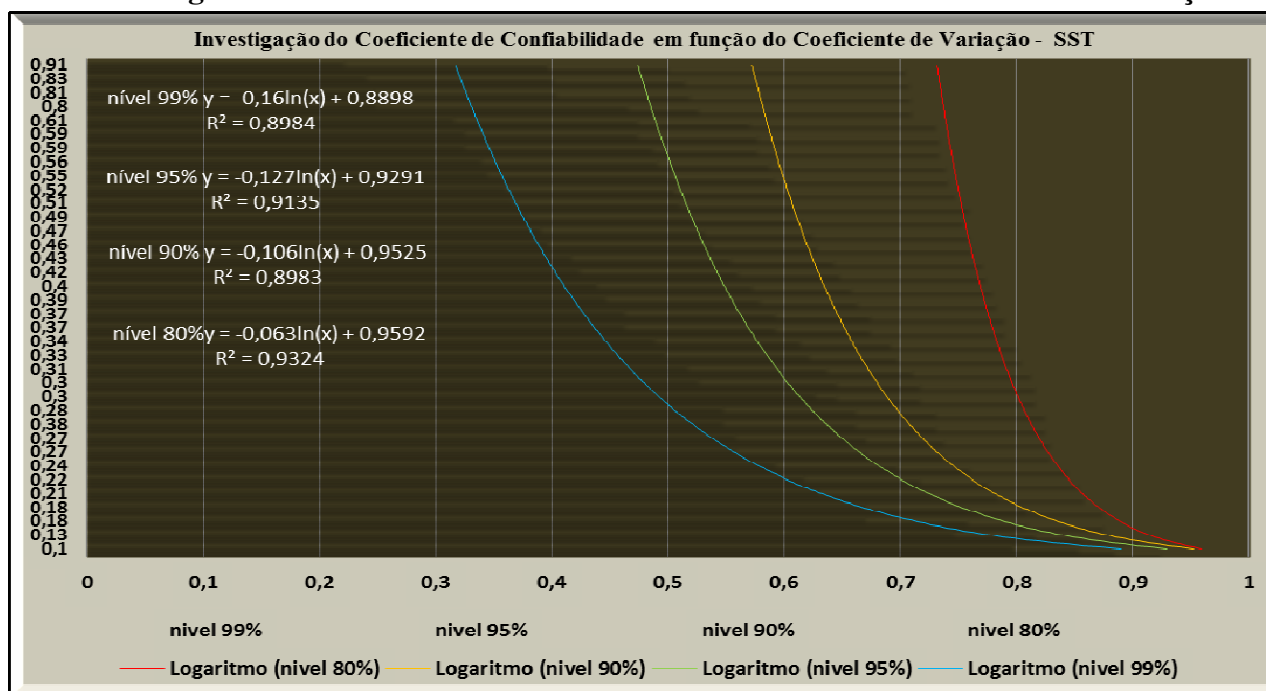
#### 4.4 Análise do Coeficiente de Confiabilidade em função do Coeficiente de Variação considerando diferentes Níveis de Confiabilidade – Sólidos Suspensos Totais

Em função dos dados obtidos (figura4) foi entendido que o comportamento das curvas se altera, à medida que se elevam os graus de confiabilidade desejados. Cabe enfatizar que para um mesmo nível de confiança, quanto menores forem os coeficientes de variação, mais elevados serão os valores de CDC. Para um nível de confiança de 90% (figura 4) foi obtido um CDC igual a 0,86, segundo um coeficiente de variação de 0,57. Logo, seria necessário que uma ETE operasse com um coeficiente de variação médio de 0,57, no máximo (figura 4) para atender ao referido coeficiente de confiabilidade. Já para uma confiabilidade de 80%, seria necessário um coeficiente de variação de 0,73, para a obtenção de um CDC de 0,86 (figura 4). Tomando como exemplo, para um CV de 0,80, o maior valor do CDC seria de 0,13 (figura 4) para um nível de confiança de 99%. Se o nível de confiança fosse de 80%, então o coeficiente de confiabilidade seria de 0,30, reforçando assim a



