

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO POR MEIO
DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DE CONTROLE DE QUALIDADE**

FÁBIO ORSSATTO

Cascavel – Paraná – Brasil

2010

FÁBIO ORSSATTO

**MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO POR MEIO
DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DE CONTROLE DE QUALIDADE**

Dissertação apresentada à Pós- Graduação em
Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas.

Cascavel – Paraná – Brasil

2010

Orssatto, Fábio

O76 Monitoramento de uma estação de tratamento de esgoto por meio de técnicas estatísticas de controle de qualidade. / Fábio Orssatto. – Cascavel, 2010.
86 f.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas.
Dissertação(Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel.

1. Esgoto – Estação. 2. Esgoto - Tratamento. 3. Estatísticas - Técnicas. 4. Qualidade - Controle. I. Souza, Eduardo Godoy de. II. Título.

CDD – 628.3

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Unioeste (Sandra Regina Mendonça CRB – 9/1090)

FÁBIO ORSSATTO

**MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO POR MEIO DE
TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DE CONTROLE DE QUALIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola com área de concentração em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, aprovada pela seguinte banca examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel – PR

Prof. Dr. Miguel Angel Uribe Opazo
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel – PR

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Constanzi
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR – Londrina – PR

Cascavel, 24 de fevereiro de 2010

“Se você ouvisse
As vozes que ouço à noite
Acharia tudo que eu faço natural
Se você sentisse
O medo que eu sinto do escuro
Se você soubesse
O mal que o sol me faz
Não me pediria pra repetir
Revoltas banais das quais eu já me esqueci
Se você ouvisse
Às vozes que ouço à noite
Às vezes me assustam
Outras vezes me atraem
Se você sofresse
Tanto quanto eu sofro com a solidão
Se você soubesse
O quanto eu preciso da solidão
Não me pediria pra repetir
Frases banais das quais já me arrependi
Duas pessoas são duas verdades
E, na verdade, são dois mundos
A cada segundo, o pânico aumenta
E uma sombra arrebenta a porta dos fundos
Se você sofresse tanto quanto eu sofro com a solidão
E precisasse tanto quanto eu preciso da solidão
Não me pediria pra repetir
Gestos banais dos iguais aos que eu não fiz.”

(Humberto Gessinger)

Dedico

Aos meus pais, Lourdes Maria Zanella e Neuso Orssatto.

E a mim mesmo, pois eu sei de qual face a gota de suor escorreu.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, Lourdes Maria Zanella e Neuso Orssatto pelo incansável incentivo e dedicação.

Aos meus irmãos Ângelo José Orssatto e Rafael Orssatto pelo apoio em momentos indispensáveis.

A Marta Cecato Armando pelo carinho, compreensão e por dar um sentido a mais em minha vida.

Ao meu melhor amigo, Daniel Ricardo Reineher que, mesmo com a distancia, nunca deixou de ser um verdadeiro companheiro, sempre me escutando e trazendo palavras os quais colocam um sorriso no meu rosto.

Ao professor Dr. Marcio Antonio Vilas Boas, pela ajuda na formulação da idéia do trabalho, pela orientação, dedicação e paciência.

Ao Dr. Miguel Angel Uribe Opazo pelo ótimo professor que é, pela colaboração para a elaboração do presente trabalho e pela participação na presente banca.

Ao professor Dr. Ricardo Nagamine Constanzi pela colaboração na confecção do presente trabalho e pela participação na presente banca.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE em especial o programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de formação e crescimento profissional.

A CAPES pelo apoio financeiro em forma de bolsa.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, *Campus* Medianeira, pelo apoio durante a confecção do trabalho.

A Sanepar por conceder os dados utilizados no presente trabalho.

A todos os colegas que tive durante o curso, que tornaram as aulas mais agradáveis.

Aos professores do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelo apoio e dedicação.

E a todos que de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desse trabalho.

A todos o meu muito obrigado!

RESUMO

MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO POR MEIO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DE CONTROLE DE QUALIDADE

A escassez ou falta de água afeta mais que 40% da população mundial, por razões políticas, econômicas, e climáticas. Com isso, serviços de saneamento como a coleta e tratamento de esgoto, se tornam importantíssimos para a garantia da qualidade de vida de uma população. Sabe-se que, geralmente, não existe apenas uma variável responsável pela qualidade e variabilidade do efluente, que dependem de variações na carga afluente, das condições ambientais nos reatores, da natureza do esgoto a ser tratado, da presença de substâncias tóxicas, da variabilidade inerente aos processos de tratamento biológico e de falhas mecânicas e humanas no sistema. Todos esses fatores podem levar a problemas e instabilidade nos processos para isso, devem-se usar técnicas e meios que sejam eficazes na identificação das falhas dos processos de tratamento. Uma técnica para verificar se o tratamento do esgoto está sendo eficaz ou não são os métodos estatísticos do controle de qualidade. Dessa maneira, o presente trabalho buscou a utilização de métodos estatísticos do controle da qualidade na avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de esgoto, identificando falhas no processo e argumentando as possíveis causas. A estação de tratamento de esgoto em questão localiza-se no município de Cascavel, Paraná. Denominada como Ete Oeste a estação é constituída por um sistema de gradeamento por grades de barras com limpeza manual, desarenador gravitacional de fluxo tangencial com retirada de areia retida por *air-lift*, medidor de vazão calha parshall, tratamento biológico anaeróbio através de dois reatores de fluxo ascendente e manta de lodo em paralelo, tratamento complementar por processo físico-químico de coagulação, floculação e decantação laminar sendo usado o cloreto férrico como coagulante, calha parshall e desinfecção do efluente final por cloração. Os parâmetros avaliados foram o potencial hidrogeniônico, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias. A análise estatística se deu através das cartas individuais de Shewhart, gráficos de controle da média móvel exponencialmente ponderada e índices de capacidade de processo. Pelas cartas de medidas individuais de Shewhart observou-se que no esgoto bruto as variáveis sólidos suspensos totais, DQO e $DBO_{5,20}$ apresentaram-se fora de controle estatístico. No efluente do Ralf I as variáveis pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO apresentaram-se fora de controle estatístico. No efluente do Ralf II as variáveis sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, DQO e $DBO_{5,20}$ apresentaram-se fora de controle estatístico. No efluente tratado apenas a variável $DBO_{5,20}$ apresentou-se em controle estatístico. Os gráficos MMEP mostram que para o esgoto bruto todas as variáveis estão sob controle estatístico. Para o efluente do Ralf I, com exceção da $DBO_{5,20}$, todas as variáveis apresentaram-se fora de controle estatístico. Para o efluente do Ralf II apenas o pH demonstrou estar em controle estatístico e para o esgoto tratado apenas os sólidos sedimentáveis estão fora de controle estatístico. As cartas de controle de medida individual de Shewhart demonstram ser uma boa alternativa para o controle estatístico do processo de uma estação de tratamento de esgoto, pois permitiram a visualização de falhas no processo, principalmente em mudanças bruscas. As cartas de controle MMEP também se apresentam como uma boa alternativa, pois possuem um bom funcionamento para dados sem normalidade, porém, como as informações do presente trabalho são largamente espaçadas no tempo (amostras mensais), as situações de alterações bruscas são maiores, as quais podem não ser detectadas pelas cartas de média móvel exponencialmente ponderada. Através dos índices de capacidade do processo e índice de *performance* do processo, observou-se que, com exceção do pH, a estação de tratamento de esgoto não é capaz de cumprir as especificações ou atender os padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental.

Palavras-chave: Esgoto doméstico, capacidade do processo, cartas de controle.

ABSTRACT

MONITORING OF A PLANT OF SEWAGE TREATMENT ACCORDING TO STATISTICAL TECHNIQUES OF QUALITY CONTROL

The shortage or lack of water affects more than 40% of the world, due to political, economic, and weather forecast reasons. Thus, sanitation services as collection and sewage treatment become very important to ensure the quality of people's lives. It is known that, generally, there is only one variable responsible for the quality and variability of an effluent, which depends on the changes: in the affluent load, environmental conditions in the reactors, the nature of sewage to be treated, presence of toxic substances, variability inherent to biological treatment processes, as well as mechanical and human failures in the system. All these factors can lead to problems and instability in the processes, so, techniques and methods should be used, since they are effective in identifying failures of treatment processes. The statistical methods of quality control are techniques applied to check if sewage treatment is being effective or not. Thus, this study applied statistical methods of quality control to evaluate the performance of a sewage treatment plant in order to identify failures in the process and discuss about their possible causes. The studied plant of sewage treatment is in Cascavel, Paraná. It is considered a Ete Oeste. The plant consists of a grid system with grids of bars and manual cleaning, a gravitational tangential flow with removal of sand retained by air-lift, Parshall gutter flow meter, anaerobic biological treatment, by two reactors of up-flow sludge manta in parallel, complementary treatment by physicochemical process of coagulation, flocculation and sedimentation laminar. It was used ferric chloride as a coagulant, Parshall gutter and the final effluent disinfection by chlorination. The parameters were: hydrogen-ion potential, sediment solids, total suspended solids, chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand of five days. The statistical analysis was carried out through Shewhart individual charts, control graphs of the moving average, exponentially weighted and indices of ability process. According to Shewhart charts, it was observed that in raw sewage, variables as total suspended solids, COD and $BOD_{5,20}$ were out of statistical control. On Ralf I effluent, variables as pH, sediment solids, total suspended solids and COD were out of the statistical control. For Ralf II effluent, variables as sediment solids, total suspended solids, COD and $BOD_{5,20}$ were out of the statistical control. Only the variable $BOD_{5,20}$ was under statistical control in the treated effluent. EWMA graphs show that all variables were under statistical control for the raw sewage. For Ralf I effluent, all variables were out of statistical control, but for $BOD_{5,20}$. For Ralf II effluent, only pH was under statistical control. On the other hand, for the treated sewage, only the sediment solids were out of statistical control. Shewhart control charts of individual measure seemed to be a good alternative to the statistical process control regarding a plant of sewage treatment, since they help on visualizing the failures during the process, especially in unforeseen changes. The EWMA control charts are also supposed to be a good alternative, because they have a good run for data without normality. However, since this study has widely long time information (monthly samples), the situations of unforeseen changes are greater and may not be detected by the charts of exponentially weighted moving average. According to the process ability indices and performance index of process, it was observed that, except for pH, the sewage treatment of this plant was not able to meet the specifications or the standard discharges required by environmental legislation.

Keywords: Domestic sewage, process ability, control charts.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Esgoto doméstico	4
3.1.1 Características físicas	4
3.1.2 Características químicas	5
3.1.3 Características biológicas	7
3.2 Tratamento do esgoto doméstico.....	7
3.2.1 Níveis de tratamento	7
3.2.2 Reatores anaeróbios.....	9
3.2.3 Pós-tratamento físico-químico de efluentes anaeróbios	10
3.3 Controle estatístico de processos (cep)	11
3.4 Gráficos ou cartas de controle	12
3.5 Capacidade do processo.....	12
3.6 Uso de técnicas estatísticas de controle de processos.....	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Estação de tratamento de esgoto.....	14
4.2 Pontos monitorados e base de dados.....	15
4.3 Parâmetros avaliados	16
4.4 Cálculo da eficiência global da estação de tratamento de esgoto	16
4.5 Análise estatística.....	17
4.5.1 Estatística descritiva	17
4.5.2 Estudo da normalidade	17
4.5.3 Estudo da independência e autocorrelação dos dados	17
4.5.4 Modelo auto-regressivo e de média móvel (ARIMA)	18
4.5.5 Gráficos de controle	19
4.5.6 Índices de capacidade do processo	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Estatística descritiva	29
5.1.1 Esgoto bruto	29
5.1.2 Saída do Ralf I	32
5.1.3 Saída do Ralf II	36
5.1.4 Esgoto tratado	39
5.2 Eficiência global da estação de tratamento de esgoto	44

5.3 Gráficos de controle	44
5.3.1 Esgoto bruto	44
5.3.2 Saída do Ralf I	51
5.3.3 Saída do Ralf II	59
5.3.4 Esgoto tratado	66
5.3.5 Resumo dos resultados dos gráficos de controle	73
5.4 Índices de capacidade do processo	74
6 CONCLUSÕES	75
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
8 REFERÊNCIAS	77
ANEXOS	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Definições para os sólidos contidos nas águas residuárias	4
Tabela 2	Estatística descritiva dos dados referentes ao esgoto bruto	29
Tabela 3	Estatística descritiva dos dados referentes ao efluente do Ralf I	33
Tabela 4	Estatística descritiva dos dados referentes ao efluente do Ralf II	36
Tabela 5	Estatística descritiva dos dados referentes ao esgoto tratado.....	40
Tabela 6	Eficiência da estação de tratamento de esgoto.....	44
Tabela 7	Resultados dos gráficos de medida individual de Shewhart.....	73
Tabela 8	Resultados dos gráficos de medida móvel exponencialmente ponderada	73
Tabela 9	Valores dos índices de capacidade e de <i>performance</i> do processo.....	74
Tabela 10	Dados do esgoto bruto.....	83
Tabela 11	Dados do Ralf I.....	84
Tabela 12	Dados do Ralf II.....	85
Tabela 13	Dados do esgoto tratado.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Entradas e saídas de um processo de produção.....	11
Figura 2 <i>Layout</i> da ETE	14
Figura 3 Vista superior da Ete Oeste	15
Figura 4 Função de autocorrelação amostral	18
Figura 5 Gráfico de medida individual de Shewhart	20
Figura 6 Exemplo de ciclos em um gráfico de controle	21
Figura 7 Exemplo de um padrão de mistura.....	21
Figura 8 Exemplo de um deslocamento do processo	22
Figura 9 Exemplo de uma tendência no nível do processo	22
Figura 10 Exemplo de um padrão de estratificação	23
Figura 11 Gráfico de controle MMEP	24
Figura 12 Gráfico <i>Boxplot</i> para o pH do esgoto bruto.....	30
Figura 13 Gráfico <i>Boxplot</i> para os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.....	30
Figura 14 Gráfico <i>Boxplot</i> para os sólidos suspensos totais do esgoto bruto	31
Figura 15 Gráfico <i>Boxplot</i> para a DQO e DBO _{5,20} do esgoto bruto	32
Figura 16 Gráfico <i>Boxplot</i> para o pH no Ralf I	34
Figura 17 Gráfico <i>Boxplot</i> para os sólidos sedimentáveis no Ralf I	34
Figura 18 Gráfico <i>Boxplot</i> para os sólidos suspensos totais no Ralf I	35
Figura 19 Gráfico <i>Boxplot</i> para a DQO e DBO _{5,20} no Ralf I.....	36
Figura 20 Gráfico <i>Boxplot</i> para o pH no Ralf II	37
Figura 21 Gráfico <i>Boxplot</i> para os sólidos sedimentáveis no Ralf II	38
Figura 22 Gráfico <i>Boxplot</i> para os sólidos suspensos totais no Ralf II	38
Figura 23 Gráfico <i>Boxplot</i> para a DQO e DBO _{5,20} no Ralf II.....	39
Figura 24 Gráfico <i>Boxplot</i> para pH no esgoto tratado.....	40
Figura 25 Gráfico <i>Boxplot</i> para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado.....	42
Figura 26 Gráfico <i>Boxplot</i> para os sólidos suspensos totais no esgoto tratado	42
Figura 27 Gráfico <i>Boxplot</i> para a DQO e DBO _{5,20} no esgoto tratado	43
Figura 28 Gráfico de medida individual de Shewhart para o pH no esgoto bruto	45
Figura 29 Gráfico MMEP para o pH no esgoto bruto.....	45
Figura 30 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no esgoto bruto.....	46
Figura 31 Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis no esgoto bruto	47
Figura 32 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos suspensos totais no esgoto bruto.....	47
Figura 33 Gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais no esgoto bruto	48
Figura 34 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DQO do esgoto bruto.....	49

Figura 35 Gráfico MMEP para a DQO no esgoto bruto	49
Figura 36 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DBO _{5,20} no esgoto bruto	50
Figura 37 Gráfico MMEP para a DBO _{5,20} no esgoto bruto	51
Figura 38 Gráfico de medida individual de Shewhart para o pH no efluente do Ralf I	52
Figura 39 Gráfico MMEP para o pH no efluente do Ralf I.....	52
Figura 40 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no efluente do Ralf I.....	53
Figura 41 Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis no efluente do Ralf I.....	54
Figura 42 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos suspensos totais no efluente do Ralf I.....	55
Figura 43 Gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais no efluente do Ralf I.....	55
Figura 44 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DQO no efluente do Ralf I. 56	
Figura 45 Gráfico MMEP para a DQO do efluente do Ralf I.....	57
Figura 46 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DBO _{5,20} no efluente do Ralf I.....	58
Figura 47 Gráfico MMEP para a DBO _{5,20} no efluente do Ralf I.....	58
Figura 48 Gráfico de medida individual de Shewhart para o pH no efluente do Ralf II ...	59
Figura 49 Gráfico MMEP para o pH no efluente do Ralf II.....	60
Figura 50 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no efluente do Ralf II.....	61
Figura 51 Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis no efluente do Ralf II.....	61
Figura 52 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos suspensos totais no efluente do Ralf II.....	62
Figura 53 Gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais no efluente do Ralf II	63
Figura 54 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DQO no efluente do Ralf II.64	
Figura 55 Gráfico MMEP para a DQO no efluente do Ralf II	64
Figura 56 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DBO _{5,20} no efluente do Ralf II	65
Figura 57 Gráfico MMEP para a DBO _{5,20} no efluente do Ralf II	66
Figura 58 Gráfico de medida individual de Shewhart para o pH no esgoto tratado	66
Figura 59 Gráfico MMEP para o pH no esgoto tratado.....	67
Figura 60 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado.....	68
Figura 61 Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado	69
Figura 62 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos suspensos totais no esgoto tratado.....	69
Figura 63 Gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais no esgoto tratado	70
Figura 64 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DQO no esgoto tratado.....	71

Figura 65 Gráfico MMEP para a DQO no esgoto tratado	71
Figura 66 Gráfico de medida individual de Shewhart para a $DBO_{5,20}$ no esgoto tratado .	72
Figura 67 Gráfico MMEP para a $DBO_{5,20}$ no esgoto tratado	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

°C	Graus Celsius
±	Mais ou menos
pH	Potencial hidrogenionico
H ⁺	Íon hidrogênio
OH ⁻	Íon hidroxila
DBO _{5,20}	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
%	Por cento
TDH	Tempo de detenção hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
CEP	Controle estatístico do processo
RALF	Reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente
L s ⁻¹	Litros por segundo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
SANEPAR	Companhia de saneamento do Paraná
SSed	Sólidos sedimentáveis
SST	Sólidos suspensos totais
mL L ⁻¹	Mililitros por litro
mg L ⁻¹	Miligramas por litro
IAP	Instituto ambiental do Paraná
mg O ₂ L ⁻¹	Miligramas de oxigênio por litro
ARIMA	Modelo auto-regressivo e de média móvel
MMEP	Média móvel exponencialmente ponderada
$\bar{x}$	Média amostral
$\overline{AM}$	Média das amplitudes móveis
LSC	Limite superior de controle
LC	Linha central
LIC	Limite inferior de controle
C _p	Índice de capacidade do processo
C _{ps}	Índice de capacidade do processo unilateral superior
C _{pk}	Índice de capacidade do processo para um processo descentrado
P _p	Índice de <i>Performance</i> do Processo
P _{ps}	Índice de <i>Performance</i> do Processo unilateral superior
P _{pk}	Índice de <i>Performance</i> do Processo para um processo descentrado
LNTS	Limite natural de tolerância superior
LNTI	Limite natural de tolerância inferior

μ	Média populacional
Σ	Desvio padrão
LSE	Limite superior de especificação
LIE	Limite inferior de especificação
mL L ⁻¹ H ⁻¹	Mililitro por litro por hora

1 INTRODUÇÃO

A humanidade tem-se deparado com o problema da escassez de água como uma ameaça para a saúde humana e a vida do Planeta. A escassez ou falta de água afeta mais de 40% da população mundial, por razões políticas, econômicas, e climáticas (BRITTO & RANGEL, 2008). Com isso, os serviços de saneamento como a coleta e tratamento de esgoto tornam-se importantes para a garantia da qualidade de vida de uma população.

O impacto do lançamento de efluentes originados de estações de tratamento de esgotos em corpos d'água é motivo de grande preocupação para a maioria dos países. Assim, uma série de legislações ambientais, critérios, políticas e revisões procuram influir tanto na seleção dos locais de descarga quanto no nível de tratamento exigido para garantir que os impactos ambientais provocados pela disposição dos efluentes tratados sejam aceitáveis (OLIVEIRA & SPERLING, 2005a).

Os campos da engenharia sanitária e ambiental, aliados à biotecnologia, têm evoluído rapidamente no desenvolvimento de métodos para o tratamento de águas residuárias. Isso ocorre principalmente em razão das exigências cada vez maiores dos órgãos públicos de controle ambiental, como resposta ao interesse da saúde pública, das crescentes condições adversas causadas pelas descargas de águas residuárias e de uma maior cobrança da sociedade na defesa do ambiente (CATTONY et al, 2007).

No Brasil, apesar de estudos e avaliações em escala piloto ou em ETEs individuais, o conhecimento sobre o desempenho das tecnologias de tratamento de esgotos em operação no País é relativamente esparsa (OLIVEIRA & SPERLING, 2005a).

Sabe-se que, geralmente, não existe apenas uma variável responsável pela qualidade e variabilidade do efluente, o qual depende: de variações na carga afluente, das condições ambientais nos reatores, da natureza do esgoto a ser tratado, da presença de substâncias tóxicas, da variabilidade inerente aos processos de tratamento biológico e de falhas mecânicas e humanas no sistema. Todos esses fatores podem levar a problemas e instabilidade nos processos, assim ocasionarão efeitos adversos na qualidade do efluente (OLIVEIRA & SPERLING, 2005b). Para isso, devem-se usar técnicas e meios que sejam eficazes na identificação das falhas dos processos de tratamento.

Uma técnica para verificar se o tratamento do esgoto é ou não eficaz é a aplicação de métodos estatísticos do controle de qualidade. Apesar de essas técnicas serem amplamente utilizadas em processos industriais. Montgomery (2004) cita que as técnicas estatísticas de controle da qualidade podem ser aplicadas em processos industriais ou não industriais. Já Corbett & Pan (2002) apontam que as técnicas de controle estatístico de qualidade estão sendo aplicadas em vários trabalhos para a avaliação de desempenho ambiental.

Dessa maneira, o presente trabalho buscou a utilização de métodos estatísticos do controle da qualidade na avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de esgoto, a fim de se identificarem falhas no processo e argumentarem as possíveis causas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Monitorar uma estação de tratamento de esgoto por meio de técnicas estatísticas de controle de qualidade.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência de comportamento da estação de tratamento de esgoto;
- Aplicar cartas de controle estatístico em variáveis de qualidade do esgoto doméstico avaliando se o processo esta sob controle estatístico;
- Aplicar índices de capacidade do processo em variáveis de qualidade do esgoto para avaliar se o processo para tratamento é capaz de atingir as especificações legais para lançamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Esgoto doméstico

3.1.1 Características físicas

3.1.1.1 Sólidos

As características físicas mais importantes dos esgotos são os sólidos que podem estar dissolvidos ou suspensos no meio (METCALF & EDDY, 2003). As várias classificações dos sólidos estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 Definições para os sólidos contidos nas águas residuárias

Classificação	Descrição
Sólidos totais	Resíduo remanescente após a amostra de água residuária sofrer evaporação em temperatura de 103 a 105º C.
Sólidos voláteis totais	Sólidos que volatilizam após os sólidos totais sofrerem ignição a 500 ± 50º C.
Sólidos fixos totais	Fração dos sólidos totais remanescentes após a ignição a 500 ± 50º C.
Sólidos suspensos totais	Porção dos sólidos totais retidos em filtro de porosidade específica, mensurados após a secagem, à temperatura de 105º C.
Sólidos dissolvidos totais	Porção dos sólidos que não são retidos em filtro e são mensurados após secagem à 105º C.
Sólidos sedimentáveis	Sólidos em suspensão, expressos em mililitros por litro, que sedimentam após período específico.

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2003).

3.1.1.2 Temperatura

Outro fator físico importante é a temperatura. Lin (2007) cita que a temperatura afeta reações químicas e a atividade biológica. A temperatura é um fator que influencia quase todos os processos físicos, químicos e biológicos na água. Todos os organismos que ali vivem são adaptados para determinada faixa de temperatura e possuem uma temperatura

preferencial (PAIVA, 2004). O aumento da temperatura diminui a solubilidade dos gases dissolvidos na água, em particular o oxigênio, base para a decomposição aeróbia (KATO & PIVELI, 2005).

Em relação aos processos de tratamento, a influência da temperatura se dá praticamente (METCALF & EDDY, 2003):

- nas operações de natureza biológica, a velocidade de decomposição do esgoto aumenta com a temperatura, cuja faixa ideal para atividade biológica é de 25 a 35°C;
- nos processos de transferência de oxigênio, como lagoas aeradas, lodos ativados e filtro biológico (solubilidade do oxigênio é menor nas temperaturas mais elevadas); e
- nas operações em que ocorre o fenômeno de sedimentação (o aumento da temperatura diminui a viscosidade e melhora as condições de sedimentação).

3.1.1.3 Turbidez

A turbidez corresponde geralmente às partículas sólidas em suspensão, podendo ser de tamanhos variados. A presença dessas partículas provoca a dispersão e absorção da luz, bem como podem ser potencialmente perigosas. Pode diminuir a eficiência da cloração em tratamento de água e transportar partículas orgânicas, bem como gerar sabor e odor (JAQUES, 2005).

Do ponto de vista sanitário, a turbidez poderá afetar esteticamente os corpos d'água ou ainda encarecer os processos de tratamento para fins de abastecimento público e industrial (DERISIO, 2000).