ideia da diferença no rigor de controle operacional entre os níveis de confiabilidade. Outra constatação foi que, para um mesmo coeficiente de variação, quanto maior for o nível de confiança, menores serão os valores de CDC e mais rigoroso será o controle operacional. Como o maior nível foi de 99%, então apenas 1% das concentrações excederiam a concentração exigida por lei. Já para um nível de confiabilidade de 80%, os valores de CDC seriam mais altos, pois cerca de 20% das concentrações excederiam as concentrações padrões exigidas. Com isso, para um nível de 80%, o controle operacional tornaria-se menos rigoroso, já que permitiria que 20% dos resultados superassem os patamares deliberados.

**Figura 4 – Análise do Coeficiente de Confiabilidade X Coeficiente de Variação**



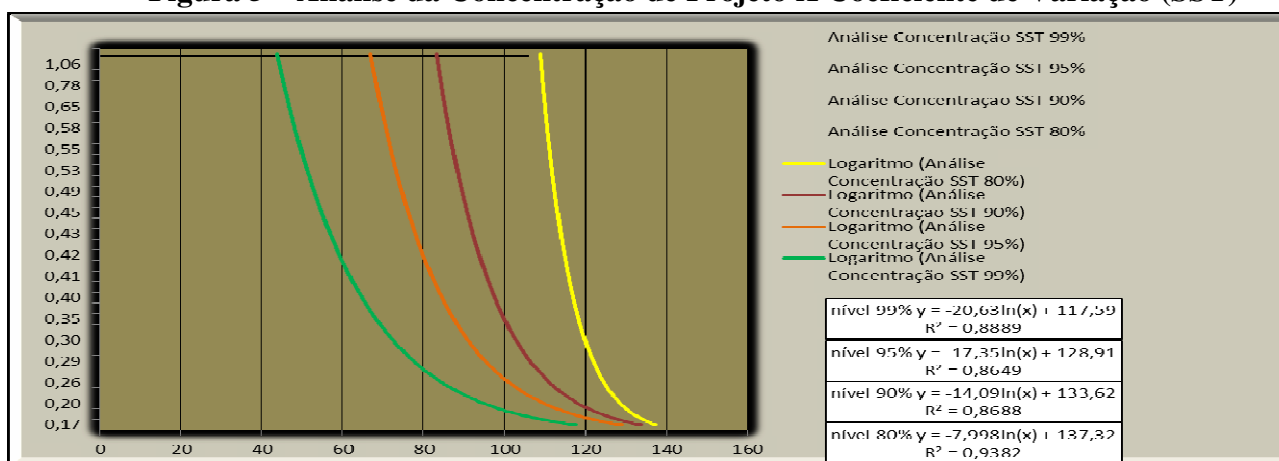
Fonte: Próprio autor

#### 4.5 Análises das Concentrações de Projeto – Sólidos Suspensos Totais em função do Coeficiente de Variação considerando diferentes Níveis de Confiabilidade em 2011

Foram efetuadas as análises de concentração média de projeto e operação, que seriam necessárias ao atendimento padrão de 150mg/L de Sólidos Suspensos Totais (SST) em faixa real de coeficiente de variação, observado para todas as tecnologias. Foi notado que as concentrações de projeto são inversamente proporcionais aos valores dos coeficientes de variação apresentados pelas ETEs, bem como dos coeficientes de confiabilidade; no entanto, em virtude de os dados seguirem uma distribuição lognormal, este comportamento é diferente para menores confiabilidades, como pode ser visto segundo as figuras 5 e 6, onde as linhas de tendência diminuem sua inclinação ao eixo y. Foi constatado também que a curva de 80%, a partir de um CV de 0,30 (figura 5) apresentou as concentrações se elevando com maior expressão com relação à redução dos coeficientes de variação.

Ainda em observação aos gráficos, foram tomados como exemplo os CVs iguais a 0,17 e 1,06 (figura 5). Para garantir que 95% dos resultados correspondessem ao padrão de lançamento de 150 mg/L, para SST, seria necessário projetar uma ETE, cuja concentração efluente média fosse 130 mg/L (figura 5), caso ela apresentasse um CV médio de 0,17; no entanto, caso o CV fosse de 1,06 (com maiores desvios-padrão) esta seria menor, chegando ao valor de 68 mg/L; logo, foi entendido que para um mesmo nível de confiança, à medida que o coeficiente de variação diminui, devem ser tomadas concentrações de projetos maiores, a fim de se obedecer a um determinado coeficiente de variação, ou seja, ao alçar concentrações maiores, a probabilidade de superação a este valor quanto ao atendimento normativo, será menor, pois os valores de CV serão menores. Já quando se tomam valores de concentrações menores, a tendência é que a variação aumente.

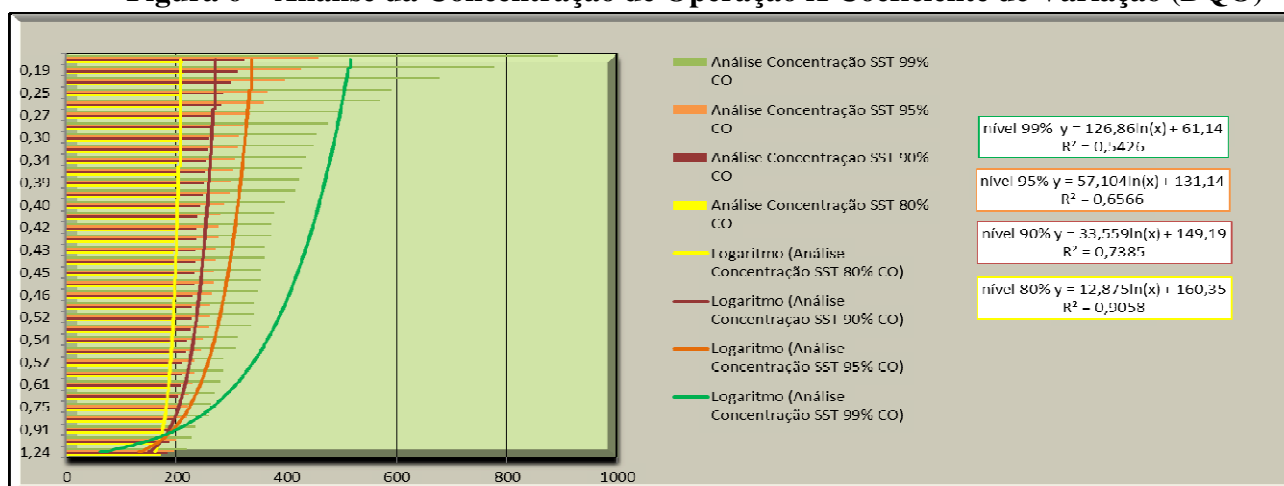
**Figura 5 – Análise da Concentração de Projeto X Coeficiente de Variação (SST)**



Fonte: Próprio autor

De acordo com a Figura 6, referente à análise da concentração de operação das ETEs, foi constatado que, quanto maior for o nível de confiança, maior será a diferença entre as concentrações de projeto e concentrações de operação. As concentrações de operação, quando o CDC (coeficiente de confiabilidade) for inferior a um, normalmente são superiores às concentrações de projeto e vice-versa. Isto ocorre porque a determinação das concentrações depende do valor estipulado pela fiscalização, que varia entre os estados brasileiros, e os valores de CDC. Como a concentração de projeto é proporcional ao CDC e o valor determinado pela fiscalização, quanto maior forem o CDC e o patamar legal, maior será a estimativa da concentração de projeto. Com relação à concentração de operação, o CDC é inversamente proporcional. Outra verificação se dá, quando o coeficiente de confiabilidade tende a “um”; as concentrações de projeto e operação tendem a ser iguais, pois elas se aproximaram cada vez mais do valor que é deliberado pelos órgãos fiscalizadores.