Não é frequente a utilização da turbidez na caracterização dos esgotos, mas pode ser uma medida para caracterizar e controlar a eficiência do tratamento secundário, uma vez que pode estar relacionada com a concentração dos sólidos em suspensão (KATO & PIVELI, 2005).

3.1.2 Características químicas

Os sólidos suspensos e dissolvidos nas águas residuárias contêm material orgânico e inorgânico. Material orgânico inclui carboidratos, óleos e graxas, gordura, surfactantes, proteínas, compostos orgânicos voláteis e outros compostos químicos tóxicos. Os materiais inorgânicos incluem metais pesados, nutrientes (nitrogênio e fósforo), pH, alcalinidade, cloretos, enxofre e outros poluentes inorgânicos. Gases como o dióxido de carbono, nitrogênio, oxigênio, ácido sulfídrico e metano também estão presentes nas águas residuárias (LIN, 2007).

3.1.2.1 Potencial hidrogeniônico – pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma relação numérica que expressa o equilíbrio entre os íons hidrogênios (H^+) e íons hidroxilas (OH^-). A faixa de variação do pH é de 0 a 14, sendo 7 o valor considerado neutro, em que a concentração de íons (H^+) é igual à concentração de íons (OH^-). Quando ocorre a predominância de íons (H^+), os valores de pH são menores que 7 e é denominado de pH ácido. No caso de predominar íons (OH^-), o pH será maior que 7, assim, o pH é básico (DERISIO, 2000). Dessa maneira, o pH pode ser obtido a partir da equação 1.

$$pH = -\log[H^+] \quad (1)$$

Segundo Metcalf & Eddy (2003), a faixa adequada de concentração para a existência de vida é muito estreita e crítica, tipicamente de 6 a 9. Os despejos com concentração inadequada do íon H^+ são difíceis de serem tratados por métodos biológicos.

De acordo com Macêdo (2001) para o monitoramento de corrosão, a quantidade necessária de reagentes para a coagulação, o crescimento de microrganismos e o processo de desinfecção pode ser conhecida por meio do potencial hidrogeniônico de uma água.

3.1.2.2 Demanda bioquímica de oxigênio

Segundo Von Sperling (1996), o principal efeito ecológico da poluição em um curso d'água é o decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido. Em função disso, criou-se um teste para a determinação de oxigênio necessário para a oxidação das impurezas contidas nos esgotos, a demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$) e a quantidade de oxigênio é requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea, sendo assim um ótimo indicador indireto do carbono orgânico biodegradável.

Segundo Ramalho (1996), a $DBO_{5,20}$ das águas residuárias constitui-se em um material orgânico carbônico utilizado como fonte de alimentação por organismos aeróbios.

Para Macêdo (2001), a $DBO_{5,20}$ é um excelente índice para indicar a eficiência de uma ETE (estação de tratamento de esgoto), uma vez que é possível comparar com grande precisão a $DBO_{5,20}$ de esgoto bruto e do efluente final.

3.1.2.3 Demanda química de oxigênio

A demanda química de oxigênio (DQO) é um parâmetro global utilizado como indicador indireto do conteúdo orgânico de águas residuárias e superficiais, e bastante

utilizado no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos (AQUINO et al, 2006).

O teste da DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. O valor obtido é, portanto, uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente (VON SPERLING, 1996).

A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a $DBO_{5,20}$ para observar a biodegradabilidade de despejos. Segundo MACEDO (2001), por meio da relação $DQO/DBO_{5,20}$ é possível definir o processo de tratamento a ser utilizado, pois, a relação $DQO/DBO_{5,20}$ está relacionada com a biodegradabilidade do despejo, ou seja, quanto mais próximo de 1 estiver esta relação, maior será a biodegradabilidade do despejo pela ação de microrganismos (tratamento biológico).

3.1.3 Características biológicas

O esgoto antes de passar por qualquer tipo de tratamento e de higienização contém macro e micronutrientes e microrganismos. Muitos desses são saprófitos e geralmente participam dos processos aeróbio e anaeróbio de estabilização. Porém, o esgoto oriundo da população humana e animal pode apresentar patógenos como bactérias, vírus, ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários parasitos (PAULINO et al, 2001).

3.2 Tratamento do esgoto doméstico

3.2.1 Níveis de tratamento

3.2.1.1 Tratamento preliminar

Os sistemas de tratamento preliminar agem fisicamente na remoção de sólidos suspensos grosseiros, material inerte e óleos e graxas. É importante para a proteção dos equipamentos das subsequentes unidades de tratamento (LIN, 2007). As unidades de tratamento preliminar são as grades (gradeamento), peneiras, caixa de areia (desarenador) e caixa de gordura. O presente trabalho abordará apenas grades e caixa de areia.

3.2.1.1.1 Grades ou gradeamento

A primeira unidade de operação, geralmente encontrada em sistemas de tratamento de águas residuárias, são as grades, as quais possuem como função a proteção dos dispositivos dos esgotos contra obstruções e equipamentos de tratamento, bem como o aspecto estético dos corpos receptores. Podem ser classificadas de acordo com o sistema de limpeza onde as grades simples são de limpeza manual e as grades mecanizadas são de limpeza mecânica (METCALF & EDDY, 2003).

3.2.1.1.2 Caixa de areia

Pode-se afirmar que os desarenadores (ou caixa de areia) são unidades de operação unitária responsáveis pela remoção de partículas discretas com elevada velocidade relativa de sedimentação (PRADO & CAMPOS, 2008).

3.2.1.2 Tratamento primário

O objetivo do tratamento primário é a redução da velocidade do fluxo da água residuária suficiente para que permita a sedimentação dos sólidos suspensos. A sedimentação pode ser exclusivamente física ou pode ter aplicação de produtos químicos (coagulantes) para o auxílio dessa ação. A remoção de sólidos suspensos pode variar de 50 a 70% quando o processo for exclusivamente físico. Porém, a remoção pode chegar até 90% de sólidos suspensos quando tiver o auxílio de coagulantes (METCALF & EDDY, 2003).

Não será abordada qualquer unidade de tratamento primário, pois a estação de tratamento em questão não possui esse nível de tratamento.

3.2.1.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário ou tratamento biológico é utilizado para remoção da matéria orgânica solúvel e coloidal remanescente após o tratamento primário. Consiste em aplicar processos naturais controlados com um largo número de microrganismos consumidores de matéria orgânica contida na água residuária em um curto espaço de tempo (LIN, 2007).

Os principais objetivos do tratamento biológico do esgoto doméstico são: a transformação da matéria biodegradável (dissolvida ou particulada) em produtos simples (dióxido de carbono, metano entre outros); a captura e a incorporação de sólidos suspensos não sedimentáveis na biomassa ou biofilme; a transformação ou remoção de nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo e em alguns casos e a remoção de traços de compostos e constituintes orgânicos específicos (METCALF & EDDY, 2003).

As principais unidades de tratamento biológico utilizadas são as lagoas de estabilização, lagoas aeradas mecanicamente, lodos ativados, filtro biológico, biodiscos e reatores anaeróbios. O item 3.2.2 aborda especificamente sobre reatores anaeróbios.

3.2.1.4 Tratamento terciário

Conhecido também como tratamento avançado, o tratamento terciário é definido como processo que remove contaminantes que não são removidos no tratamento convencional (LIN, 2007). Segundo Metcalf & Eddy (2003), os sistemas avançados de tratamento de águas residuárias buscam a remoção de poluentes específicos como sólidos dissolvidos (cálcio, potássio, sulfato, nitrato, fosfato entre outros), compostos orgânicos altamente complexos e patógenos.

3.2.2 Reatores anaeróbios

Os processos biológicos de digestão anaeróbia são utilizados em diversas estações de tratamento de águas residuárias e de esgotos domésticos (RIBAS et al, 2007). E tanto os países em desenvolvimento que possuem baixo poder aquisitivo, como as nações desenvolvidas, que apresentam pequenas áreas disponíveis em seus centros urbanos podem fazer uso da tecnologia anaeróbia. Seu uso vem sendo cada vez mais bem aceito pela comunidade, mostrando assim, a viabilidade dessa alternativa (ABREU & ZAIAT, 2008).

Os processos biológicos anaeróbios que envolvem reatores com biomassa imobilizada proporcionaram um grande avanço no tratamento das mais diversas substâncias poluentes, principalmente por possibilitarem a retenção de biomassa dentro do sistema. Assim, há como consequência o aumento da relação entre o tempo de retenção celular e o tempo de detenção hidráulica (TDH). Dessa forma, além de minimizar a perda de biomassa no efluente, essa técnica permitiu que fossem aplicados TDH reduzidos, e que consequentemente, os reatores com volumes menores fossem projetados (FREIRE et al, 2008).

Segundo Metcalf & Eddy (2003), os reatores anaeróbios apresentam como principais vantagens a baixa necessidade de energia, baixa produção de lodo biológico, pequena necessidade de nutrientes e produção de metano, sendo uma fonte potencial de energia que requer menor volume para o reator. Como desvantagens, os mesmos autores citam que esses reatores têm a necessidade: de um longo tempo do desenvolvimento de biomassa para a ignição do reator; de tratamento aeróbio no efluente do reator para atender padrões de descarga; requerem a adição de alcalinidade; não removem fósforo e nitrogênio; são sensíveis a baixas temperaturas; susceptíveis a substâncias tóxicas e têm uma potencial produção de odores e gases corrosivos.

Grady et al (1999) citam que a temperatura, pH, materiais inibidores e tóxicos, nutrientes e o tipo de resíduo a ser tratado são fatores que afetam a *performance* dos reatores anaeróbios.

3.2.2.1 Digestão anaeróbia

A primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), transformando-os em compostos solúveis mais simples (monômeros), os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas, uma vez que as bactérias não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada (macromoléculas). Essa conversão de materiais particulados em materiais solúveis é conseguida pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas (TEIXEIRA et al, 2008). Os monômeros então são convertidos em ácidos orgânicos e hidrogênio pelas bactérias acidogênicas. Esses ácidos são transformados em acetatos pelas bactérias acetogênicas e por fim as bactérias metanogênicas transformam os acetatos em metano e gás carbônico (ECKENFELDER, 2000).

3.2.3 Pós-tratamento físico-químico de efluentes anaeróbios

As diversas características favoráveis dos processos anaeróbios, como o baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos, aliadas às condições ambientais no Brasil, onde há a predominância de elevadas temperaturas, têm contribuído para a colocação dos sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos em posição de destaque, particularmente os reatores de manta de lodo (CHERNICHARO, 1997).

Apesar da grande aceitação e de todas as vantagens inerentes aos reatores anaeróbios, tipo UASB, permanece nestes sistemas uma grande dificuldade em produzir, isoladamente, um efluente dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental do País. De forma semelhante à maioria dos processos compactos de tratamento, os reatores UASB, ainda que bem adequados à remoção da matéria carbonácea dos esgotos, não são eficientes na remoção de nutrientes e na eliminação de organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos). Eles necessitam, portanto, de uma etapa de pós-tratamento de seus efluentes, como tratamentos físico-químicos. No tratamento de esgotos sanitários, através da coagulação-floculação, a eficiência de remoção de $DBO_{5,20}$ situa-se entre 50 e 75% e há remoção quase total dos sólidos em suspensão (SILVA et al, 2007a).

O uso de coagulantes como os sais metálicos e alguns polieletrólitos tem aumentado nos últimos anos, no pós-tratamento físico-químico de esgotos sanitários. Há também uma boa perspectiva para associação com efluentes provenientes de reatores anaeróbios. Os sais de alumínio e ferro são os coagulantes mais utilizados no tratamento de água e esgoto (SILVA et al, 2007a). Aisse et al (2001) obtiveram resultados significativos

na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos totais e fósforo, os quais utilizaram um tratamento físico-químico como pós-tratamento do efluente de um reator de manta de lodo.

3.3 Controle estatístico de processos (CEP)

Para as empresas, um dos pontos fundamentais para o sucesso é a estabilização dos processos de rotina que garantem a confiabilidade do produto (MILAN & FERNANDES, 2002). Dessa maneira, o controle estatístico de processos (CEP) pode ser usado para controlar as variabilidades de processos produtivos (SILVA et al, 2007b). É uma metodologia que atua preventivamente sobre o processo produtivo e utiliza a estatística como instrumento básico para avaliar suas alterações, em busca do aperfeiçoamento contínuo da qualidade (SOUZA & RIGÃO, 2005). O papel do controle estatístico de processos é ilustrado na Figura 1 que apresenta um processo de produção como um sistema com um conjunto de entradas e uma saída.

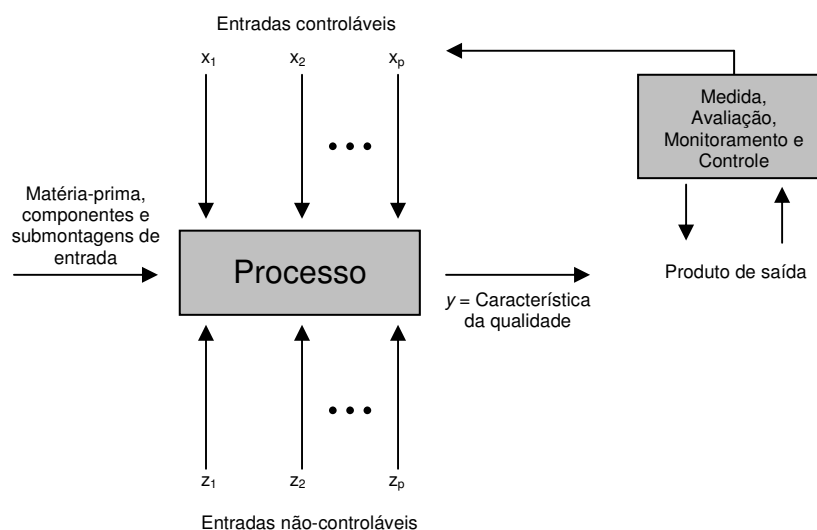


Figura 1 Entradas e saídas de um processo de produção.

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

As entradas $x_1, x_2, \dots, x_p$ são fatores controláveis, tais como temperatura, pressão, taxas de alimentação e outras variáveis do processo. As entradas $z_1, z_2, \dots, z_p$ são dadas como não-controláveis (ou difíceis de serem controladas), tais como fatores ambientais ou propriedades das matérias-primas apresentadas pelo fornecedor. O processo de manufatura transforma essas entradas em um produto acabado, que tem várias características de qualidade. A variável de saída y é uma medida da qualidade do processo (MONTGOMERY, 2004).

3.4 Gráficos ou cartas de controle

Os gráficos de controle surgiram em 1924, quando Shewhart, então funcionário da *Bell Laboratories*, publicou um relatório técnico visando divulgar os fundamentos de uma técnica estatística destinada ao controle de processos. No início, como era de se esperar, poucos acreditaram no potencial desta nova técnica. Pouco a pouco, no entanto, o gráfico de controle foi ganhando fama, e seu uso como ferramenta de monitoramento passou a ser obrigatório, em um número infindável de processos industriais (LEIRAS et al, 2007). Sua simplicidade operacional favoreceu para que o uso dos gráficos fossem amplamente utilizados no controle de processos (COSTA & MACHADO, 2007). Os gráficos, também conhecidos na literatura como cartas de controle, buscam encontrar variabilidades no processo, pois aumentam por consequência, a produtividade e prevêm possíveis ajustes desnecessários (SILVA et al, 2007c).

As cartas de controle utilizam como dados de entrada medições de variáveis que influenciam na qualidade dos itens manufaturados. As medições são realizadas em pontos espaçados no tempo e registradas nas cartas. O registro resulta em gráficos temporais que apresentam os valores de medição da variável no eixo vertical e os pontos no tempo nas quais as medições são efetuadas no eixo horizontal. A cada medição compara-se o resultado obtido com limites de controle: medições fora dos limites indicam a presença de causas especiais de variabilidade, anômalas ao processo, que prejudicam a qualidade do produto manufaturado (MICHEL & FOGLIATTO, 2002). As causas especiais de variabilidade são facilmente observadas pelas cartas de controle, que emitem sinais quando os dados observados parecem estar, de algum modo, fora de controle. Tais sinais são baseados em algum deslocamento no meio do processo (CHEN & CHENG, 2009).

3.5 Capacidade do processo

A análise da capacidade do processo é uma técnica que quantifica a variabilidade do processo e permite uma comparação com as especificações do produto. O indicador da capacidade do processo, em geral, compara por meio de uma razão a amplitude de especificação da característica com a amplitude do processo de produção dessa característica (CORREA, 2007). Montgomery (2004) argumenta que a capacidade do processo diz respeito à sua uniformidade na produção e determina duas maneiras de encarar essa variabilidade seja ao longo do tempo, seja instantaneamente. O mesmo autor define a análise da capacidade de um processo como um estudo de engenharia para estimar aquela capacidade. A estimativa da capacidade de um processo pode ser apresentada por uma distribuição de probabilidade, com uma forma, um centro (média) e

uma dispersão (desvio padrão) especificados. Para estimar essa capacidade do processo, utilizam-se índices de capacidade.

Os índices de capacidade são usados para mencionar resultados de um processo que os relaciona com os limites de especificação (PRASAD & CALIS, 1999). São vários os índices a serem utilizados. Existem os índices da primeira geração (C_p , C_{pk} , k , C_{pl} e C_{pu}), de segunda geração, introduzidos por Taguchi (C_{pm}) e os de terceira geração, introduzidos no início dos anos 90 (C_{pmk} , P_p e P_{pk}).

3.6 Uso de técnicas estatísticas de controle de processos

Leiras et al (2007) utilizaram o controle estatístico de processos para o planejamento de um processo de empacotamento de cadernos de jornais. Enquanto Silva et al (2007c) utilizaram gráficos de controle de somas acumuladas na garantia da qualidade do processo de produção do café solúvel. Russo et al (2008) utilizaram gráficos de controle baseado nos resíduos do modelo de regressão *Poisson*, com números de não conformidades da seção de tecelagem de uma indústria têxtil como base de dados.

Milan & Fernandes (2002) avaliaram os efeitos da utilização do controle de qualidade em operações agrícolas de preparo do solo para a cultura do milho, cuja ferramenta de análise utilizada foi o CEP. Rafaelli et al (2002) aplicaram o controle de qualidade no processo de fabricação de ração, à base de farelo de soja. Michel & Fogliatto (2002) propuseram um modelo econômico para o projeto de cartas adaptativas ao aplicarem em um estudo de caso o monitoramento de um processo de usinagem de peças para automóveis.

Silva et al (2007b) estudaram as perdas na colheita mecanizada do algodoeiro através da variabilidade espacial e controle estatístico. Hu & Yuan (2008) utilizaram técnicas estatísticas multivariadas para monitorar um processo de produção de penicilina.

Podur (2001) aplicou cartas de controle na atividade de incêndios em regiões e florestas no Canadá. Kahraman & Kaya (2008) utilizaram índices de capacidade de processos no controle da qualidade de água utilizada para irrigação.

Zhou et al (2008) aplicaram cartas de controle no monitoramento da qualidade da água de terrenos cárscicos com gráficos de soma acumulada. Corrêa (2007) estudou o controle e a capacidade de processo de produção de água potável no município de Foz do Iguaçu. Corbett & Pan (2002) utilizaram técnicas estatísticas de controle de processo para avaliar o desempenho ambiental visando à implantação de sistemas de gestão ambiental utilizando como banco de dados de emissões atmosféricas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Estação de tratamento de esgoto

A estação de tratamento de esgoto em questão localiza-se no Município de Cascavel, Paraná, com as seguintes coordenadas geográficas: 24º 56' 07" Sul e 53º 30' 12" Oeste. Denominada como Ete Oeste, a estação é constituída por um sistema de gradeamento de barras com limpeza manual, desarenador gravitacional de fluxo tangencial com retirada de areia por *air-lift*, medidor de vazão calha parshall, tratamento biológico anaeróbio através de dois reatores de fluxo ascendente e manta de lodo (RALFs) em paralelo, tratamento complementar por processo físico-químico de coagulação, floculação e decantação laminar, sendo usado o cloreto férrico como coagulante, calha *parshall* e desinfecção do efluente final por cloração.

O *layout* da estação pode ser observado na Figura 2. Essa estação deverá atender a uma população de aproximadamente 45.000 habitantes até 2010, com vazão média de 8 L s⁻¹. Os reatores possuem um diâmetro superficial de 26 metros, um diâmetro de fundo de 14 metros e altura útil de 6 metros. A estação também apresenta leitos de secagem para a remoção da umidade e redução do volume do lodo provindo dos RALFs.

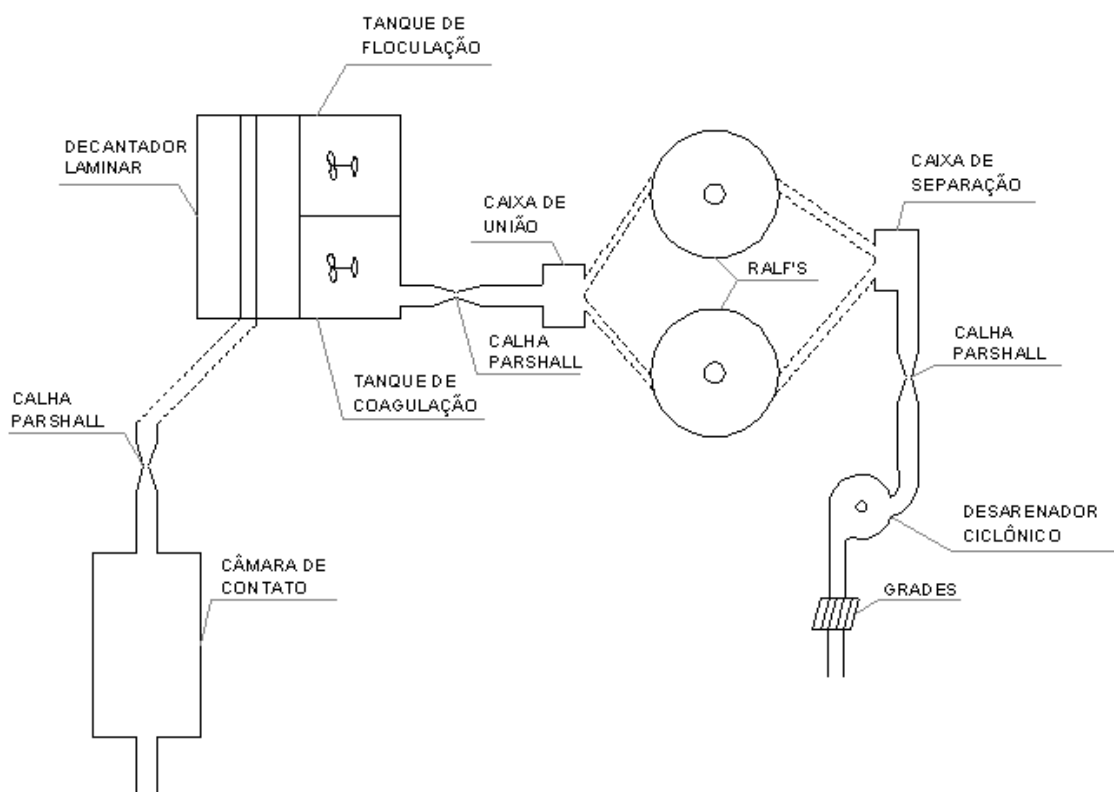


Figura 2 Layout da ETE.

A Figura 3 ilustra a visão aérea da Ete Oeste.



Figura 3 Vista superior da Ete Oeste.

Fonte: Disponível no *Google Earth*, acesso em junho de 2009.

O corpo receptor da estação é o córrego Bezerra. Segundo Orssatto (2008), o córrego Bezerra é um afluente do Rio das Antas que localiza-se na bacia do Paraná III. É um rio perene, considerado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) como classe II, conforme classificação da resolução do Conselho Nacional do Meio ambiente (CONAMA) 357 (BRASIL, 2005) e apresenta características lóticicas.

4.2 Pontos monitorados e base de dados

Os pontos monitorados da estação de tratamento de esgoto foram a entrada da estação, antes do gradeamento (esgoto bruto), saída dos dois ralFs e após a desinfecção (esgoto tratado) totalizando quatro pontos.

A base de dados cedida pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) compreende um período de janeiro de 2006 a janeiro de 2009 com periodicidade mensal.

4.3 Variáveis avaliadas

Os parâmetros avaliados foram o potencial hidrogeniônico (pH), sólidos sedimentáveis (SSed), sólidos suspensos totais (SST), demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}).

O pH é um parâmetro de controle de lançamento condicionado pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/05, cujos limites variam de 5 a 9 unidades de pH.

Os sólidos sedimentáveis apresentam como limite máximo de lançamento, exigido pela resolução do CONAMA 357/05, 1 mL L⁻¹ em teste de uma hora em cone Imhoff.

Os sólidos suspensos totais não são um parâmetro de lançamento controlado pela CONAMA 357/05, porém a licença ambiental da Ete Oeste exige que a concentração máxima no esgoto tratado seja de 60 mg L⁻¹.

Embora a resolução CONAMA 357/05 não faça referência ao parâmetro DQO na classificação dos corpos d'água e nos padrões de lançamento de efluentes líquidos, algumas legislações ambientais estaduais estabelecem limites máximos para esse parâmetro em seus padrões de lançamento (AQUINO et al, 2006). No Paraná, o IAP estipula uma concentração máxima de lançamento de uma estação de tratamento de esgoto para a DQO igual a 150 mg O₂ L⁻¹.

A DBO_{5,20} também não é condicionada como parâmetro de lançamento pela resolução CONAMA 357/05, porém a licença ambiental da estação exige que a concentração máxima no esgoto tratado seja de 60 mg O₂ L⁻¹.

O parâmetro pH foi analisado pelo método potenciométrico e os demais parâmetros seguiram as recomendações do *Standart Methods* (APHA, 1998). Tanto as coletas como as análises foram realizadas pela SANEPAR e sem padronização de horário de coleta.

4.4 Cálculo da eficiência global da estação de tratamento de esgoto

A eficiência da estação foi calculada para os parâmetros sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio e obtida pela equação 2.

$$E(\%) = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100 \quad (2)$$

Onde S_o é a concentração do esgoto bruto e S é a concentração do esgoto tratado.

4.5 Análise estatística

4.5.1 Estatística descritiva

Para todas as variáveis estudadas nos pontos de coleta, foi aplicada a estatística descritiva através do registro das médias, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo. Enquanto para a verificação de pontos discrepantes, utilizou-se o gráfico do tipo *Boxplot*.

4.5.2 Estudo da normalidade

Para a aplicação de técnicas de controle estatístico de processos, é preciso que os dados sejam distribuídos normalmente com uma variação média e constante fixa. A hipótese nula para os testes de normalidade é a de que os dados estão distribuídos normalmente a um nível de significância igual a 5% (HELSEL & HIRSCH, 2002).

Os testes de normalidade aplicados para este trabalho foram o de Anderson-Darling, Ryan-Joiner (similar ao Shapiro-Wilk) e Kolmogorov-Smirnov, porém caso a normalidade seja acusada em um dos testes, será considerada a distribuição normal dos dados.

Quando os dados medidos não seguirem a distribuição normal, foram aplicadas técnicas de transformações necessárias para a busca da normalidade dos dados. A técnica utilizada foi de *Box-Cox*.

4.5.3 Estudo da independência e autocorrelação dos dados

Para uso e aplicação de cartas de controle, os dados devem apresentar independência entre si sendo de fundamental importância a investigação da autocorrelação do grupo de informações. A presença da autocorrelação compromete o desempenho dos gráficos tradicionais de controle, caso se confundam as causas especiais e comuns do processo.

Zhou et al (2008) citam que a suposição mais importante é a independência dos dados. A violação dessa suposição tornaria os testes estatísticos selecionados inválidos, a menos que os mesmos fossem apropriadamente compensados.

A verificação da autocorrelação ocorreu pela função de autocorrelação amostral, a qual, segundo Montgomery (2004), pode ser estimada pela equação 3:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (3)$$

Em que $k = 0, 1, \dots, K$.

A Figura 4 ilustra um exemplo de função de autocorrelação amostral.

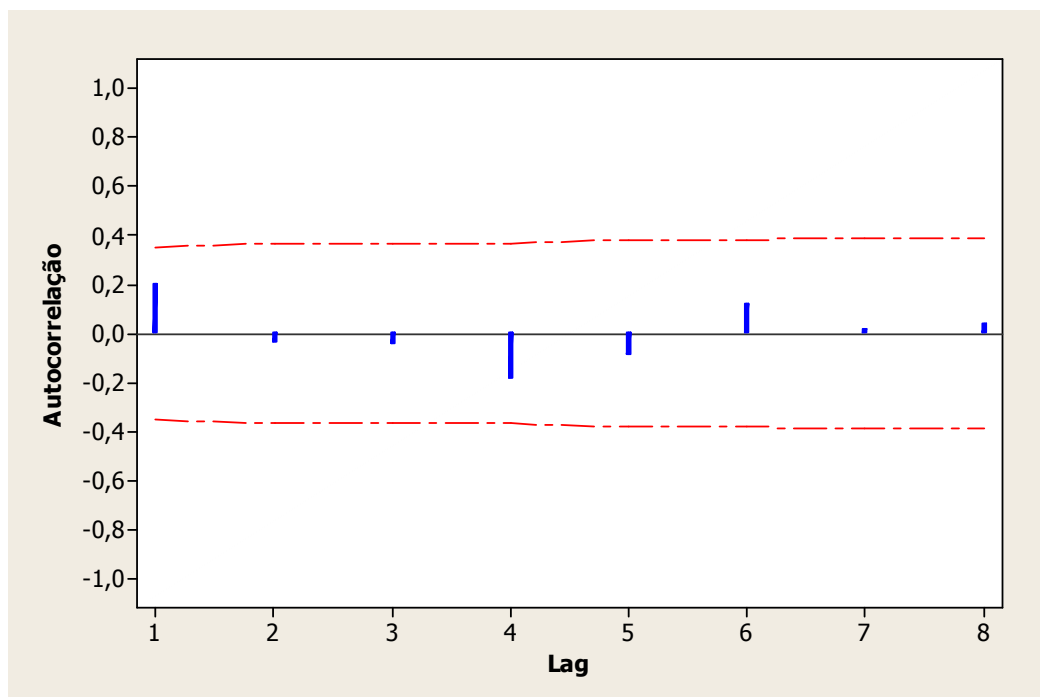


Figura 4 Função de autocorrelação amostral.

As linhas tracejadas no gráfico são os limites de dois desvios padrões para o parâmetro de autocorrelação para a defasagem (lag) k . São úteis para detectar autocorrelações diferentes de zero. Com efeito, se uma autocorrelação amostral excede o limite de dois desvios padrão, o parâmetro de autocorrelação correspondente é provavelmente diferente de zero (MONTGOMERY, 2004), ou seja, se essa condição existir, haverá autocorrelação entre os dados.

4.5.4 Modelo auto-regressivo e de média móvel (ARIMA)

Uma abordagem que se tem revelado útil quando se lida com dados autocorrelacionados consiste em modelar diretamente a estrutura correlacional com um modelo apropriado de série temporal e usar esse modelo para remover a autocorrelação dos dados, bem como aplicar gráficos de controle aos resíduos (MONTGOMERY, 2004). O

modelo auto-regressivo e de média móvel (ARIMA) busca a remoção da autocorrelação a partir da construção de gráficos de controle com os resíduos.

4.5.5 Gráficos de controle

Os gráficos de controle utilizados são o de medida individual de Shewhart e a média móvel exponencialmente ponderada (MMEP).

4.5.5.1 Gráficos de controle de medida individual de Shewhart

Os gráficos de controle de medidas individuais consistem em limites inferior e superior de controle e uma linha média (ALBERS & KALLENBERG, 2004). A construção desse gráfico baseia-se no modelo que Montgomery & Runger (2003) apresentam. Supondo que a média ($\bar{x}$) do processo seja conhecida e assumindo que os dados possuem distribuição normal, usa-se a média como linha central e três vezes a média das amplitudes móveis ($\overline{AM}$) nos limites de controle, como pode ser observado nas equações 4, 5 e 6:

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{AM}}{d_2} \quad (4)$$

$$LC = \bar{x} \quad (5)$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{AM}}{d_2} \quad (6)$$

Em que, LSC é o limite superior de controle; LIC é o limite inferior de controle; LC é a linha central e d_2 é um fator para construção de gráficos de controle para variáveis encontrado em Montgomery (2004) no apêndice VI.

O fator de multiplicação da amplitude móvel pode ser modificado conforme o distanciamento dos limites de controle. Para as variáveis DQO e DBO do esgoto bruto e dos sólidos suspensos totais para esgoto tratado, foi utilizado 2 para o fator de multiplicação da amplitude móvel.

A Figura 5 exemplifica um gráfico de medida individual de Shewhart.

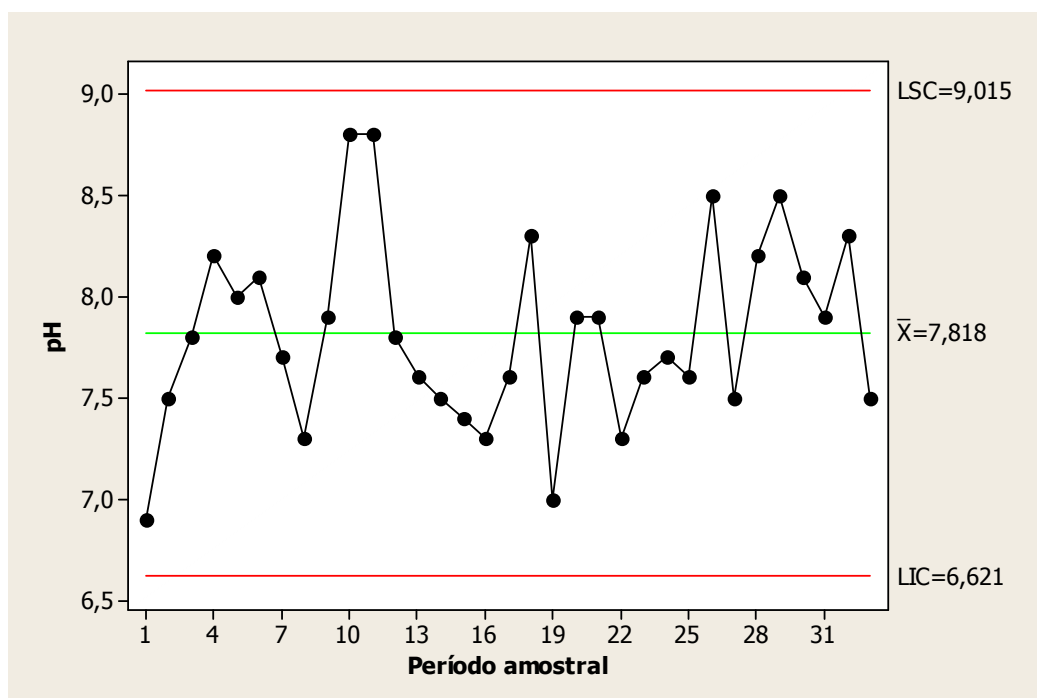


Figura 5 Gráfico de medida individual de Shewhart.

4.5.5.1.1 Interpretação dos gráficos de controle de medida individual de Shewhart

A interpretação dos gráficos de controle de medida individual de Shewhart, segundo Montgomery (2004), é dada da seguinte maneira: um gráfico de controle pode indicar uma condição fora de controle – ainda que nenhum ponto caia fora dos limites – se os pontos plotados exibirem comportamento sistemático ou não-aleatório. Esses comportamentos são caracterizados por padrões cíclicos, mistura, deslocamento no nível do processo, tendência e estratificação.

Os padrões cíclicos podem ser observados na Figura 6. Tais padrões aparecem ocasionalmente em gráficos de controle e podem resultar de mudanças ambientais sistemáticas, tais como temperatura, fadiga do operador, rotação regular de operadores e/ou máquinas ou alguma outra variável no equipamento de produção.

Uma mistura é indicada quando os pontos plotados tendem a cair perto ou levemente fora dos limites de controle, com poucos pontos perto da linha central, como mostra a Figura 7. Um padrão de mistura é causado pela superposição de duas ou mais distribuições que geram a saída do processo. Algumas vezes, as misturas resultam de um ‘super controle’ em que os operadores fazem ajustes muito frequentemente, respondendo a variações aleatórias na saída e não às causas atribuíveis.

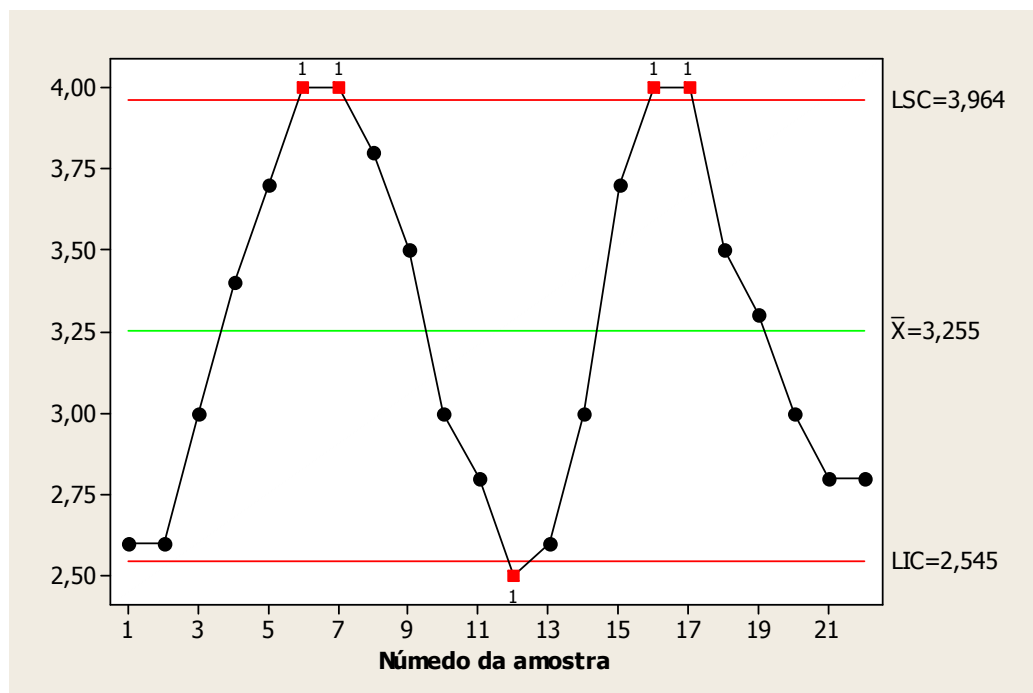


Figura 6 Exemplo de ciclos em um gráfico de controle.

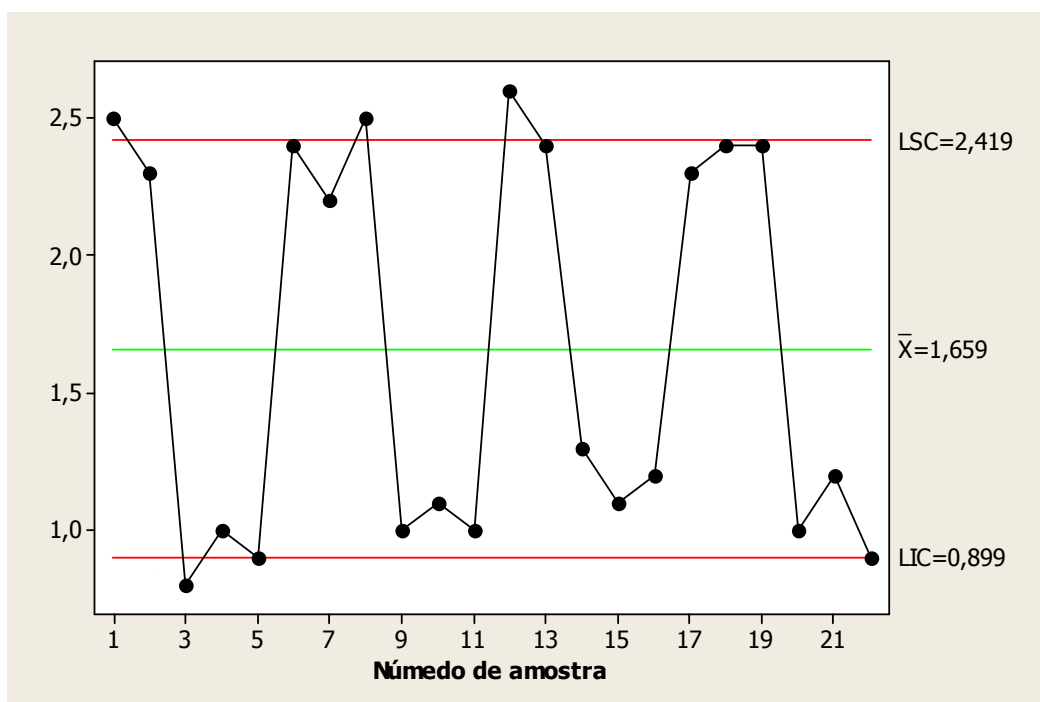


Figura 7 Exemplo de um padrão de mistura.

Um deslocamento no nível do processo resulta da introdução de novos trabalhadores, métodos, materiais ou máquinas; uma mudança no método de inspeção ou valores de referencias; ou uma mudança nas habilidades, atenção ou motivação dos operadores. A Figura 8 ilustra um deslocamento no nível do processo.

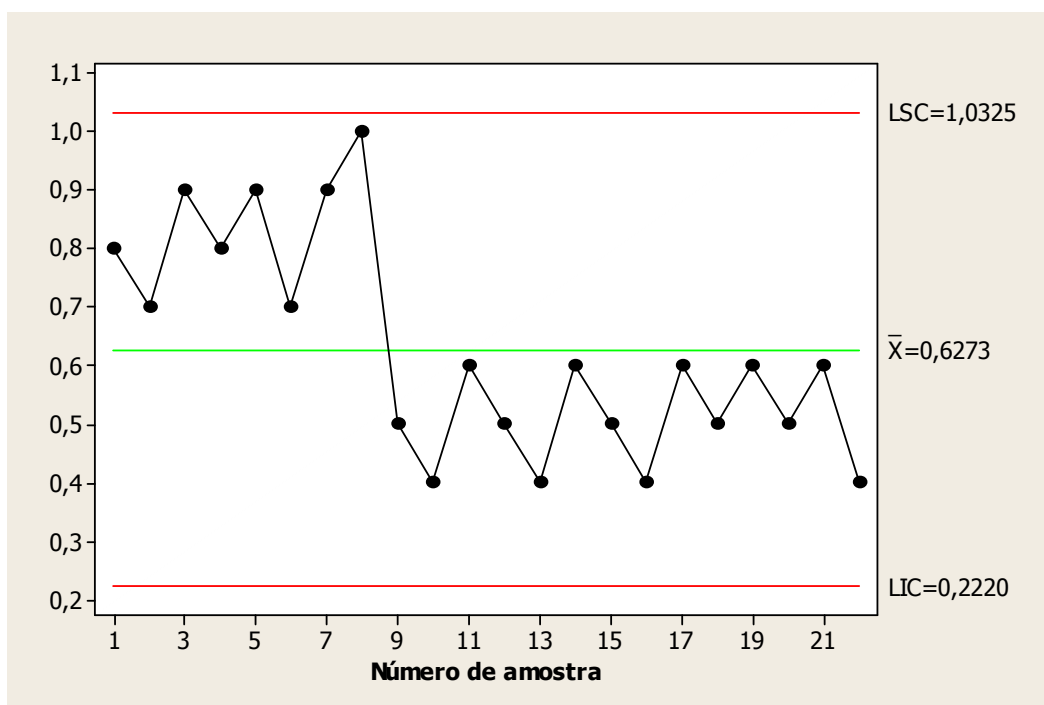


Figura 8 Exemplo de um deslocamento no nível do processo.

As tendências são, em geral, devido a um desgaste ou à deterioração gradual de uma ferramenta ou outro componente crítico do processo. Podem ser resultado também de causas humanas, tais como fadiga do operador ou a presença de um supervisor. Finalmente, as tendências podem resultar de fatores sazonais, tais como a temperatura. A Figura 9 exemplifica uma tendência.

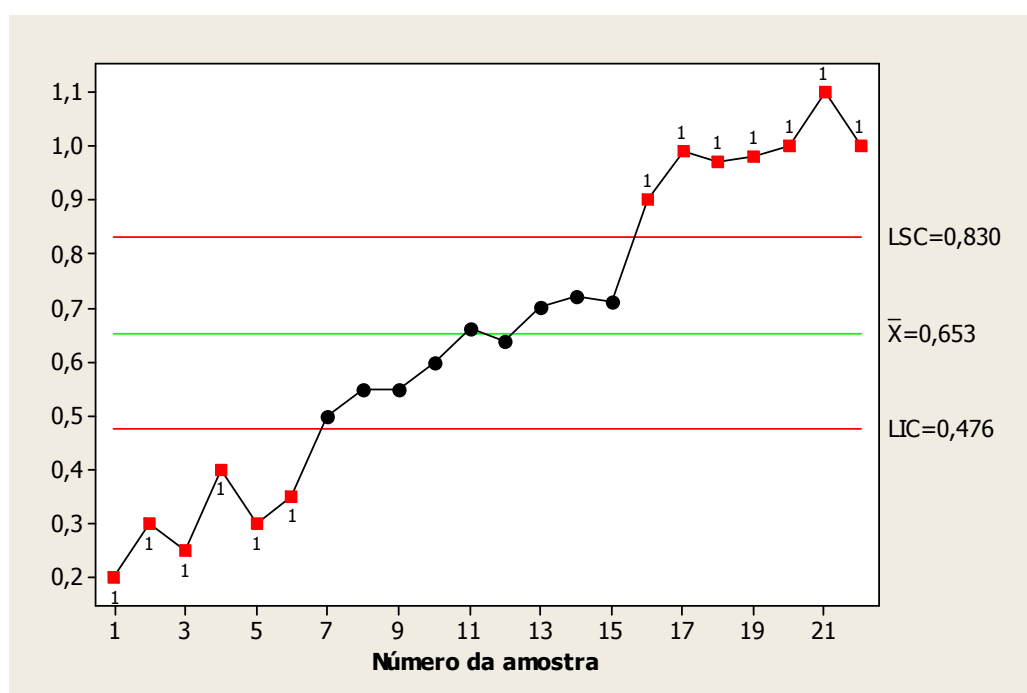


Figura 9 Exemplo de uma tendência no nível do processo.

A Figura 10 ilustra a estratificação.

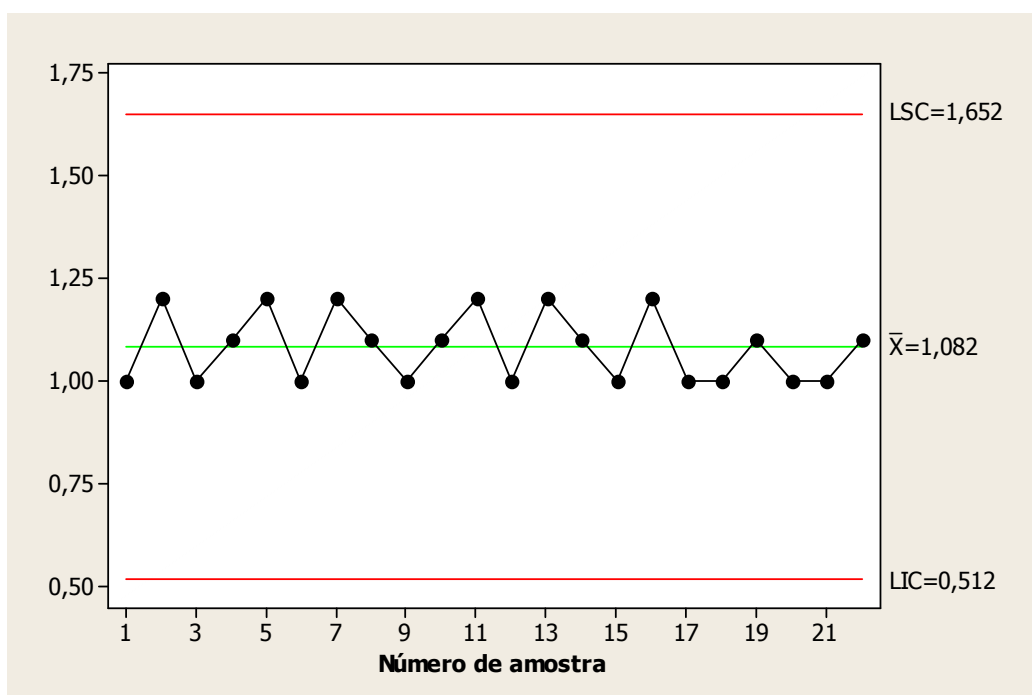


Figura 10 Exemplo de um padrão de estratificação.

A estratificação ou propensão dos pontos se agruparem artificialmente em torno da linha central ocorre quando existe uma acentuada ausência de variabilidade natural no padrão observado.

4.5.5.2 Gráficos de controle da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP)

A carta MMEP é uma ferramenta útil para monitorar a variabilidade de uma característica de qualidade e é usada principalmente para detectar deslocamentos persistentes em um processo, cuja principal vantagem é a revelação rápida de deslocamentos pequenos e moderados (MARAVELAKIS & CASTAGLIOLA, 2009).

Segundo Montgomery (2004), o gráfico da média móvel exponencialmente ponderada pode ser definido pela equação 7:

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (7)$$

Em que $0 < \lambda \leq 1$ é uma constante e o valor inicial (exigido com a primeira amostra em $i = 1$) é o alvo do processo, de modo que $z_0 = \mu_0$. Algumas vezes, a média de dados preliminares é usada como o valor inicial do MMEP, de modo que $z_0 = \bar{x}$.

Conforme o mesmo autor, o gráfico de controle MMEP pode ser considerado como uma média ponderada de todas as observações passadas e correntes, sendo insensível à

hipótese de normalidade, pois torna-se ideal para ser usado com observações individuais. Constrói-se esta carta pela plotagem de z_i versus o número da amostra i (ou tempo). Enquanto a linha central e os limites de controle são definidos pelas equações 8, 9 e 10:

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (8)$$

$$\text{Linha central} = \mu_0 \quad (9)$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (10)$$

Em que o fator L é a largura dos limites de controle; λ é uma constante que varia de 0 a 1 e σ é o desvio padrão.

Para a construção dos gráficos MMEP, foi utilizado 2 como valor L e 0,2 para λ . Esses valores são geralmente utilizados por vários autores.

A Figura 11 ilustra um gráfico MMEP.