**Figura 6 – Análise da Concentração de Operação X Coeficiente de Variação (DQO)**



Fonte: Próprio autor

A investigação aos padrões do CONAMA, segundo a Resolução 357 (2005) bem como aos limites fiscalizados pela SEMACE, de acordo com a Portaria 154 (2002) mostrou que a maioria das ETEs em operação, estudadas, atingiu desempenhos irregulares, considerando os padrões de eficiência de remoção literários (VON SPERLING, 1996) e níveis de confiança rigorosos (90%).

## 5 CONCLUSÃO

Em função dos resultados das análises do atendimento à legislação, foi constatado que, 22,2% das ETEs atenderam aos padrões legais para DQO, 100% para DBO não atenderam, e 88,9% se enquadraram ao parâmetro SST, segundo os padrões do CONAMA (2005) e os níveis adotados pela SEMACE (2002). Com relação à literatura, Von Sperling (1996), detiveram os melhores desempenhos os sistemas de lagoas de estabilização, com eficiências respectivas para DBO, DQO e SST de 79,9%, 82,3%, 64,6% e em seguida o sistema UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), com desempenhos de 76,7%, 71%, 75%, para os mesmos parâmetros.

Conforme as análises de variabilidade, para o componente DBO, obteve o melhor índice de confiabilidade a ETE Sumaré, com CDC de 0,8084. Para o item DQO, a ETE Jereissati apresentou um CDC de 0,7521. Já para SST, a ETE Tupamirim se destacou, com um CDC de 0,7521. Tais resultados estão alinhados aos valores dos respectivos coeficientes de variação; assim na análise de variabilidade, quanto maior o coeficiente de variação menor será o índice de confiabilidade. Este entendimento pode ser comprovado com os resultados dos cálculos dos índices de confiabilidade. Como exemplo, pode ser citada a ETE Sumaré, em que o coeficiente de variação obtido foi de 0,18, sendo o menor para a DBO. Com isto, a referida estação apresentou o melhor CDC (0,8084) para tal constituinte.

Os menores valores de CDC foram obtidos para o sistema UASB, que apresentou elevados valores de coeficientes de variação (CV) fato explicado pela elevada variação dos dados afluentes e efluentes. Assim, embora a ETE atue com boa eficiência, se as concentrações afluentes

forem elevadas e não previsíveis tal sistema poderá operar durante grande parte do tempo fora dos padrões permitidos.

Baixos valores de CV e, conseqüentemente, altos valores de CDC, não implicam bons desempenhos. As concentrações afluentes têm forte influência na atuação operacional; logo, podem evidenciar que o índice de confiabilidade apenas reflete uma condição mais estável de operação e permite uma proximidade entre as concentrações de projeto e operação, caracterizando um cenário favorável. Então, torna-se relevante estudar os coeficientes de variação, não só para garantir um melhor desempenho operacional, mas com a finalidade de poder quantificar as incertezas operacionais, a fim de prever alterações em determinada estação, para o atendimento legal aos padrões deliberados, bem como da garantia de que tal ETE opere o maior tempo possível enquadrada aos rigores e condições de segurança dos corpos hídricos com elevada restrição ambiental.

As menores concentrações médias de projeto necessárias ao alcance das diversas metas foram observadas para a ETE Pindorama, conseqüência dos menores valores de CDC. Tal resultado remete a um cenário desfavorável, pois, quando o índice de confiabilidade se aproxima de 0, as concentrações de projeto e operação tendem a ser diferentes e dispersas com relação aos padrões legais. Um exemplo é o da ETE Pindorama, onde para a DBO, o CDC obtido foi de 0,5002, e as concentrações de projeto e operação foram de 30,01mg/L e 110mg/L, respectivamente. Ou seja, com relação ao padrão legal adotado de 60mg/L para a DBO, seria necessário que esta estação operasse com uma concentração de projeto de 30,0mg/L e com uma concentração de operação de 110mg/L, no máximo, considerando a eficiência operacional existente na ETE, uma estabilidade de concentrações afluentes e efluentes (baixa variabilidade) e o padrão legal exigido.