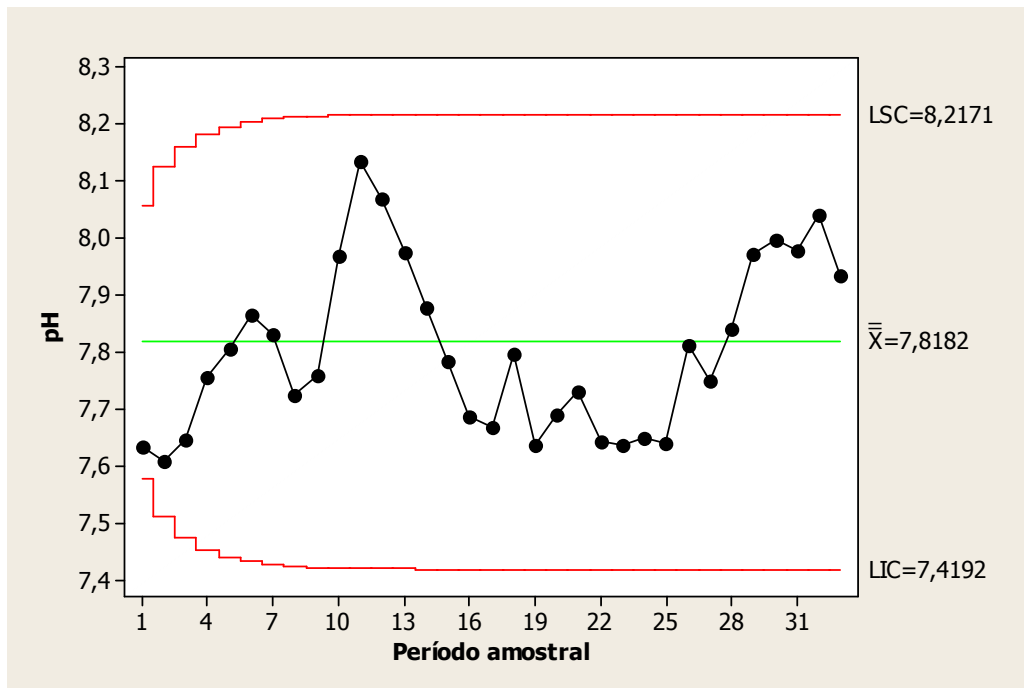


Figura 11 Gráfico de controle MMEP.

O gráfico acima possui como vantagem a previsão de valores futuros e é robusto à normalidade dos dados (SOUZA et al, 2007).

4.5.6 Índices de capacidade do processo

Os índices de capacidade do processo utilizados foram o C_p , C_{ps} , C_{pk} , P_p , P_{ps} e P_{pk} .

4.5.6.1 Índice de capacidade do processo (C_p)

Conforme Montgomery (2004), é costume tomar como medida da capacidade de um processo a dispersão de seis-sigma na distribuição das características da qualidade do produto. Os limites naturais de tolerância – superior (LNTS) e inferior (LNTI)– do processo se situam em $\mu + 3\sigma$ e $\mu - 3\sigma$, respectivamente. Para uma distribuição normal, os limites naturais de tolerância incluem 99,73% da variável, ou, dito de outra forma, apenas 0,27% da saída do processo sai dos limites naturais de tolerância.

Conceitualmente, Palmer e Tsui (1999) dizem que o C_p compara a propagação permissível do processo à propagação do processo real. Correa (2007) cita que o índice de capacidade do processo (C_p) compara a amplitude de especificação do projeto [Limite superior de especificação (LSE) – Limite inferior de especificação (LIE)] com a amplitude do processo (LNTS – LNTI = 6σ). Logo, a capacidade do processo (potencial) é definida pela razão da variação do intervalo de especificação do projeto com 6σ como pode ser observado na equação 11:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{LNTS - LNTI} = \frac{LSE - LIE}{\mu + 3\sigma - (\mu - 3\sigma)} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (11)$$

Em aplicações práticas, o desvio padrão do processo σ é quase sempre desconhecido e deve ser estimado.

Este índice foi aplicado apenas ao parâmetro pH, o qual apresenta limites superior e inferior de especificação.

4.5.6.2 Índice de capacidade unilateral superior (C_{ps}).

Processos unilaterais, ou seja, que possuem apenas um limite de especificação, seja ele superior ou inferior, aplicam-se os índices de capacidade unilaterais. No presente trabalho, foi aplicado o C_{ps} , pois os parâmetros utilizados, com exceção do pH, apresentam apenas limites máximos (superiores) de lançamento no corpo receptor.

Sonooch et al (2007) representa o C_{ps} pela equação 12:

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (12)$$

Assim como no C_p , também necessitam-se estimar o desvio padrão σ e a média μ .

4.5.6.3 Capacidade do processo para um processo descentrado (C_{pk})

Montgomery (2004) defende que a razão da capacidade de um processo C_p não leva em consideração em que local a média do processo está em relação às especificações. Mesmo com baixa variabilidade, não se garante uma elevada eficiência quando o processo não está centralizado. Assim, para avaliar a centralização do processo, criou-se o C_{pk} .

O C_{pk} leva em consideração as capacidades unilaterais superior e inferior do processo, como se observa na equação 13:

$$C_{pk} = \min(C_{ps}, C_{pi}) \quad (13)$$

Ao se desmembrar C_{ps} e C_{pi} , tem-se a equação 14:

$$C_{pk} = \min\left(C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \quad (14)$$

De modo geral, se $C_p = C_{pk}$, o processo está centrado no ponto médio das especificações e quando $C_p < C_{pk}$, o processo está descentrado (MONTGOMERY, 2004)

4.5.6.4 Índice de *Performance* do Processo (P_p)

O índice de *performance* do processo informa como o processo agiu no passado ou está agindo no momento e pode ser obtido a partir da equação 15, segundo AIAG (1995).

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6S} \quad (15)$$

Os cálculos dos índices C_p e P_p são semelhantes, diferenciando apenas na estima do desvio padrão S , o qual pode ser estimado pela equação 16:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (16)$$

4.5.6.5 Índice de *Performance* do Processo unilateral superior (P_{ps}).

Assim como no item 4.4.5.2, o índice de *performance* do processo unilateral superior foi aplicado nos parâmetros $DBO_{5,20}$, DQO, sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos. Segundo AIAG (1995), o P_{ps} pode ser calculado pela equação 17.

$$P_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3S} \quad (17)$$

4.5.6.6 Índice de *Performance* do Processo para um processo descentrado (P_{pk})

Semelhante ao C_{pk} , o índice de *performance* do processo para um processo descentrado, conforme AIAG (1995), pode ser calculado pela equação 18:

$$P_{pk} = \min(P_{ps}, P_{pi}) \quad (18)$$

Desmembrando P_{ps} e P_{pi} tem-se a equação 19:

$$P_{pk} = \min\left(P_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3S}, P_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3S}\right) \quad (19)$$

4.5.6.7 Classificação dos índices de capacidade

A mesma classificação pode ser dada para todos os índices. Segundo Montgomery (2004), se o valor do índice for maior ou igual 1,33, o processo é capaz ou adequado para as especificações. Se o valor estiver entre 1 e 1,33, o processo é aceitável, e se for inferior a 1, o processo é incapaz.

Em termos práticos, se o índice for maior ou igual a 1,33, a estação de tratamento de esgoto é capaz de atender aos padrões de lançamento exigidos pelo órgão ambiental. Se estiver entre 1 e 1,33, a estação de tratamento de esgoto atende aos padrões de lançamento, porém deve ocorrer uma melhora no processo. E se for inferior a 1, a estação não é capaz de atender aos padrões de lançamento ao corpo receptor.

4.5.6.8 Limites de especificação

Os limites de especificação utilizados foram seguidos pelos padrões de lançamento estipulados pela resolução CONAMA 357/05 e pela licença ambiental da estação de tratamento de esgoto.

Para a variável pH, o limite superior de especificação (LSE) e o limite inferior de especificação (LIE) foram de 5 e 9, respectivamente. Para as demais variáveis, foram utilizados limites superiores de especificação. Os sólidos sedimentáveis tiveram como LSE $1 \text{ mL L}^{-1} \text{ H}^{-1}$. Para os sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio foram utilizados 60 mg L^{-1} , 150 mg L^{-1} e 60 mg L^{-1} , respectivamente para o LSE.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística descritiva

5.1.1 Esgoto bruto

Na Tabela 2 encontra-se o resumo estatístico das variáveis avaliadas no esgoto bruto e os dados do esgoto bruto estão no Anexo A.

Tabela 2 Estatística descritiva dos dados referentes ao esgoto bruto

Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	C.V (%) ¹	Mínimo	Máximo	p-valor ²	AC ³
pH	7,82	7,8	0,47	5,96	6,90	8,80	0,579	Não
Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	8,33	9,0	2,65	31,95	3,50	14,50	0,220	Não
SST (mg L ⁻¹)	358,8 0	362,5	88,40	24,65	168,00	566,70	0,815	Não
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	998,8 0	995,0	362,60	36,30	282,00	1940,0 0	0,944	Não
DBO _{5,20} (mg O ₂ L ⁻¹)	521,8 0	480,0	233,40	44,72	52,70	1297,2 0	0,162	Não

¹ Coeficiente de variação em porcentagem. ² p-valor do teste de normalidade.

³ Autocorrelação temporal e dependência dos dados.

A variável pH apresentou um valor médio próximo da neutralidade. Gomes (1987) cita que se, o coeficiente de variação for inferior a 10 % (por cento), há baixa variabilidade nos dados, fato que ocorre com o pH para o esgoto bruto. Confirma-se, assim, a baixa variação nos dados observados na Figura 12.

Bertolino et al (2008), em seu trabalho de caracterização do esgoto produzido em um *campus* universitário, encontraram valores de pH que variam entre 7,01 e 7,69.

Os sólidos sedimentáveis tiveram concentrações que variaram de 3,5 a 14,5 mL L⁻¹H⁻¹ e apresentaram um coeficiente de variação igual a 31,95 %. Segundo Gomes (1987), se o coeficiente de variação estiver acima de 20 %, indica que os dados possuem alta variabilidade. Apesar da alta variabilidade, observa-se no *Boxplot* ilustrado na Figura 13 que os dados não possuem pontos discrepantes.

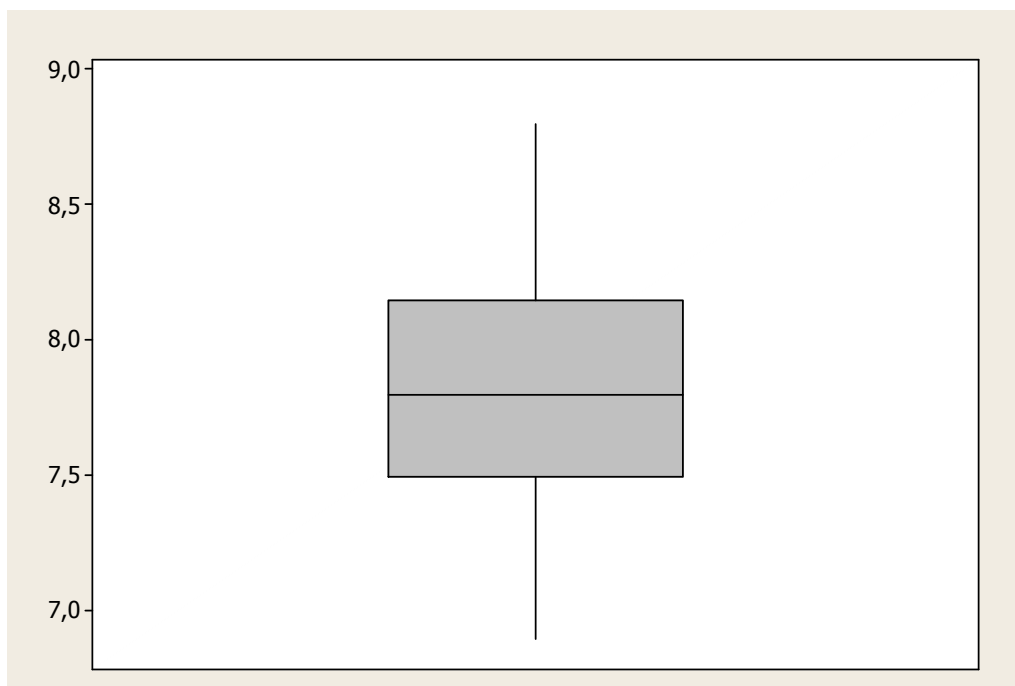


Figura 12 Gráfico *Boxplot* para o pH do esgoto bruto.

Von Sperling (1996) cita que a faixa de concentração de sólidos sedimentáveis para esgoto doméstico bruto é de 10 a 20 mL L⁻¹ H⁻¹. Entretanto, Júnior et al (2007) encontraram valores que variaram de 1,2 a 75,00 mL L⁻¹ H⁻¹ para o esgoto não tratado e um coeficiente de variação igual a 59,6 %, ou seja, dados que também possuem alta variabilidade. A ampla faixa de variação dos dados pode ser justificada pela não padronização do horário de coletas, pois as características dos esgotos domésticos variam durante um período diário, principalmente pelos picos de uso de água da população.

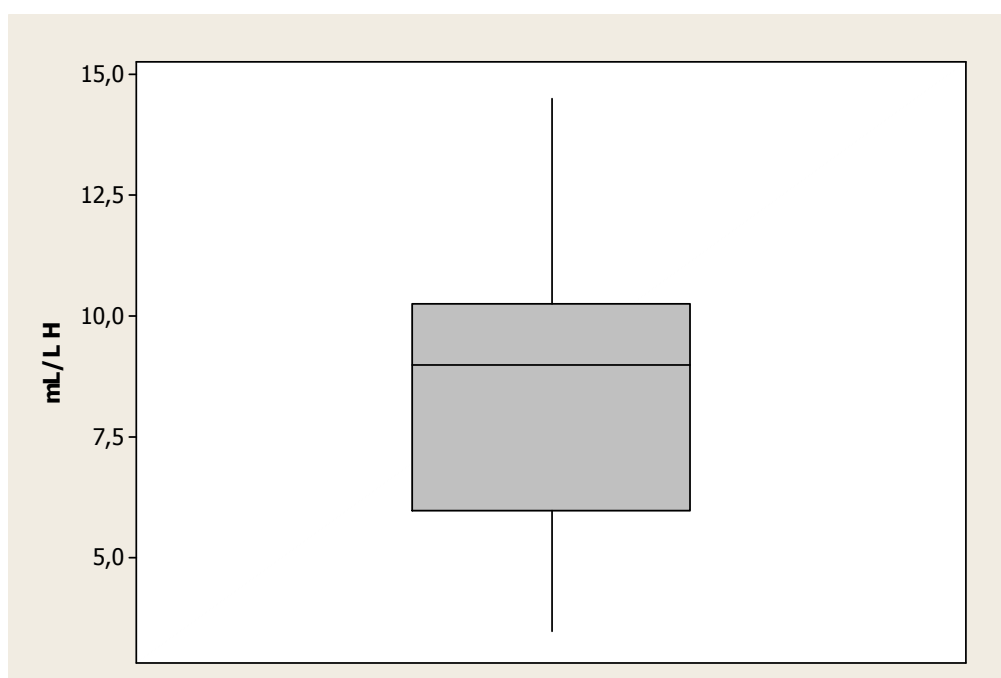


Figura 13 Gráfico *Boxplot* para os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.

Para os sólidos suspensos totais, os valores variaram de 168,0 a 566,7 mg L⁻¹. O coeficiente de variação ficou acima de 20 %, indicando alta variabilidade nos dados (GOMES, 1987). Apesar da alta variabilidade, observa-se no *Boxplot* ilustrado na Figura 14 que os dados não possuem pontos discrepantes.

Sarti et al (2006) encontraram valores para sólidos suspensos totais que variaram de 120 a 593 mg L⁻¹, os quais são semelhantes ao intervalo de dados do presente trabalho.

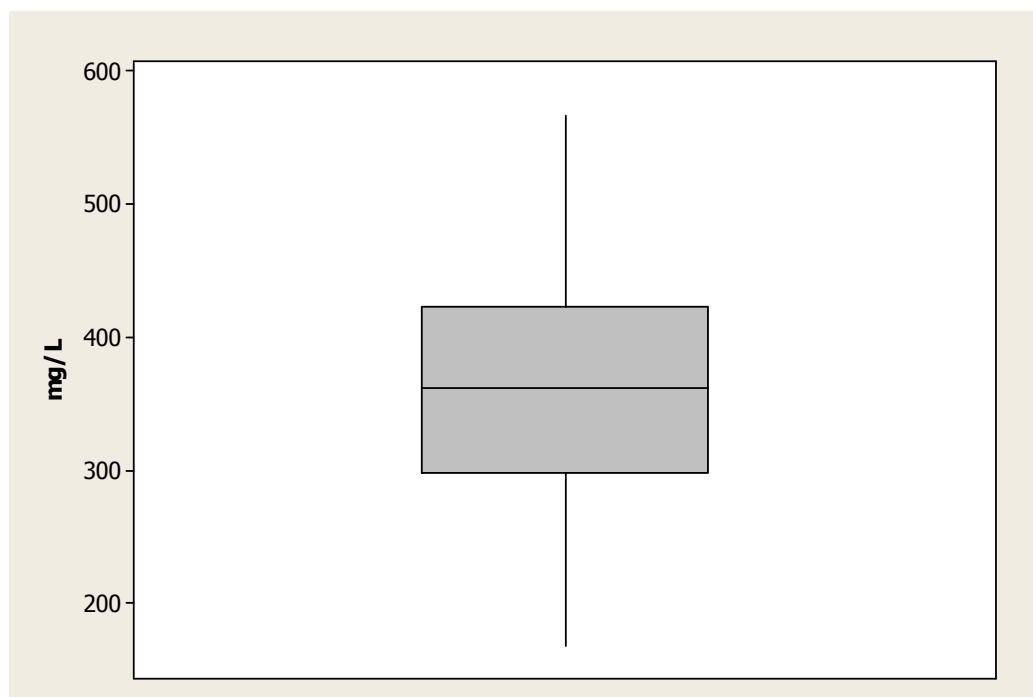


Figura 14 Gráfico *Boxplot* para os sólidos suspensos totais do esgoto bruto.

Para a variável DQO, os valores variaram de 282,0 a 1940,0 mg L⁻¹. O coeficiente de variação ficou acima de 30%, e isso indica elevada variabilidade nos dados, conforme descreve Gomes (1987). A variação encontrada nos dados pode se dever ao fato de lançamentos clandestinos na rede de coleta de esgoto ou também pela coleta ser realizada em horários diferentes. A partir da análise do gráfico, *Boxplot* ilustrado na Figura 15, observa-se que o valor máximo da DQO é um ponto discrepante no conjunto de dados, o que pode reafirmar a presença de lançamentos clandestinos na rede de coleta de esgoto.

Oliveira e Sperling (2005) avaliaram estações de tratamento de esgoto em diversos estados e encontraram valores de DQO que variaram de 575 a 1398 mg L⁻¹.

Para a DBO_{5,20}, os valores variaram de 52,70 a 1297,20 mg L⁻¹. Logo, ao se observar o coeficiente de variação, tem-se uma alta variabilidade por aquele está acima de 20 %, conforme recomendações de Gomes (1987). Em termos práticos, a alta variação pode significar variações das cargas orgânicas, as quais podem prejudicar o desempenho dos reatores anaeróbios, principalmente a taxa de hidrólise (CHERNICHARO, 1997).

Von Sperling (1996) aponta que a faixa típica para a concentração de $\text{DBO}_{5,20}$ em esgoto doméstico *in natura* é de 200 a 500 mg L^{-1} . A possível causa para o valor mínimo é um erro analítico da análise laboratorial, pois encontra-se muito abaixo dos valores normalmente encontrados para esgoto não tratado. Já para o valor máximo, a possível causa para tal valor seria algum lançamento indevido na rede, pois a DQO dessa mesma amostra mostrou-se igualmente elevada. Observa-se na Figura 15 que, apesar da baixa concentração para o valor mínimo, esse não é um ponto discrepante, porém o valor máximo sim.

Calijuri et al (2009), na aplicação do sistema UASB/*wetlands* construídas de fluxo horizontal para o tratamento de esgoto sanitário, encontraram, para o esgoto bruto, uma $\text{DBO}_{5,20}$ média igual a 308 mg L^{-1} e um desvio padrão igual a 110.

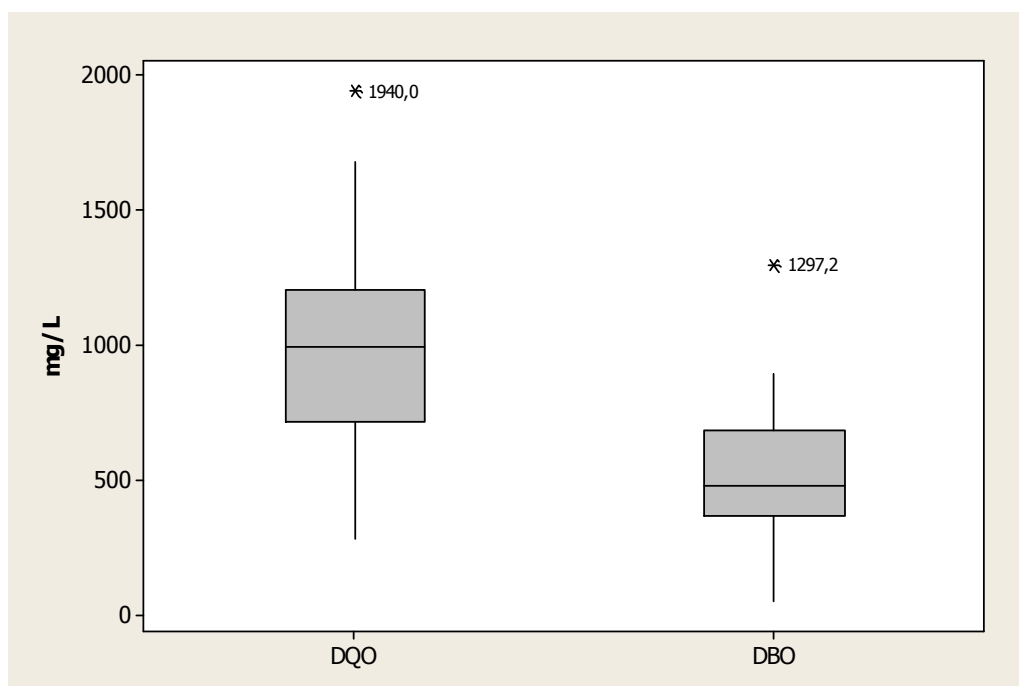


Figura 15 Gráfico *Boxplot* para a DQO e $\text{DBO}_{5,20}$ do esgoto bruto.

Ao se observar o p-valor do teste de normalidade de todas as variáveis, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais não é rejeitada; considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados são normais.

5.1.2 Saída do Ralf I

Na Tabela 3 está apresentado o resumo estatístico das variáveis avaliadas no efluente do reator anaeróbio I e os dados do Ralf I encontram-se no Anexo B.

Tabela 3 Estatística descritiva dos dados referentes ao efluente do Ralf I

Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	C.V (%) ¹	Mínimo	Máximo	p-valor ²	AC ³
pH	7,13	7,1	0,35	4,94	6,60	8,40	<0,005	Não
Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	2,94	0,9	8,06	274,02	0,10	42,00	<0,005	Não
SST (mg L ⁻¹)	187,60	88,0	363,80	193,93	24,00	1820,00	<0,005	Não
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	281,30	239,0	204,70	72,78	137,00	1221,00	<0,005	Não
DBO _{5,20} (mg O ₂ L ⁻¹)	118,80	93,1	73,70	62,09	50,40	318,50	<0,005	Não

¹ Coeficiente de variação em porcentagem. ² p-valor do teste de normalidade.

³ Autocorrelação temporal e dependência dos dados.

A variável pH apresentou um valor médio perto da neutralidade, com baixo coeficiente de variação (GOMES, 1987). Isso demonstra que os dados possuem homogeneidade e amplitude igual a 1,8. Assim, ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais é nula considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados não são normais. Apesar da baixa variabilidade dos dados, observam-se dois pontos discrepantes na Figura 16.

Os sólidos sedimentáveis variaram de 0,1 a 42,0 mL L⁻¹ H⁻¹ e apresentaram um elevado coeficiente de variação, ou seja, alta variabilidade nos dados (GOMES, 1987). Para confirmar a alta variabilidade dos dados, observam-se, na Figura 17, três pontos discrepantes no conjunto de dados. A alta variação pode ser justificada pela variação da vazão do esgoto. Nos horários de pico, ocorre o arraste da manta de lodo, o qual é biomassa com boa decantabilidade. Dessa maneira, caracterizam-se fisicamente em sólidos sedimentáveis. Aisse et al (2001) citam que a remoção do excesso de lodo dos reatores anaeróbios deve ocorrer quando a concentração de sólidos sedimentáveis no seu efluente for superior a 0,3mL L⁻¹ H⁻¹. Isto mostra as possíveis falhas na operação do reator.

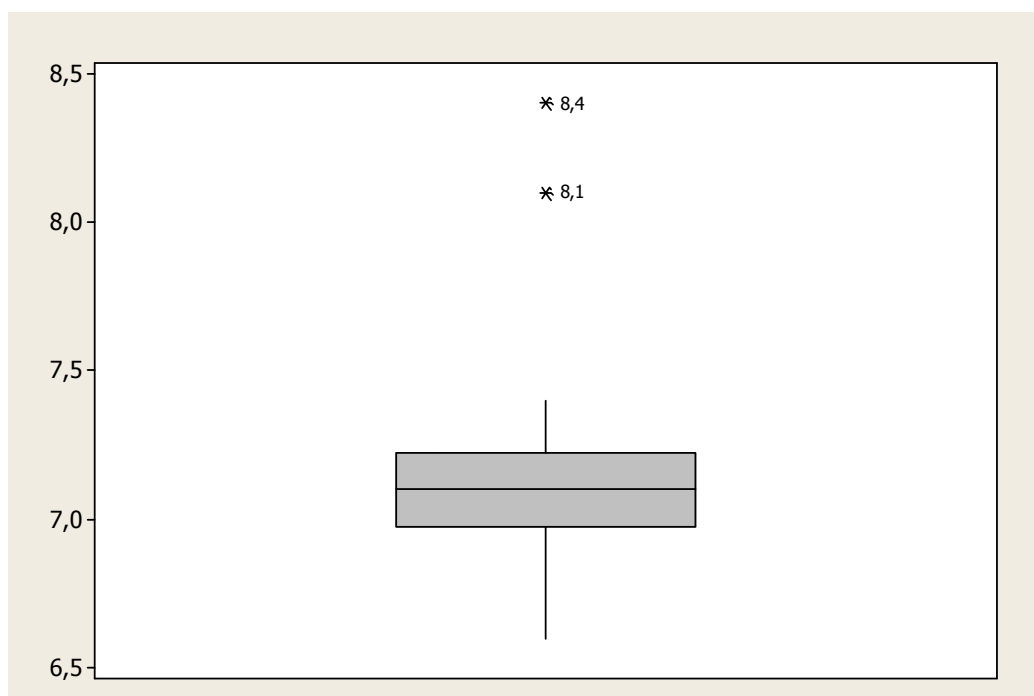


Figura 16 Gráfico *Boxplot* para o pH no Ralf I.

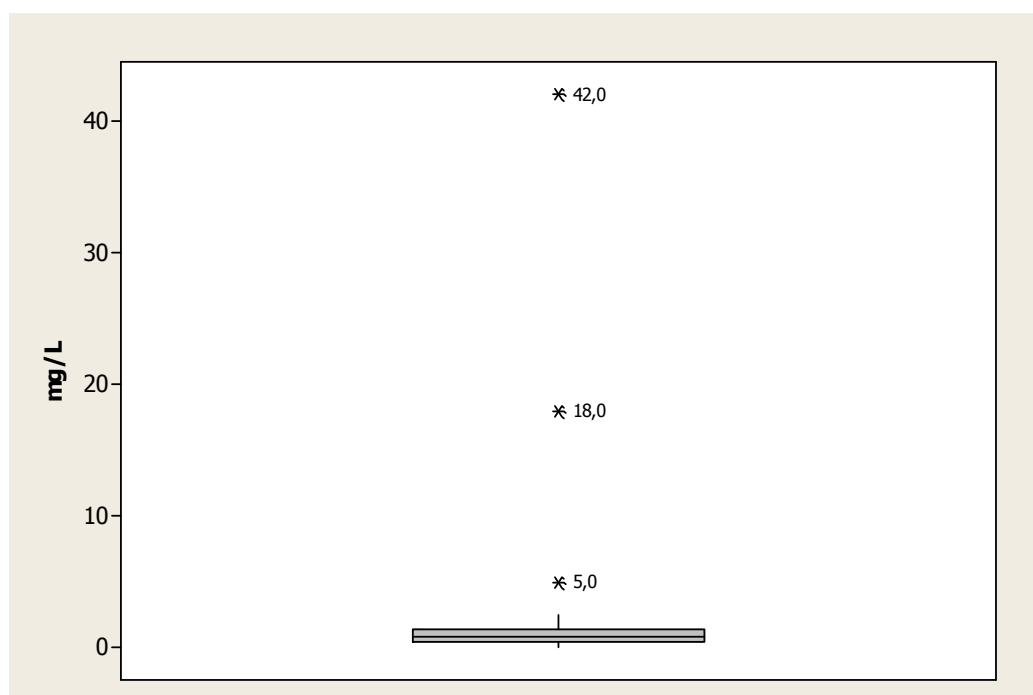


Figura 17 Gráfico *Boxplot* para os sólidos sedimentáveis no Ralf I.

Para os sólidos suspensos totais, os valores variaram de 24 a 1820 mg L⁻¹ e apresentaram alta variabilidade nos dados, como pode ser observado pelo coeficiente de variação. Segundo Kato & Piveli (2005), todo sólido sedimentável é sólido suspenso, dessa maneira, a mesma justificativa utilizada para a grande variabilidade de sólidos sedimentáveis pode ser usada para os sólidos suspensos. Observam-se, na Figura 18, três pontos discrepantes para os sólidos suspensos. Tais valores foram encontrados nas

mesmas amostras os quais foram observados os pontos discrepantes para os sólidos sedimentáveis.

Mazzola et al (2005) encontraram valores que variaram de 20 a 640 mg L⁻¹ para sólidos suspensos no efluente de um reator anaeróbio.

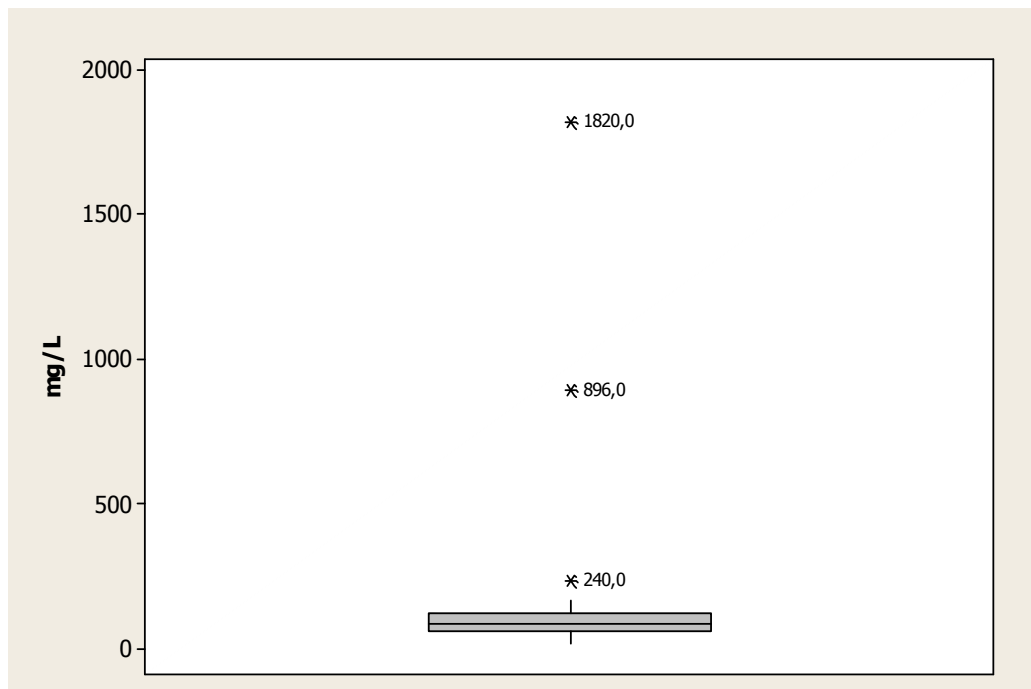


Figura 18 Gráfico *Boxplot* para os sólidos suspensos totais no Ralf I.

Para a variável DQO, os valores variaram de 137 a 1221 mg L⁻¹. O coeficiente ficou acima de 30% e apresentou alta variabilidade dos dados. O valor máximo é um ponto discrepante (Figura 19)

Para a DBO_{5,20}, os valores variaram de 50,40 a 318,50 mg L⁻¹ e apresentaram alta variabilidade, como pode ser observado a partir do coeficiente de variação. Na Figura 19, observam-se dois pontos discrepantes, que confirmam a alta variabilidade dos dados.

Ao se observar o p-valor do teste de normalidade de todas as variáveis, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais é rejeitada considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados não apresentam distribuição normal de probabilidade.

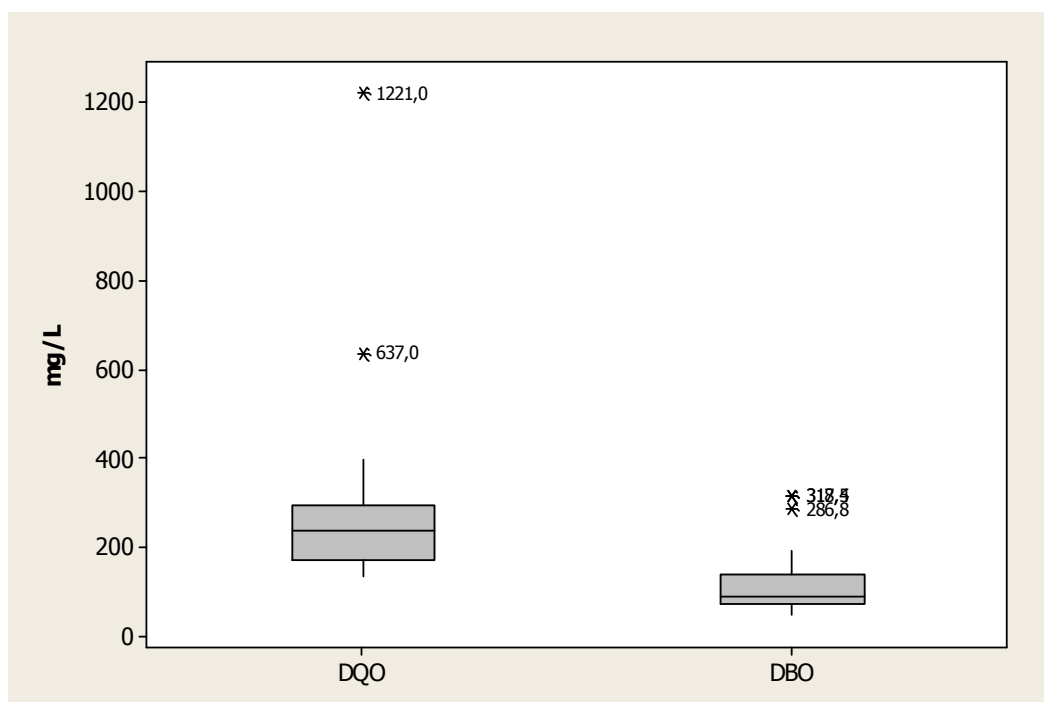


Figura 19 Gráfico *Boxplot* para a DQO e DBO_{5,20} no Ralf I.

5.1.3 Saída do Ralf II

Na Tabela 4 encontra-se o resumo estatístico das variáveis avaliadas no efluente do reator anaeróbio II e os dados do Ralf II estão no Anexo C.

Tabela 4 Estatística descritiva dos dados referentes ao efluente do Ralf II

Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	C.V (%) ¹	Mínimo	Máximo	p-valor ²	AC ³
pH	7,15	7,1	0,39	5,49	6,50	8,40	<0,005	Não
Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	1,71	1,0	2,98	174,76	0,10	17,00	<0,005	Não
SST (mg L ⁻¹)	135,90	112,0	138,90	102,15	20,00	792,00	<0,005	Não
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	248,10	209,0	114,90	46,33	125,00	678,60	<0,005	Não
DBO _{5,20} (mg O ₂ L ⁻¹)	104,40	84,7	91,30	87,50	11,50	562,50	<0,005	Não

¹ Coeficiente de variação em porcentagem. ² p-valor do teste de normalidade.

³ Autocorrelação temporal e dependência dos dados.

A variável pH variou entre 6,5 e 8,4 e a média ficou próxima da neutralidade. Os dados apresentaram baixa variabilidade por apresentarem coeficiente de variação abaixo de 20% (GOMES, 1987). Já na Figura 20, observam-se quatro pontos discrepantes para a variável pH.

Sousa et al (2006) encontraram valores de pH que variaram de 7,1 a 7,6 no efluente de um reator anaeróbio de manta de lodo.

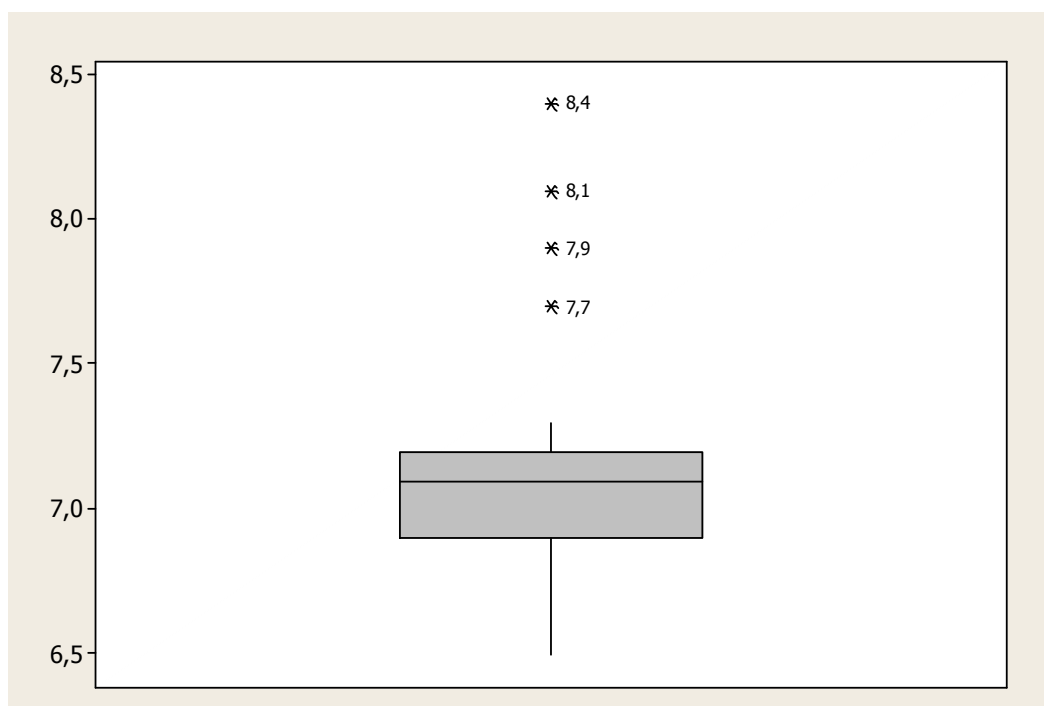


Figura 20 Gráfico *Boxplot* para o pH no Ralf II.

Os sólidos sedimentáveis variaram de 0,1 a 17,0 mL L⁻¹ H⁻¹ e apresentaram um elevado coeficiente de variação, ou seja, alta variabilidade nos dados (GOMES, 1987).

Tal alta variação pode ser justificada pela variação da vazão do esgoto. Nos horários de pico, ocorre o arraste da manta de lodo, o qual é biomassa com boa decantabilidade. Dessa maneira, caracterizam-se fisicamente em sólidos sedimentáveis. No gráfico *Boxplot* da Figura 21, observam-se quatro pontos discrepantes e isso confirma a alta variabilidade dos dados.

Para os sólidos suspensos totais, os valores variaram de 20 a 792 mg L⁻¹ e apresentaram alta variabilidade nos dados, como pode ser observado pelo coeficiente de variação. Segundo Kato & Piveli (2005), todo sólido sedimentável é sólido suspenso, dessa maneira, a mesma justificativa utilizada para a grande variabilidade de sólidos sedimentáveis pode ser usada para os sólidos suspensos. Observam-se no gráfico *Boxplot* da Figura 22 três pontos discrepantes e esses valores foram obtidos nas mesmas amostras de três pontos discrepantes observados nos sólidos sedimentáveis.

Santos (2006), ao caracterizar o efluente de um reator anaeróbio de manta de lodo, obteve valores de sólidos suspensos que variaram de 21 a 37 mg L⁻¹.

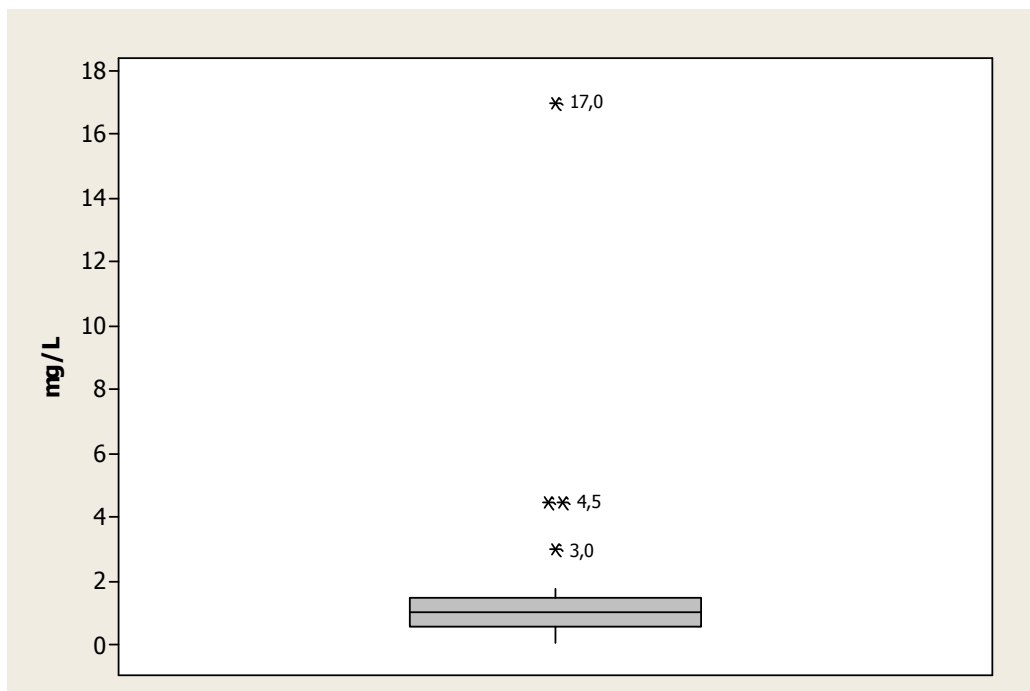


Figura 21 Gráfico *Boxplot* para os sólidos sedimentáveis no Ralf II.

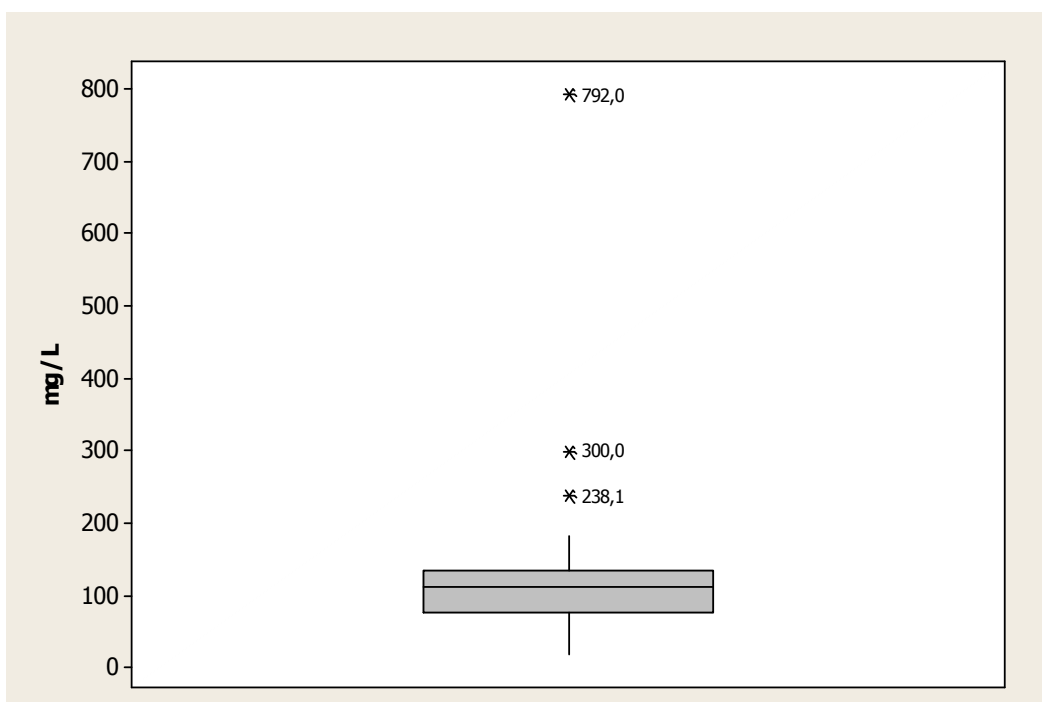


Figura 22 Gráfico *Boxplot* para os sólidos suspensos totais no Ralf II.

Para a variável DQO, os valores variaram de 125,0 a 678,6 mg L⁻¹. O coeficiente ficou acima de 30% e apresentou alta variabilidade dos dados, enquanto o gráfico *Boxplot* para a DQO pode ser observado na Figura 23.

Sousa et al (2004) encontram valores de DQO que variam de 190 a 290 mg L⁻¹ e coeficiente de variação acima de 30% no efluente de um reator de manta de lodo, utilizado no pré-tratamento de esgotos domésticos.

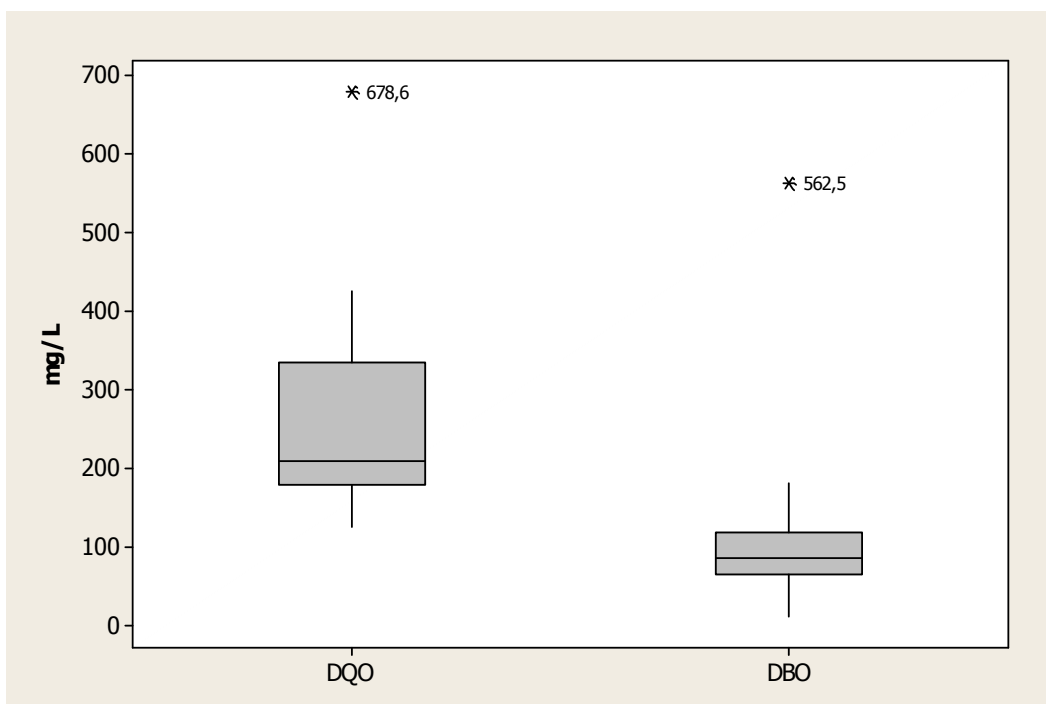


Figura 23 Gráfico *Boxplot* para a DQO e DBO_{5,20} no Ralf II.

Para a DBO_{5,20}, os valores variaram de 11,50 a 562,50 mg L⁻¹ e apresentaram alta variabilidade, como pode ser observado a partir do coeficiente de variação. Ao se comparar o valor mínimo com os valores de DBO_{5,20} do efluente tratado da estação observa-se que o valor do efluente do RALF II é menor do que o esgoto tratado. Isso indica que a possível causa desse valor baixo seja um erro analítico de análise laboratorial, porém não é um ponto discrepante (Figura 23).

Na Figura 23, pode-se observar que tanto a DQO quanto a DBO_{5,20} apresentaram pontos discrepantes. Esses valores foram obtidos na mesma amostra e indicam que os dados possuem coerência.

Ao se observar o p-valor do teste de normalidade de todas as variáveis, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais é rejeitada, considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados não apresentam distribuição normal de probabilidade.

5.1.4 Esgoto tratado

A Tabela 5 apresenta o resumo estatístico das variáveis avaliadas no efluente tratado da estação de tratamento de esgoto. Os dados do esgoto tratado encontram-se no Anexo D.

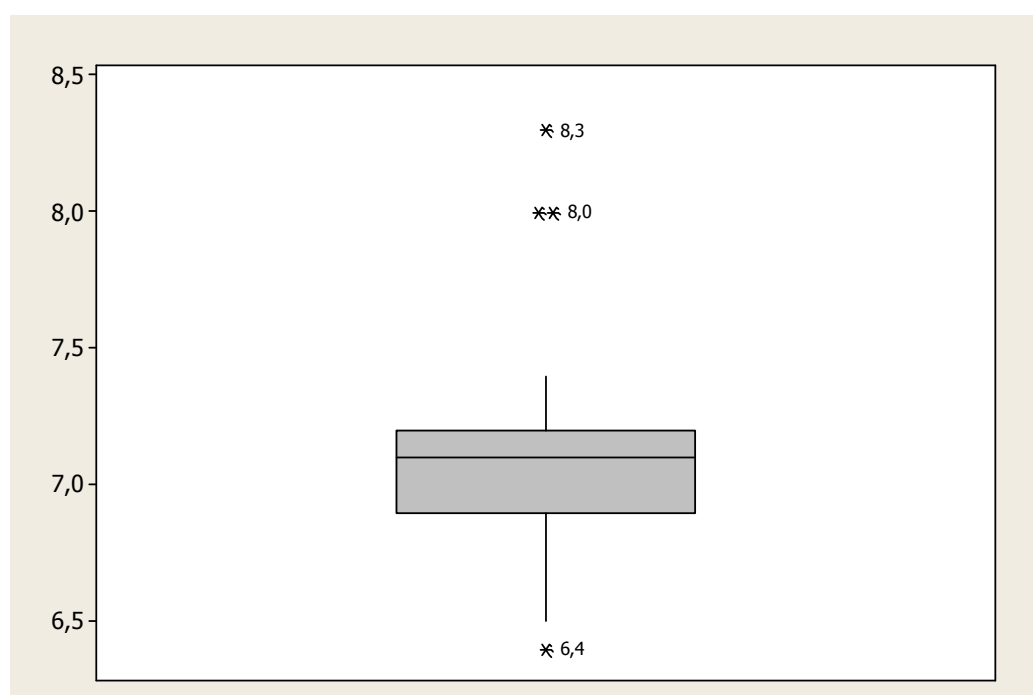
Tabela 5 Estatística descritiva dos dados referentes ao esgoto tratado

Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	C.V (%) ¹	Mínimo	Máximo	p-valor ²	AC ³
pH	7,10	7,10	0,40	5,70	6,40	8,30	0,093	Não
Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	0,33	0,20	0,35	105,92	0,10	1,80	<0,005	Não
SST (mg L ⁻¹)	49,73	40,00	31,03	62,40	8,00	144,00	0,059	Não
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	130,28	120,00	48,61	37,31	60,00	263,00	0,102	Não
DBO _{5,20} (mg O ₂ L ⁻¹)	53,53	47,50	23,69	44,26	26,40	131,50	<0,005	Não

¹ Coeficiente de variação em porcentagem. ² p-valor do teste de normalidade.