Na análise da estabilidade, deve ser ressaltado que o comportamento mais estável foi inerente ao sistema de lagoas de estabilização, representado pela ETE Tupamirim, quando comparado com as outras estações, considerando o constituinte SST. Esta constatação pode estar relacionada ao baixo valor do coeficiente de variação de 0,25 para SST, bem como ao elevado índice de confiabilidade, de 0,7521.

Segundo as análises de confiabilidade, para o constituinte DBO, obteve a melhor confiabilidade operacional o sistema de lagoas de estabilização, representado pela ETE João Paulo II, de 24,83%, enquanto os demais sistemas operaram desde a condição de não confiabilidade até 21,77%; logo, admitindo um nível de confiança de 90%, em que somente se permite que 10% dos dados ultrapassem os padrões legais no período de um ano, o melhor cenário foi inerente às lagoas de estabilização, mesmo assim, 75,17% dos dados não se enquadraram às exigências legais, para a DBO. Claro que foi adotado um nível de confiança rigoroso. À medida que se diminui o rigor do controle operacional, as confiabilidades se elevam; porém é preponderante escolher uma situação

praticável ou que se possa alcançar, bem como que garanta a segurança ambiental dos corpos receptores.

Para o item DQO, mostrou melhor confiabilidade o sistema de lagoas de estabilização, representado pela ETE João Paulo II, com 69,85%, enquanto as demais estações operaram com confiabilidades entre 3,36% e 67,36%. Já para o componente SST, também o sistema de lagoas se destacou, só que representado agora pela ETE Tupamirim, com 98,34% de confiabilidade. As outras estações operaram com confiabilidades entre 44,83% e 95,73%. Tais resultados também podem estar relacionados com os parâmetros exigidos, já que para a DBO a restrição é maior (60mg/L) logo, é natural que para este constituinte a confiabilidade das ETEs seja menor.

Em termos usuais, o conceito da concentração preconizadal de determinado constituinte no efluente final, em projeto, é feita considerando valores médios. Uma estação planejada conforme este entendimento, levando-se em consideração que possua uma variabilidade baixa, irá atingir uma confiabilidade operacional, elevada, portanto, parte considerável de seu tempo de operação ela irá atingir à meta pré-estabelecida. Este aspecto toma maior relevância quando o corpo receptor possui elevada restrição ambiental.

A contribuição da pesquisa, sobre as análises de eficiência, estabilidade e confiabilidade está inserida na produção de informações que podem ser tomadas por projetistas e concessionárias operadoras de ETEs para a avaliação e preconização de atuações dos diversos sistemas estudados, considerando a qualidade efluente. Também poderá subsidiar as agências reguladoras para a elaboração de níveis padronizados de lançamento mais razoáveis, efetivos e tecnicamente alcançáveis, mas que garantam a segurança dos corpos hídricos.

## REFERÊNCIAS

- APHA – AWWA- WPCF. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 19th edition. Wasghington D.C. American Public Health Association. 953p 2005.
- BROADBENT, S. R. **Lognormal Approximation to Products and Quotients**. *Biometrika*, v. 43, n. 3/4, pp. 404-417-1956.
- CEARÁ. Governo do Estado. Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará. Portaria nº 154 de 7 de agosto de 2002. **Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos geradores de fontes poluidoras**.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes**.
- CROW, E. L. & SHIMIZU, K. **Lognormal distributions: theory and applications**. Series: **Statistics, textbooks and monographs**, v. 88. New York: Marcel Dekker, Inc., 1988, 387p.
- METCALF e EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. Metcalf & Eddy, Inc.-3rd edição, revisada por George Tchobanaglou e Frank Burton. McGraw-Hill. USA. 1991.
- NIKU, S., SCHROEDER, E.D., HAUGH, R.S. **Reliability and stability of trickling filter processes**. JOURNAL WPCF, Vol.54, No.2, pp.129-134. 1982.
- SINGH, A. **How reliable is the factor of safety in foundation engineering**. Statistics and probability in civil engineering. Proceedings of the first international conference on applications of statistics and probability to soil and structural engineering. Hong Kong, 390, 1971. apud NIKU, S., SCHROEDER, E.D.
- VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 243.