³ Autocorrelação temporal e dependência dos dados.

A variável pH apresentou um valor médio próximo da neutralidade e variou entre 6,4 e 8,3. O coeficiente de variação ficou a baixo de 10 % (por cento) e dessa maneira há baixa variabilidade nos dados (GOMES, 1987). Assim, ao se observar o gráfico *Boxplot* da Figura 24, verifica-se que existem 4 pontos discrepantes no conjunto de dados.

**Figura 24** Gráfico *Boxplot* para pH no esgoto tratado.

E ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais não é rejeitada considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados apresentam uma distribuição normal. Em relação ao pH, todas as amostras ficaram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05.

Silva et al (2007a) encontraram um valor médio de pH igual a 6,9 após a adição de cloreto férrico para o pós-tratamento de um efluente doméstico de uma estação de tratamento contendo um reator anaeróbio de fluxo ascendente como tratamento biológico.

Para os sólidos sedimentáveis, os valores situaram-se entre 0,1 a 1,8 mL L⁻¹ H⁻¹ e apresentam alta variabilidade, pois o coeficiente de variação ficou acima de 20% (GOMES, 1987). Ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais é rejeitada, considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados não apresentam distribuição normal de probabilidade.

A alta variabilidade nos dados pode ser justificada pelo arraste de sólidos do decantador do tratamento físico-químico nos horários de pico de vazão. Em relação aos sólidos sedimentáveis, apenas 3 % das amostras ficaram acima do limite máximo permitido para o lançamento de efluentes estabelecido pela resolução CONAMA 357/05. Observa-se também, na Figura 25, que os sólidos sedimentáveis possuem dois pontos discrepantes.

Para os sólidos suspensos totais, os valores variaram de 8 a 144 mg L⁻¹. Observa-se assim um elevado coeficiente de variação, consequentemente uma alta variabilidade nos dados. Ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais não é rejeitada, considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados apresentam distribuição normal de probabilidade.

E a alta variabilidade nos dados pode ser justificada pelo arraste de sólidos do decantador do tratamento físico-químico nos horários de pico de vazão. Essa alta variabilidade também pode ser justificada pela má operação do sistema físico-químico, uma vez que a dosagem do coagulante não seja feita de forma correta, o ponto isoelétrico (estabilização de cargas) não é alcançado, dessa maneira não desestabiliza os colóides (KATO & PIVELI, 2005) e o sistema pode formar flocos com peso insuficiente para que sedimentem. Assim, ao se compararem os dados com o padrão de lançamento máximo permitido, observa-se que 30 % amostras ultrapassaram o limite permitido pela licença ambiental da estação. Na Figura 26, observa-se que os sólidos suspensos possuem um ponto discrepante, o qual coincide com o ponto discrepante mais alto dos sólidos sedimentáveis.

Silva et al (2007a) encontraram um valor para sólidos suspensos totais igual a 4,8 mg L⁻¹.

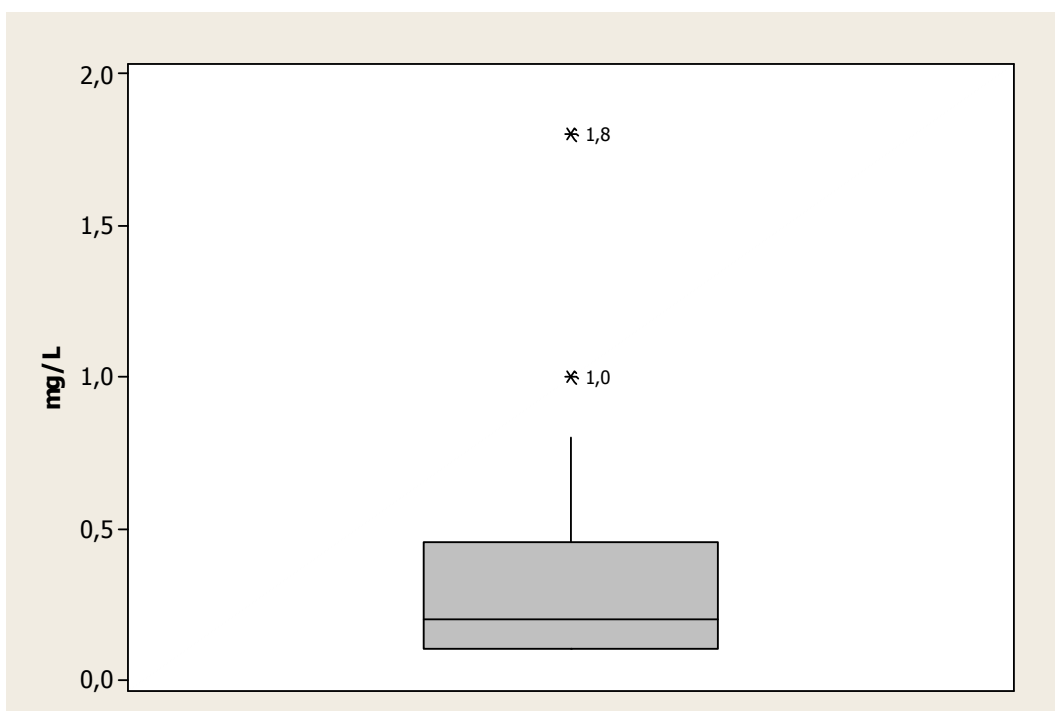


Figura 25 Gráfico *Boxplot* para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado.

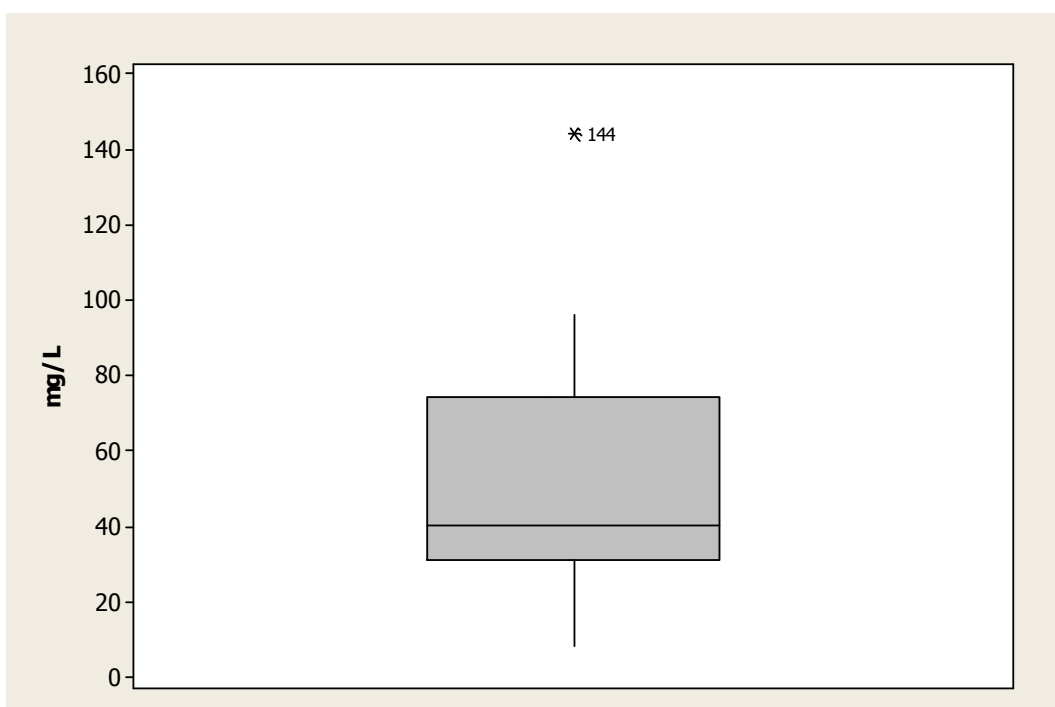


Figura 26 Gráfico *Boxplot* para os sólidos suspensos totais no esgoto tratado.

Para a variável DQO, os valores variaram de 60 a 263 mg L⁻¹. O coeficiente ficou acima de 30% e apresentou alta variabilidade dos dados. Ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais não é rejeitada, considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados apresentam uma distribuição normal de probabilidade. Quanto ao limite máximo de lançamento para a DQO, observa-se

que 30,3% das amostras ultrapassaram o limite permitido pela licença ambiental da estação.

Santos (2006), ao utilizar cloreto férrico no pós-tratamento de efluente de reator de manta de lodo, alcançou valores que variam de 97 a 160 mg L⁻¹ de DQO.

Para a DBO_{5,20}, os valores variaram de 26,4 a 131,5 mg L⁻¹. E em relação ao coeficiente de variação, tem-se uma alta variabilidade por esse encontrar-se acima de 20 %, conforme recomendações de Gomes (1987). Ao se observar o p-valor do teste de normalidade, admiti-se que a hipótese dos dados serem normais é rejeitada, considerando-se 5% de significância, ou seja, os dados não apresentam distribuição normal de probabilidade. Ao se compararem os dados com o padrão de lançamento máximo permitido, observa-se que 30,3 % amostras ultrapassaram o limite permitido pela licença ambiental da estação.

Aisse et al (2001), no trabalho citado anteriormente, encontraram valores que variaram de 4 a 28 mg L⁻¹ para DBO_{5,20}, valores inferiores aos do presente trabalho.

Observa-se na Figura 27 que, tanto a DQO quanto a DBO_{5,20} apresentaram pontos discrepantes. Esses valores foram obtidos na mesma amostra e os dados possuem coerência.

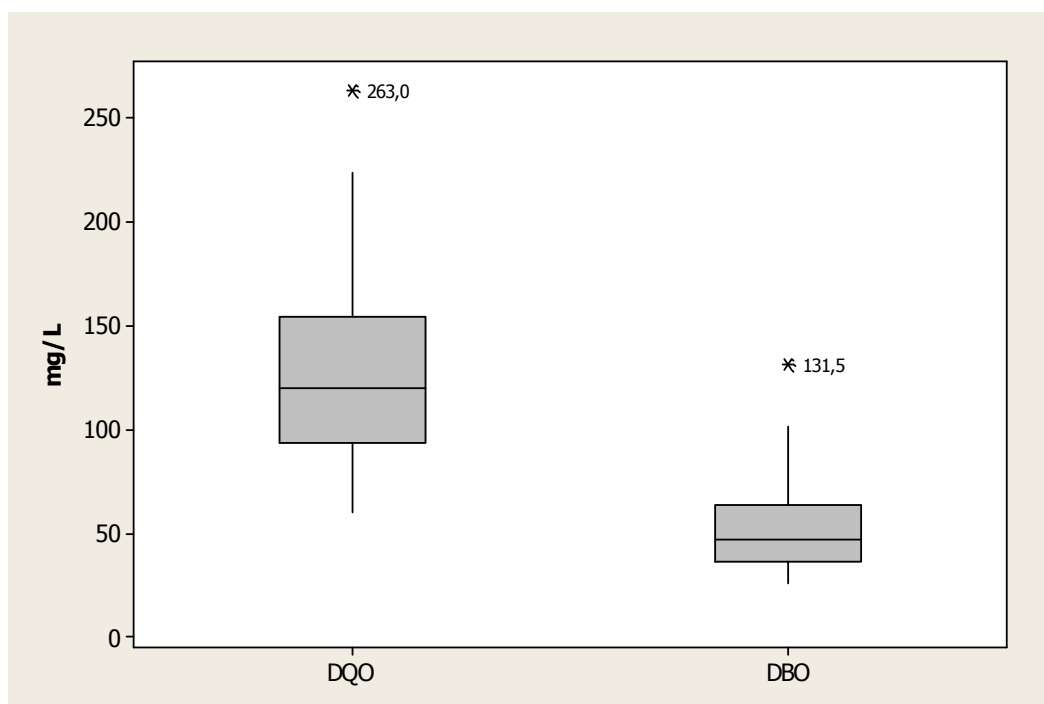


Figura 27 Gráfico *Boxplot* para a DQO e DBO_{5,20} no esgoto tratado.

5.2 Eficiência global da estação de tratamento de esgoto

Na Tabela 6 está a eficiência média de remoção dos sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, DQO e DBO_{5,20} na estação de tratamento de esgoto.

Tabela 6 Eficiência da estação de tratamento de esgoto

Variável	Média (%)	Desvio Padrão	C. V. (%)*
Sólidos sedimentáveis	95,88	3,82	3,99
Sólidos suspensos totais	86,14	7,46	8,66
DQO	85,63	6,39	7,46
DBO _{5,20}	89,13	4,55	5,11

* Coeficiente de variação em porcentagem.

Para os sólidos sedimentáveis, a eficiência média foi de 95,88 %. O coeficiente de variação mostra que não houve muita variação na eficiência. Aisse et al (2001), na avaliação do sistema RALF e flotação por ar dissolvido no tratamento de esgoto sanitário, ao se aplicar o cloreto férrico como coagulante, foram encontrados valores de remoção de sólidos sedimentáveis que variaram de 90 a 100%.

Para os sólidos suspensos totais, a eficiência média foi de 86,14 %. E o coeficiente de variação mostra que não houve variação na eficiência.

Já para a DQO, a eficiência média foi de 85,63 % e houve pouca variação, como se observa no baixo coeficiente de variação.

Ariano (2009), ao utilizar a coagulação com diferentes dosagens de cloreto férrico em função da variação da turbidez do esgoto, encontrou valores de eficiência de 86,21 % e 87,60% para sólidos suspensos totais e DQO, respectivamente.

Para a DBO_{5,20}, a eficiência média foi de 89,13 % e também apresentou baixo coeficiente de variação. Aisse et al (2001) encontraram valores de eficiência de 92 % para a DBO_{5,20}, próximos aos do presente estudo.

5.3 Gráficos de controle

5.3.1 Esgoto bruto

5.3.1.1 Potencial hidrogeniônico – pH

Na Figura 28, mostra-se o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável pH.

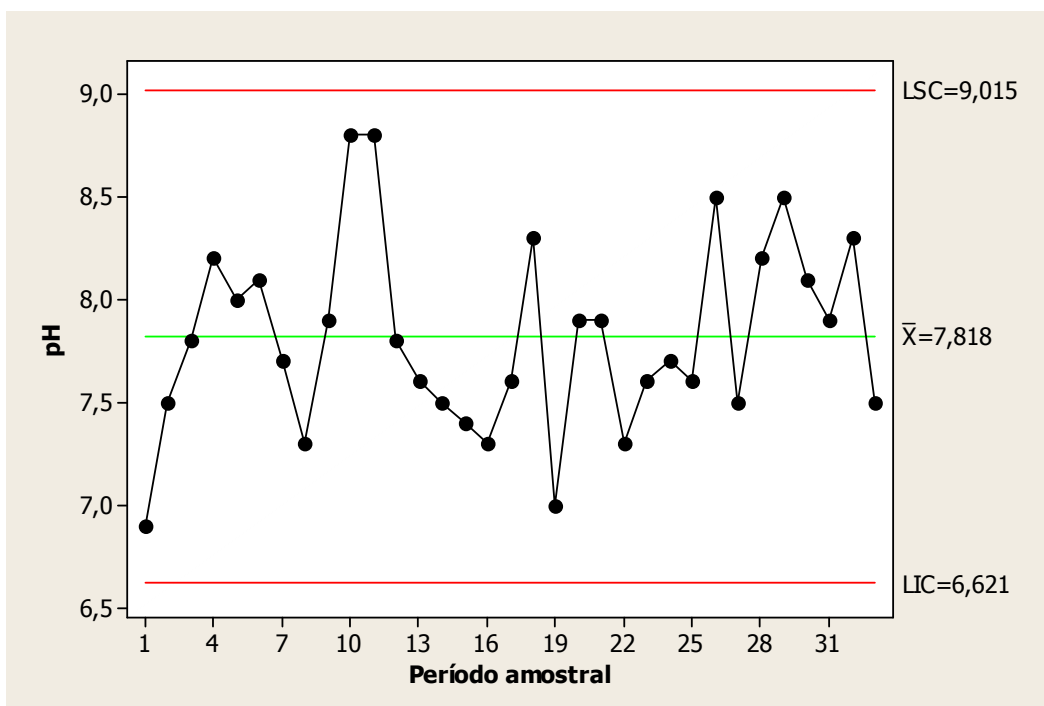


Figura 28 Gráfico de medida individual de Shewhart para o pH no esgoto bruto.

Observa-se no gráfico acima que o pH do esgoto bruto está sob controle estatístico, pois não apresenta pontos fora dos limites de controle e comportamento sistemático ou não-aleatório. Esse comportamento do pH é satisfatório, pois esse parâmetro, segundo Grady et al (1999), é interferente no processo anaeróbio de tratamento de efluentes.

Na Figura 29, pode-se verificar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável pH.

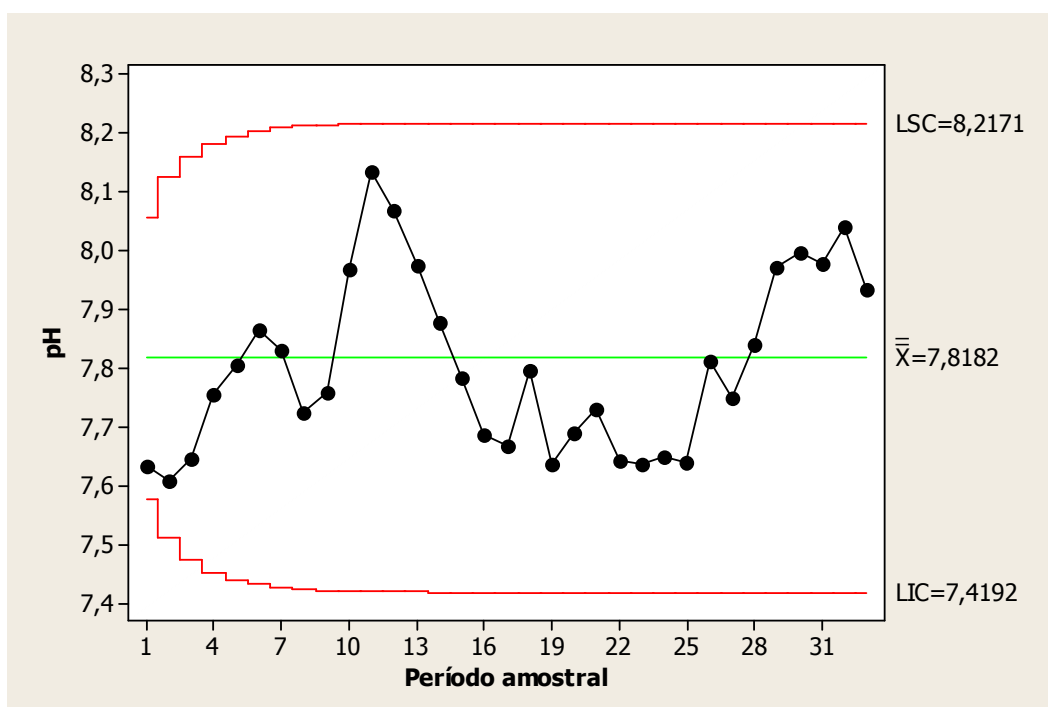


Figura 29 Gráfico MMEP para o pH no esgoto bruto.

Observa-se no o gráfico MMEP que o processo está em controle estatístico pois não apresenta nenhum ponto fora dos limites de controle estatístico, reafirmando o que pode ser observado no gráfico de medida individual de Shewhart.

5.3.1.2 Sólidos sedimentáveis

Na Figura 30, pode-se verificar o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável sólidos sedimentáveis.

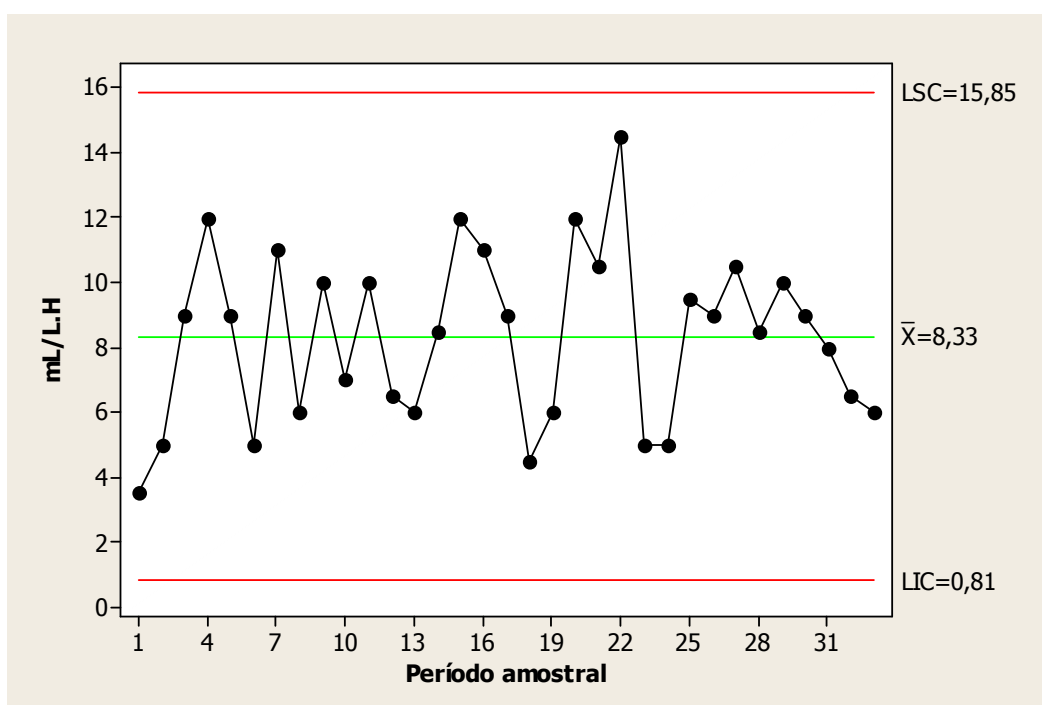


Figura 30 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no esgoto bruto.

Observa-se no gráfico acima que os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto está sob controle estatístico, pois não apresenta pontos fora dos limites de controle, nem comportamento sistemático ou não-aleatório. Apesar desses apresentarem alta variabilidade em função do coeficiente de variação, a heterogeneidade não foi capaz de ultrapassar os limites de controle estatístico, construídos com três desvios padrões.

Na Figura 31, pode-se verificar o gráfico de média móvel, exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos sedimentáveis.

Observa-se no gráfico MMEP, assim como verificado no gráfico de medida individual de Shewhart que, para os sólidos sedimentáveis, o processo está sob controle, pois não possui pontos fora dos limites de controle estatístico.

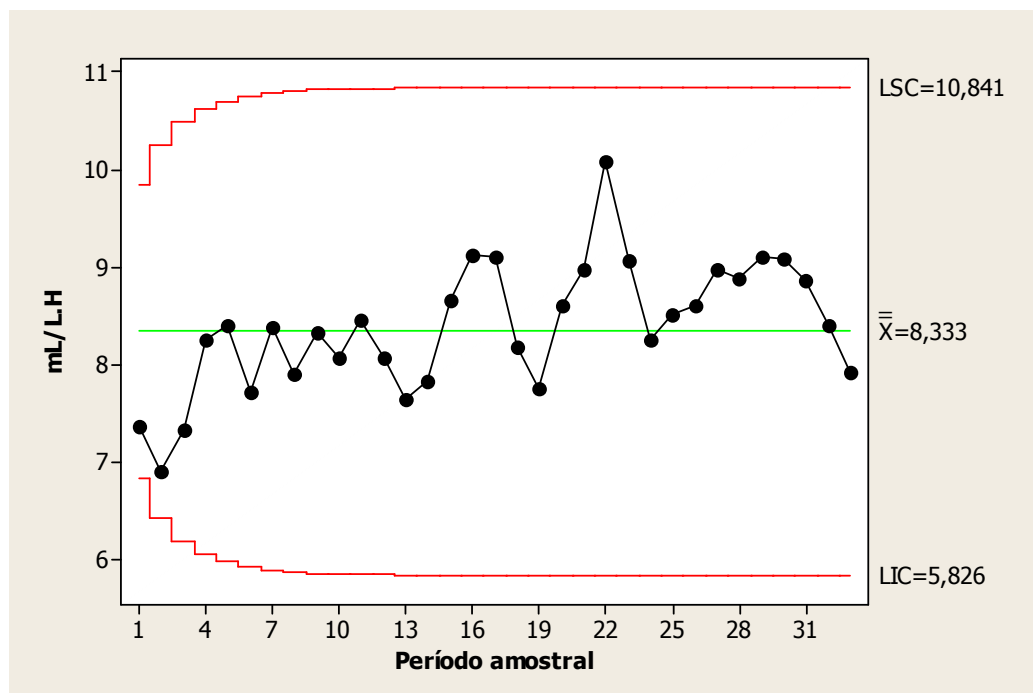


Figura 31 Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis no esgoto bruto.

5.3.1.3 Sólidos suspensos totais

Na Figura 32 encontra-se o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável sólidos suspensos totais.

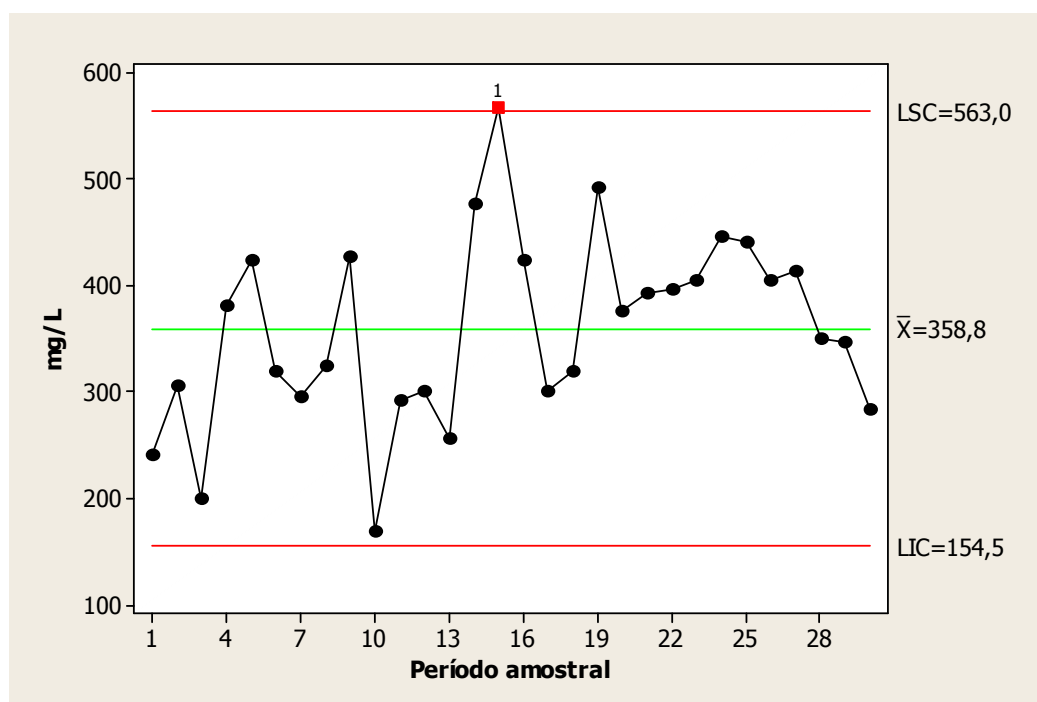


Figura 32 Gráfico da medida individual de Shewhart para os sólidos suspensos totais no esgoto bruto.

Na Figura 32, pode-se observar que para a variável sólidos suspensos totais, o esgoto bruto apresenta-se fora de controle estatístico, pois a amostra 15 situa-se acima do limite superior de controle e entre as amostras 20 a 27 há um deslocamento no nível do processo. Von Sperling (1996) cita que a faixa típica para a concentração de sólidos suspensos totais é de 240 a 550 mg L⁻¹. Dessa maneira, o valor que extrapolou o limite superior também está fora dessa faixa. Para analisar os sólidos suspensos totais, utilizam-se procedimentos gravimétricos (diferença de massa), os quais sofrem interferência se não há a remoção total de umidade, o que pode ter acontecido na amostra 15.

Na Figura 33, pode-se observar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos suspensos totais. Não há pontos fora dos limites de controle e isso indica que o processo está sob controle estatístico, porém, o gráfico detecta uma mudança no processo nos pontos 13, 14 e 15. Observa-se que do ponto 1 ao 14 há uma tendência dos valores ficarem abaixo da linha central com valores que variam de 168 a 476 mg L⁻¹. No entanto, a partir do ponto 15, há uma tendência dos pontos ficarem acima da linha central com valores que variam de 284 a 566,7 mg L⁻¹. Isso demonstra que o gráfico MMEP detectou um acréscimo na concentração média de sólidos suspensos totais, ou seja, ocorreu algo na rede coletora de esgoto que incorporou o esgoto doméstico.

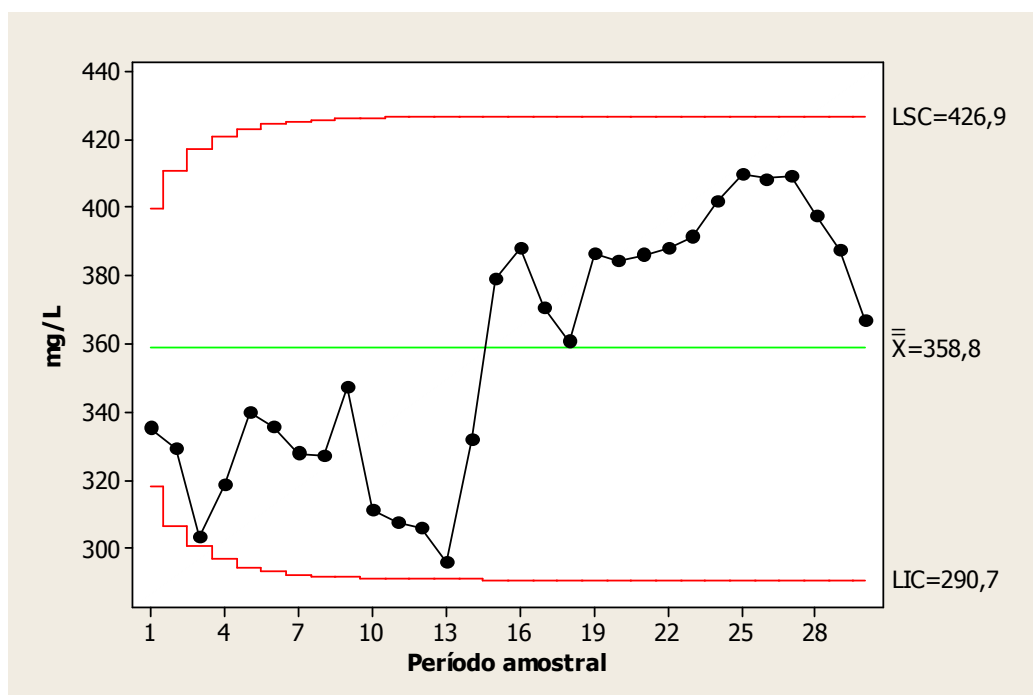


Figura 33 Gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais no esgoto bruto.

5.3.1.4 Demanda química de oxigênio – DQO

Na Figura 34, pode-se observar o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável DQO.

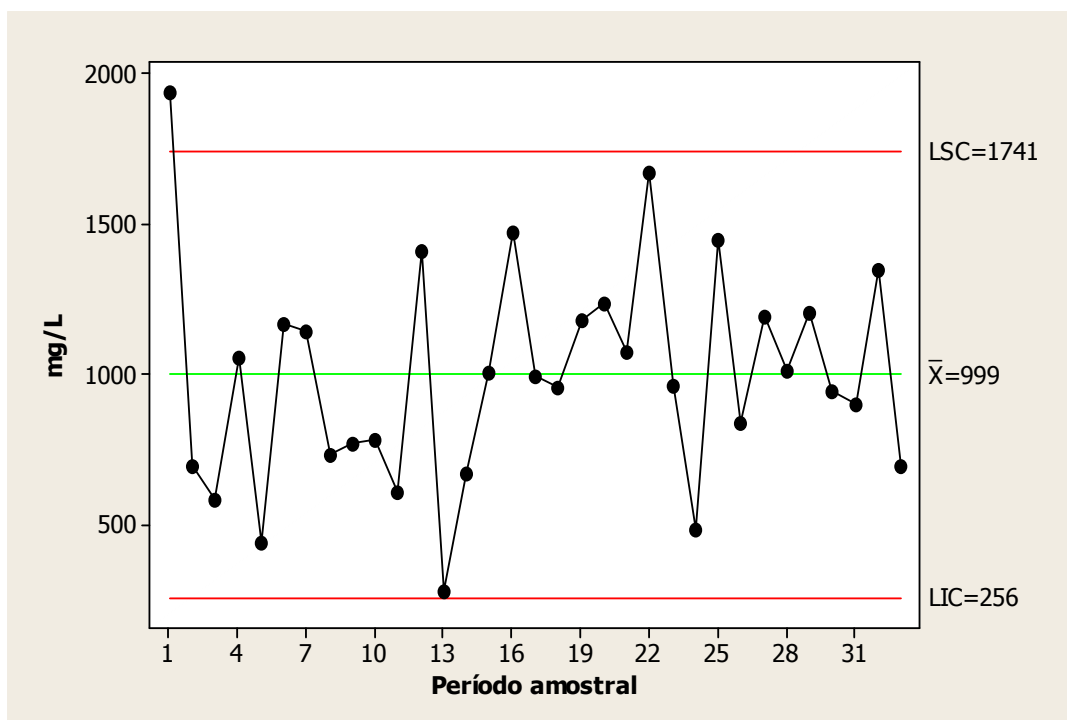


Figura 34 Gráfico de medida individual de Shewhart para DQO no esgoto bruto.

Observa-se no gráfico que a DQO do esgoto bruto não está sob controle estatístico, pois o ponto 1 localiza-se fora do limite superior de controle estatístico. O valor da amostra 1 apresenta uma concentração elevada e incomum para esgoto doméstico.

Já na Figura 35, pode-se visualizar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável DQO.

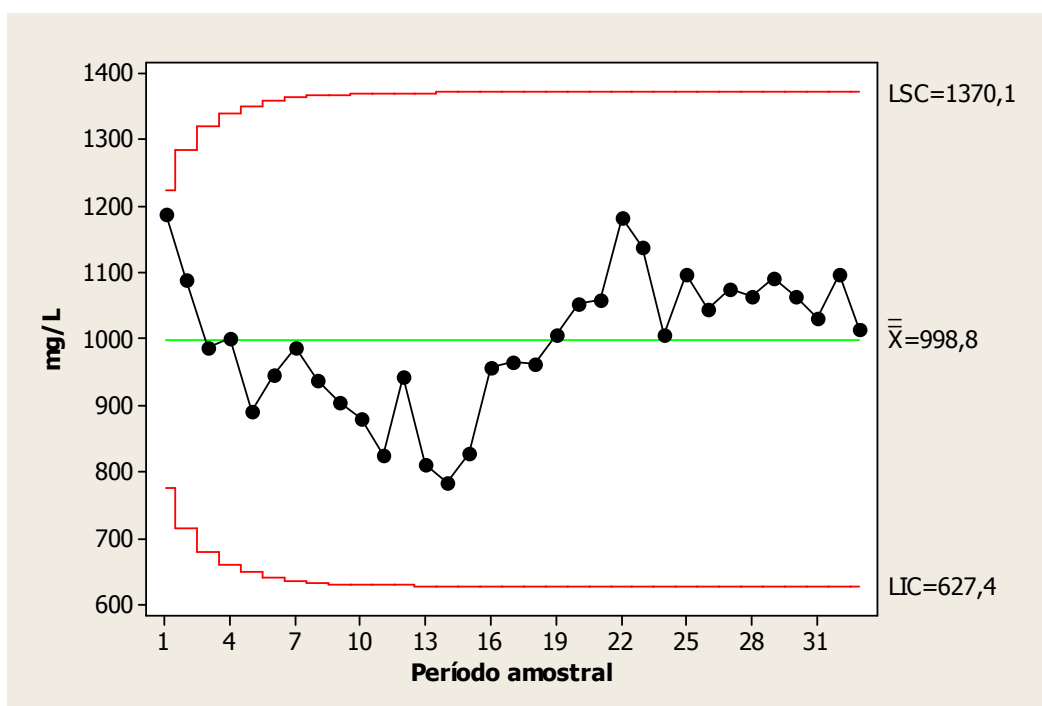


Figura 35 Gráfico MMEP para a DQO no esgoto bruto.

Observa-se no gráfico MMEP que, para a DQO, o processo está sob controle, diferente de como está apresentado no gráfico de medida individual de Shewhart. Essa diferença acontece devido à falta de reação rápida que o gráfico MMEP tem com relação às mudanças bruscas. Isso pode ser comparado ao gráfico individual de Shewhart (MONTGOMERY, 2004).

5.3.1.5 Demanda bioquímica de oxigênio – $\text{DBO}_{5,20}$

Na Figura 36, pode-se verificar o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável $\text{DBO}_{5,20}$.

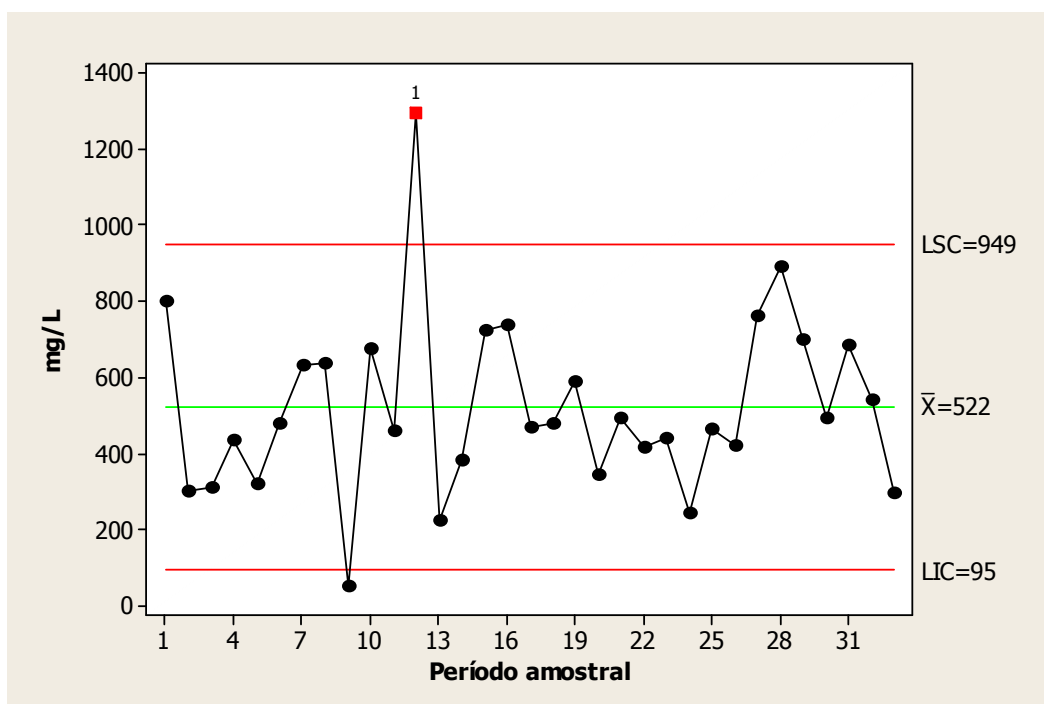


Figura 36 Gráfico de medida individual de Shewhart para $\text{DBO}_{5,20}$ no esgoto bruto.

A Figura 36 representa que para a variável $\text{DBO}_{5,20}$, o esgoto bruto apresenta-se fora de controle estatístico, pois a amostra 9 situa-se abaixo do limite inferior de controle e amostra 12 acima do limite superior de controle estatístico. A concentração de DBO na amostra 9 é baixa para o esgoto bruto, dessa maneira, um erro analítico de análise laboratorial é a possível causa para tal valor. Por ser uma concentração tipicamente alta para o parâmetro $\text{DBO}_{5,20}$, tratando-se de esgoto doméstico, a provável causa de tal comportamento na amostra 12 é o lançamento de algum efluente não doméstico com elevada carga orgânica na rede de coleta de esgoto. O gráfico também apresenta um deslocamento no processo abaixo da linha média entre os pontos 20 e 26. Os valores de concentração de $\text{DBO}_{5,20}$ nesses pontos variaram de 243,5 a 494,5 mg L^{-1} , os quais são

típicos de esgoto doméstico sem tratamento. Esse deslocamento ocorre, pois valores muito elevados, incomuns para o esgoto doméstico, elevam a média.

Na Figura 37, pode-se observar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável $DBO_{5,20}$.

No gráfico MMEP para a $DBO_{5,20}$ observa-se, diferentemente do gráfico de medida individual de Shewhart, que o processo está sob controle estatístico. Essa diferença acontece devido à falta de reação rápida que o gráfico MMEP tem a mudanças bruscas, quando comparado ao gráfico individual de Shewhart (MONTGOMERY, 2004).

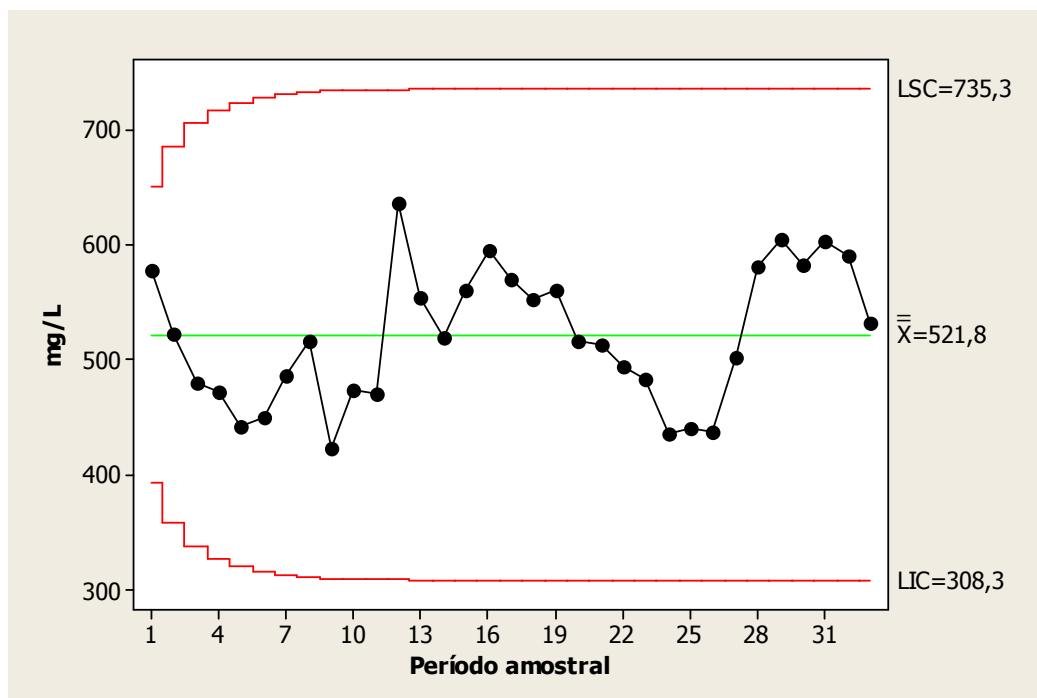


Figura 37 Gráfico MMEP para a $DBO_{5,20}$ no esgoto bruto.

5.3.2 Saída do Ralf I

Os dados do Ralf I não apresentaram normalidade, dessa maneira a construção dos gráficos de medida individual de Shewhart foi realizada com dados transformados.

5.3.2.1 Potencial hidrogeniônico – pH

Na Figura 38, está o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável pH. Foi utilizado λ igual a -5 para a transformação *Box-Cox*.

Observa-se no gráfico que o processo está fora de controle estatístico por apresentar um ponto fora dos limites de controle estatístico. E ao se observar o dado não transformado, verifica-se que o valor é igual a 8,4, que é um ponto discrepante dentro do conjunto de dados. Grady et al (1999) citam que a temperatura é um dos fatores que afeta o

desempenho dos reatores anaeróbios. Essa amostra foi coletada no inverno e a temperatura pode ter sido um fator para tal comportamento, porém não há o registro do valor da temperatura. Também foram observados valores elevados nos outros parâmetros.

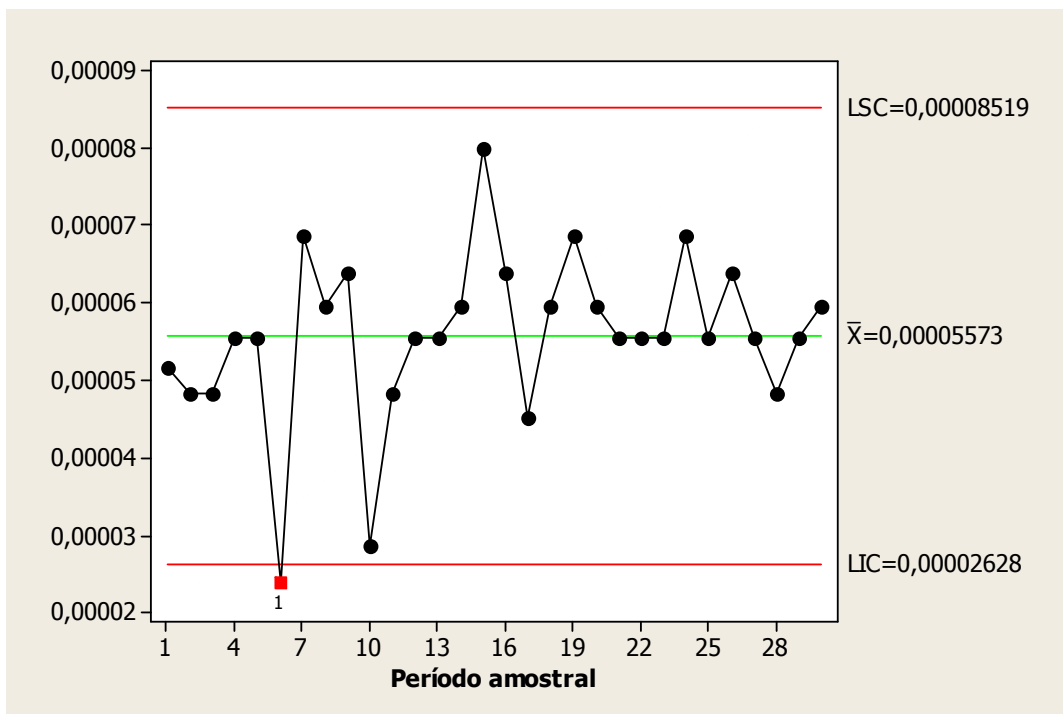


Figura 38 Gráfico de medida individual de Shewhart para o pH no efluente do Ralf I.

Na Figura 39, pode-se verificar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável pH.

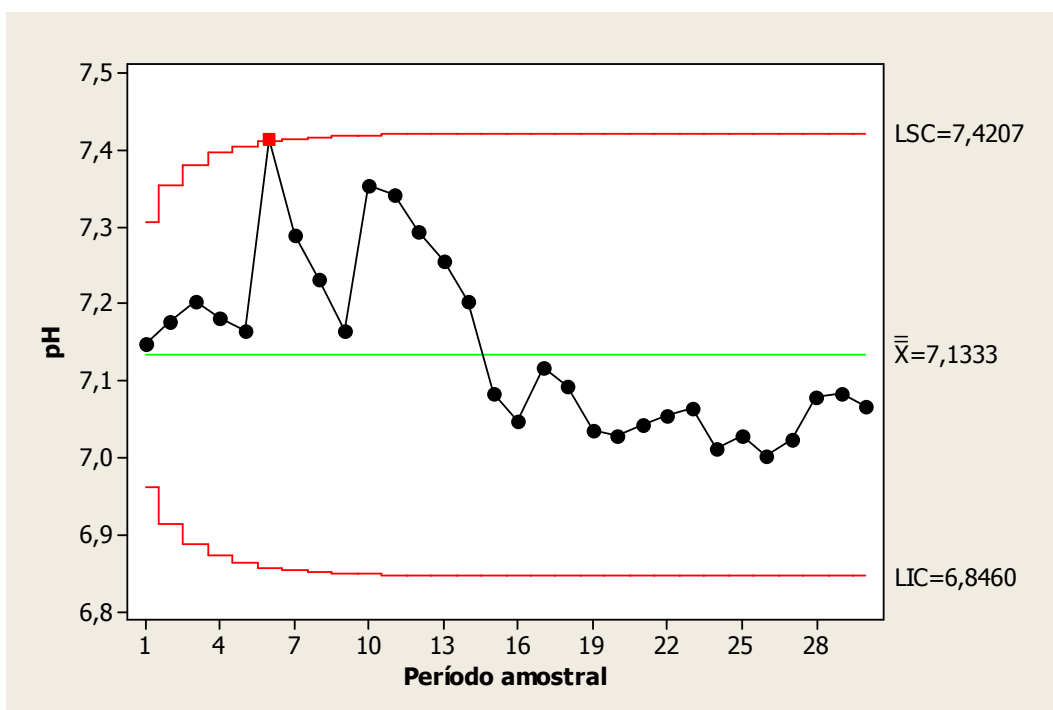


Figura 39 Gráfico MMEP para a pH do efluente do Ralf I.

A partir do gráfico MMEP, observa-se que o processo está fora de controle estatístico, pois o ponto 6 extrapolou o limite superior de controle estatístico, da mesma forma que está mostrado na carta de medida individual de Shewhart.

5.3.2.2 Sólidos sedimentáveis

Na Figura 40, é mostrado o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável sólidos sedimentáveis em que foi utilizado λ igual a 0 para a transformação *Box-Cox*.

Observa-se no gráfico que os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto está sob controle estatístico, pois não apresenta pontos fora dos limites de controle nem comportamento sistemático ou não-aleatório. Apesar desses apresentarem alta variabilidade em função do coeficiente de variação, a heterogeneidade não foi capaz de ultrapassar os limites de controle estatístico com três desvios padrões.

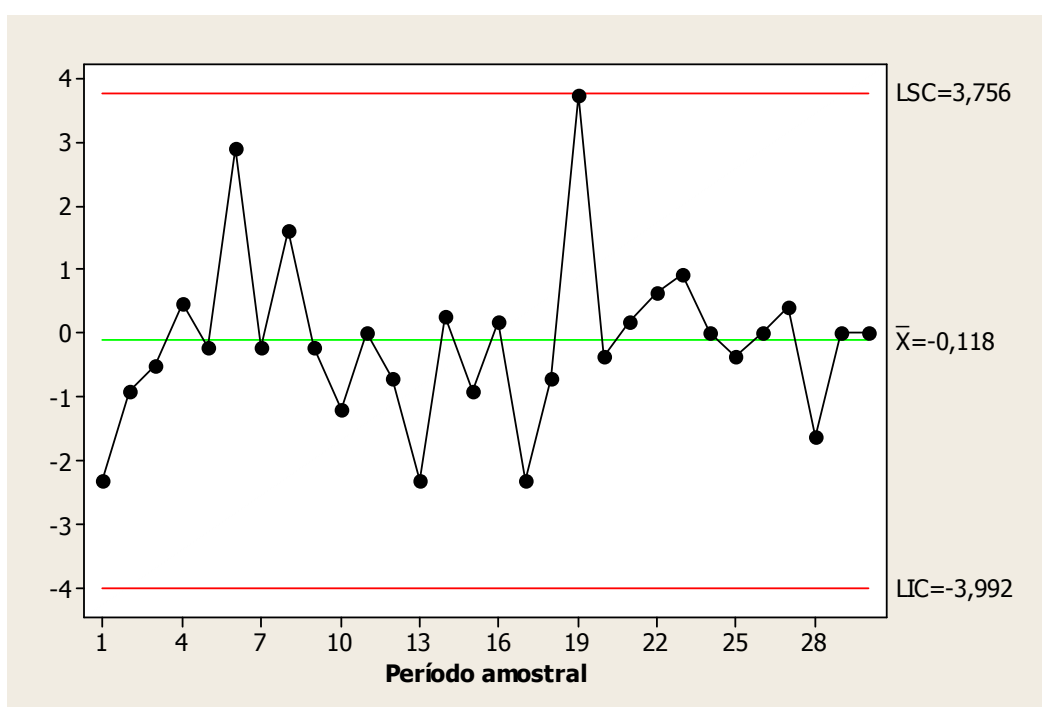


Figura 40 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no efluente do Ralf I.

Na Figura 41 está mostrado o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos sedimentáveis. Diferente do gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis, o gráfico MMEP detectou falhas no processo do reator anaeróbio ao apontar que esse está fora do controle estatístico de qualidade.

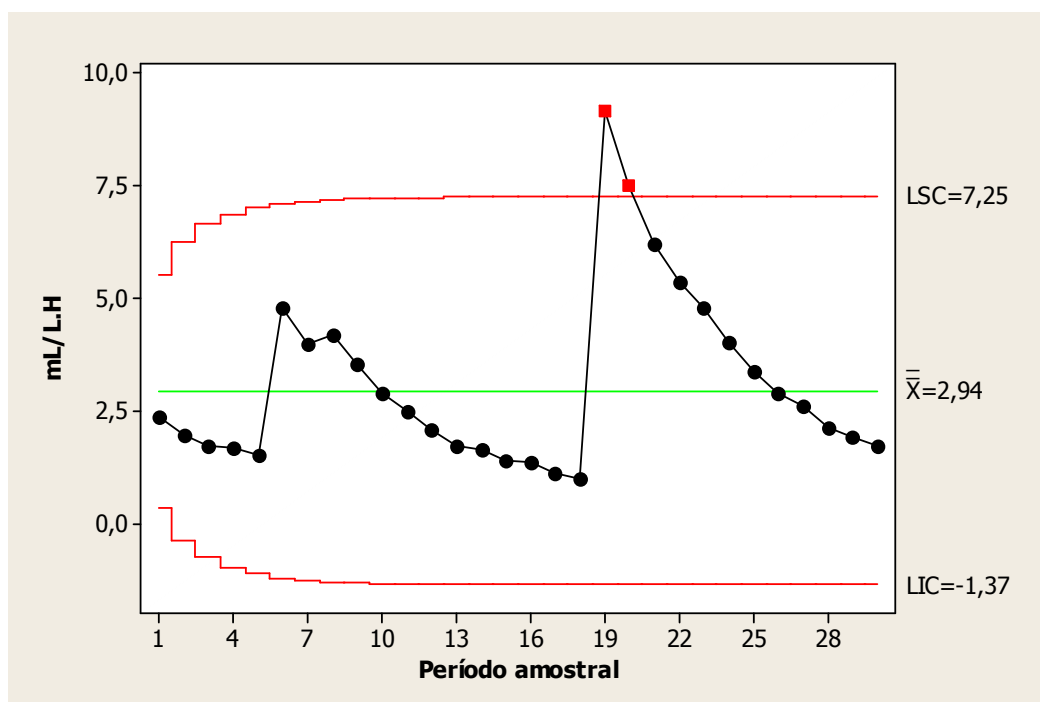


Figura 41 Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis do efluente do Ralf I.

As mudanças detectadas decorrem da variação de vazão, onde nos horários de picos há o arraste do lodo da manta de lodo reator. Esse comportamento não é o normal e demonstra falhas na operação, no que diz respeito à remoção do excedente de lodo ou então a vazão da estação supera a projetada para o reator.

5.3.2.3 Sólidos suspensos totais

Na Figura 42 encontra-se o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável sólidos suspensos totais. Assim, foi utilizado λ igual a -0,5 para a transformação *Box-Cox*.

O gráfico mostra que para o efluente do Ralf I os sólidos suspensos totais estão fora de controle estatístico, pois o ponto 19 extrapolou os limites de controle estatístico e um padrão de mistura entre os pontos 17 e 19. Logo, ao se verificarem os dados não transformados, o ponto 17 é igual a 1870 mg L^{-1} . E ao se associar tal valor com o de sólidos sedimentáveis da mesma amostra, verifica-se que o primeiro também se encontra elevado. Dessa maneira, tal valor pode ser justificado pela má operação do reator anaeróbio, uma vez que há a necessidade de remoção do lodo excedente. Outro fator que pode ter contribuído é o horário de coleta, pois nos horários de pico de vazão, há o arraste de lodo no Ralf.

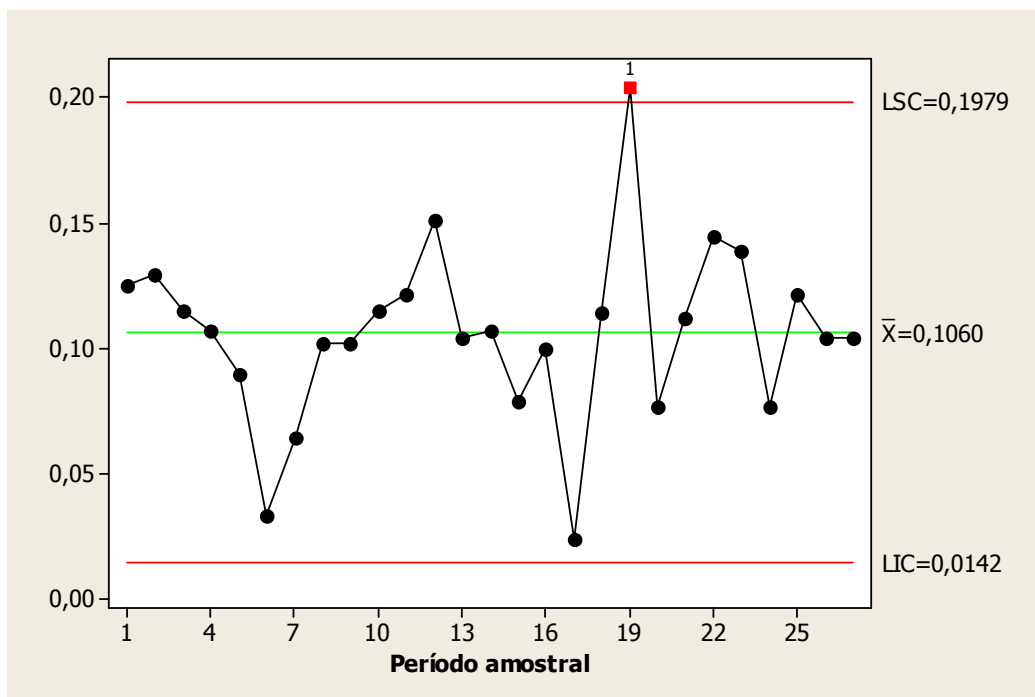


Figura 42 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos suspensos totais no efluente do Ralf I.

Na Figura 43, encontra-se o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos suspensos totais.

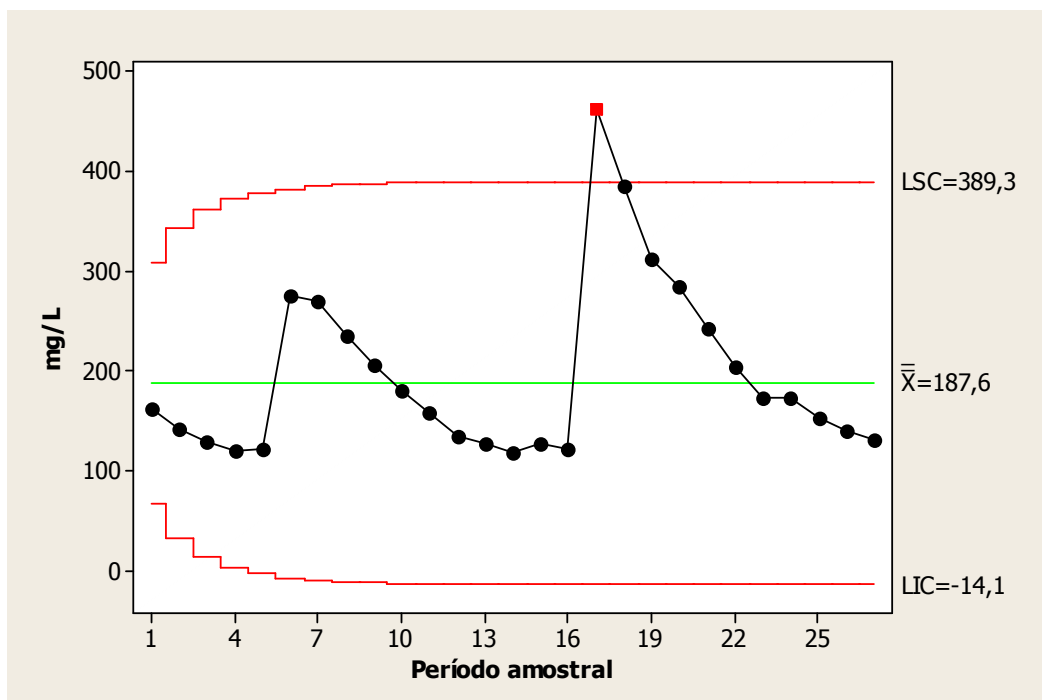


Figura 43 Gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais do efluente do Ralf I.

O gráfico MMEP para os sólidos suspensos aponta falhas no processo na mesma amostra, o qual foi detectado para o gráfico MMEP dos sólidos sedimentáveis. Isso reforça os problemas de retenção de sólidos que o reator apresenta.

5.3.2.4 Demanda química de oxigênio – DQO

Na Figura 44, pode-se observar o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável DQO. Foi utilizado λ igual a -1 para a transformação *Box-Cox*.

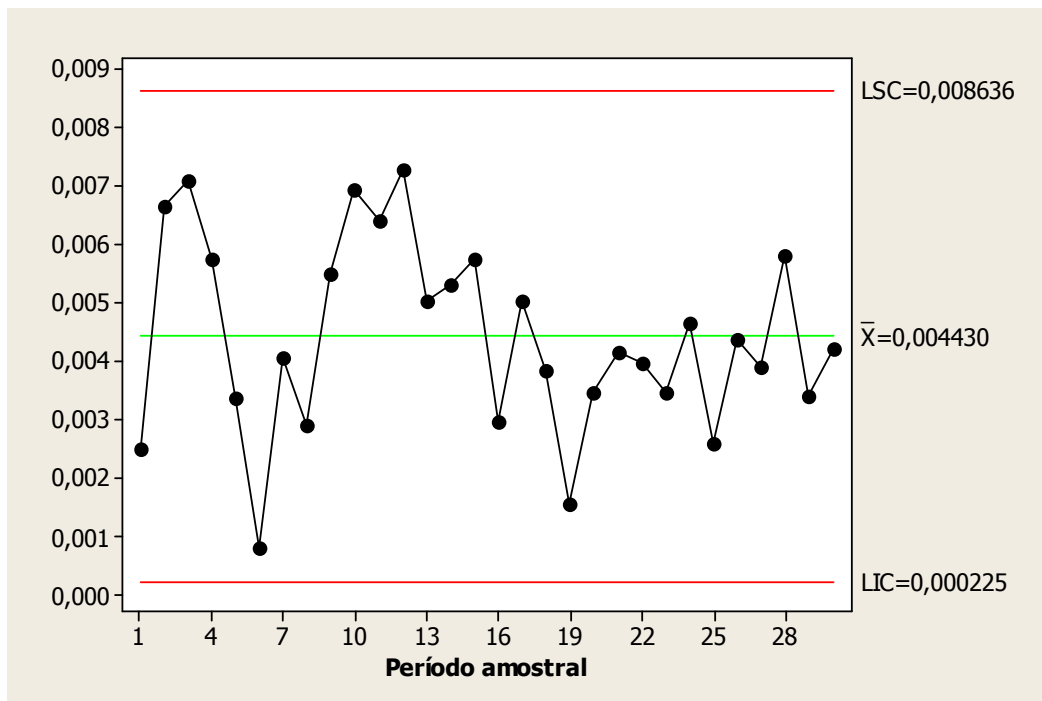


Figura 44 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DQO no efluente do Ralf I.

Observa-se no gráfico que o processo está fora de controle, pois apresenta um deslocamento do nível do processo entre os pontos 9 e 15 e nos pontos 18 ao 23. Ao serem analisados os dados não transformados, observa-se que os valores de DQO dos pontos 9 ao 15 são considerados baixos. Isto indica que a estação possuía boa remoção de matéria orgânica. Já entre os pontos 18 e 23, observam-se concentrações maiores para a DQO, ou seja, provavelmente a estação perdeu eficiência na remoção de matéria orgânica. Isso pode ser devido ao fato do aumento da vazão e consequentemente menor tempo de detenção no reator, fazendo com que o tratamento seja incompleto.

O gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável DQO pode ser visto na Figura 45.

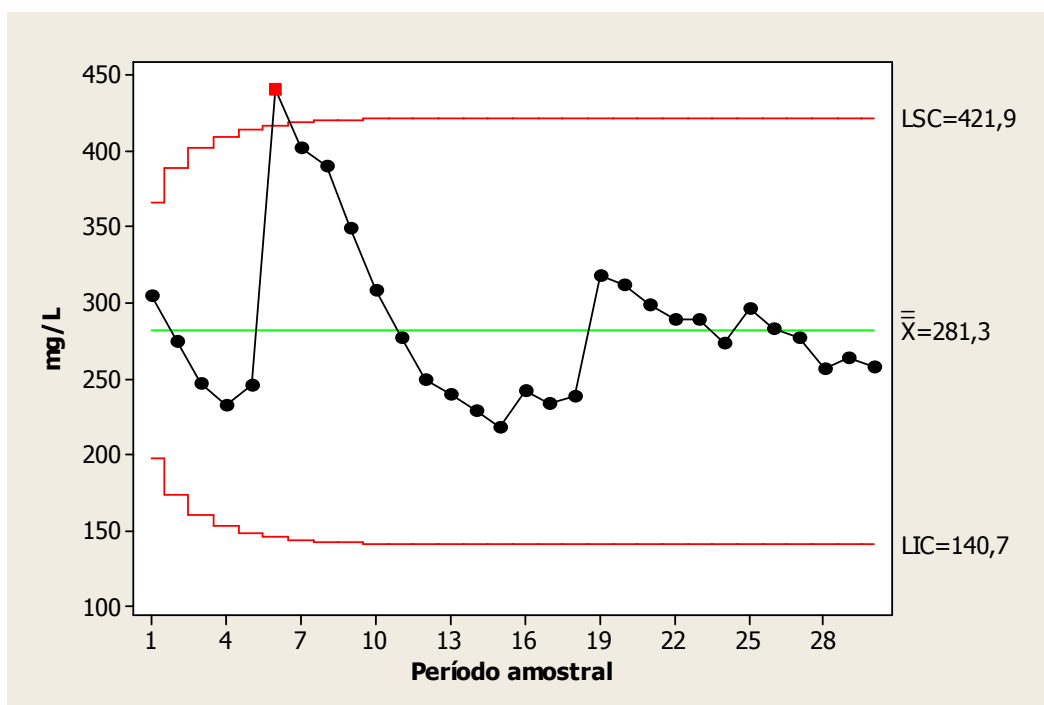


Figura 45 Gráfico MMEP para a DQO do efluente do Ralf I.

A partir do gráfico MMEP para a DQO, observa-se que o ponto 6 está acima do limite superior de controle estatístico. Isso caracteriza um processo fora de controle estatístico. O valor dessa amostra é um ponto discrepante no conjunto de dados. Tal comportamento pode ter ocorrido pela alta variação de carga que a estação de tratamento sofre.

5.3.2.5 Demanda bioquímica de oxigênio – $DBO_{5,20}$

O gráfico de medida individual de Shewhart para a variável $DBO_{5,20}$ pode ser visto na Figura 46, bem como foi utilizado λ igual a -0,5 para a transformação *Box-Cox*.

Observa-se no gráfico que, para a $DBO_{5,20}$, o efluente do Ralf I está sob controle estatístico, pois não apresenta pontos fora dos limites de controle nem comportamento sistemático ou não-aleatório.

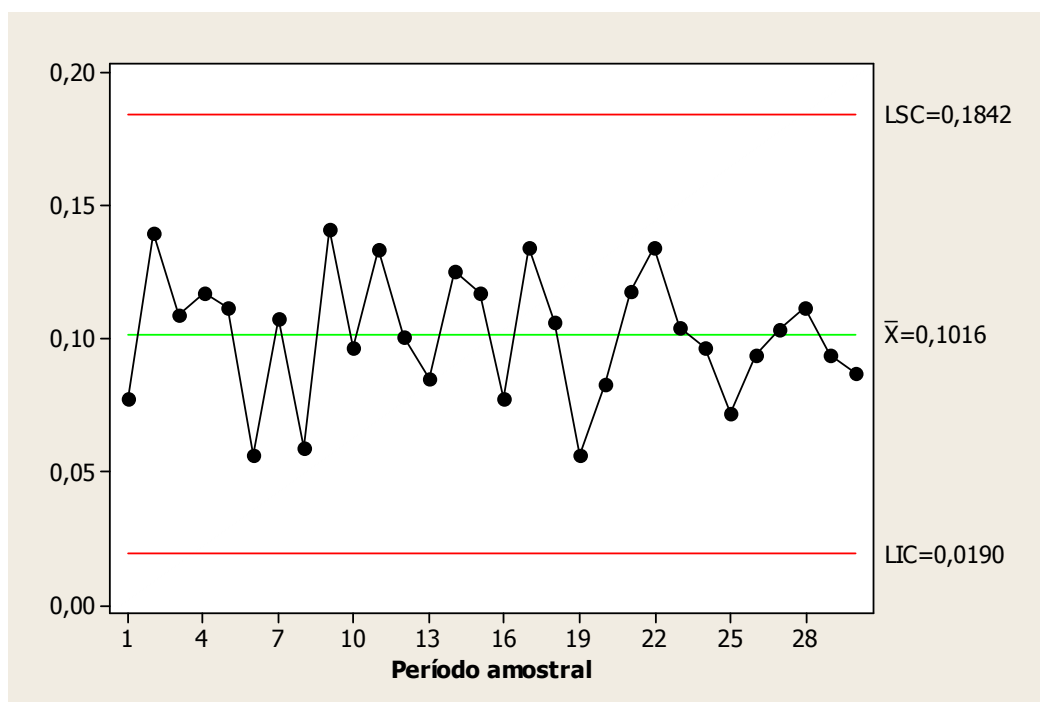


Figura 46 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DBO_{5,20} no efluente do Ralf I.

Na Figura 47, pode-se visualizar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável DBO_{5,20}.

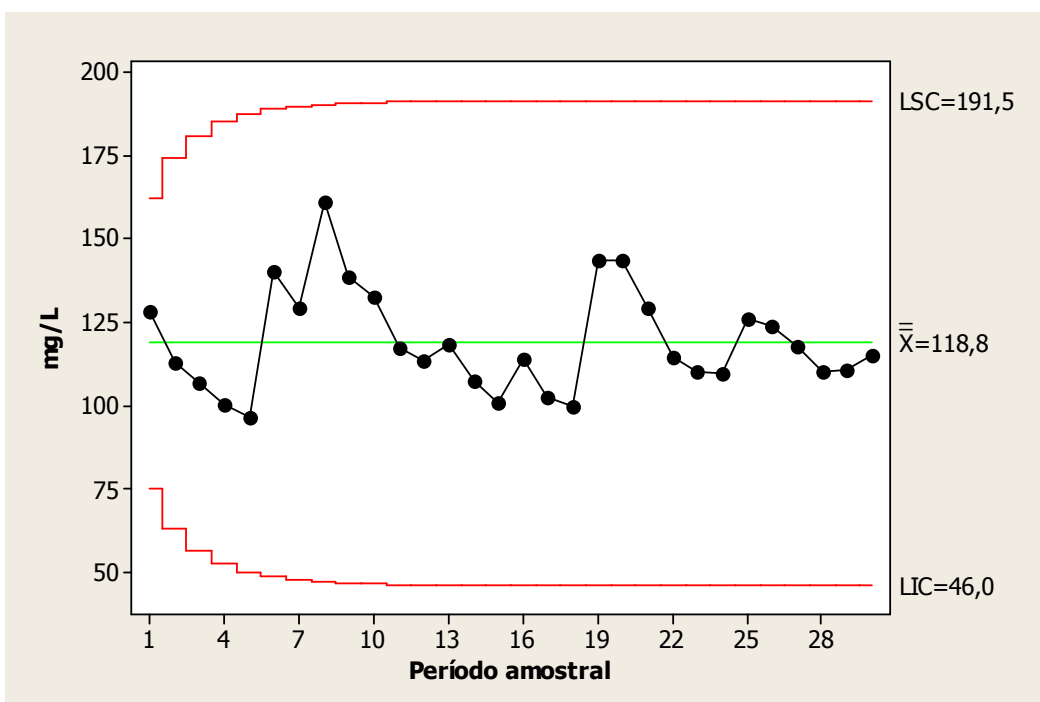


Figura 47 Gráfico MMEP para a DBO_{5,20} do efluente do Ralf I.

Para a DBO_{5,20}, o gráfico MMEP demonstra que o processo está sob controle estatístico, pois não observa-se nenhum ponto fora dos limites de controle estatístico, assim como pode ser conferido no gráfico de medida individual de Shewhart.

5.3.3 Saída do Ralf II

Os dados do Ralf II não apresentaram normalidade, dessa maneira a construção dos gráficos foi realizada com dados transformados.

5.3.3.1 Potencial hidrogeniônico – pH

Na Figura 48 encontra-se o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável pH, e foi utilizado λ igual a -5 para a transformação *Box-Cox*.

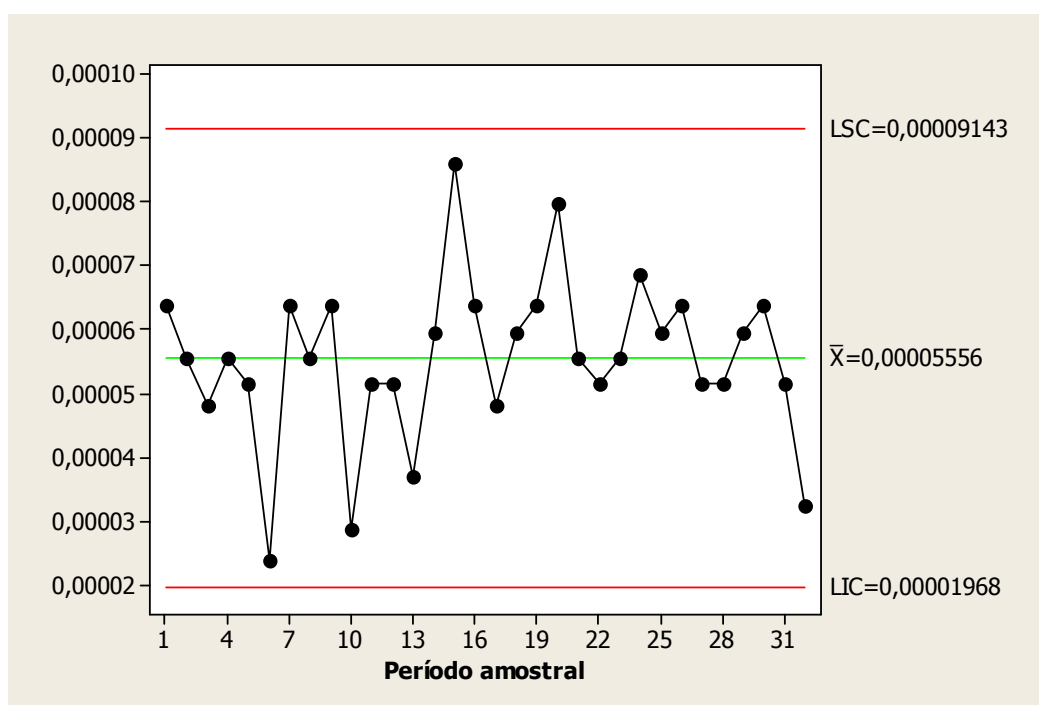


Figura 48 Gráfico de medida individual de Shewhart para o pH no efluente do Ralf II.

Observa-se no gráfico que o pH do efluente do Ralf II está sob controle estatístico, pois não apresenta pontos fora dos limites de controle e comportamento sistemático ou não-aleatório.

Na Figura 49, encontra-se o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável pH.

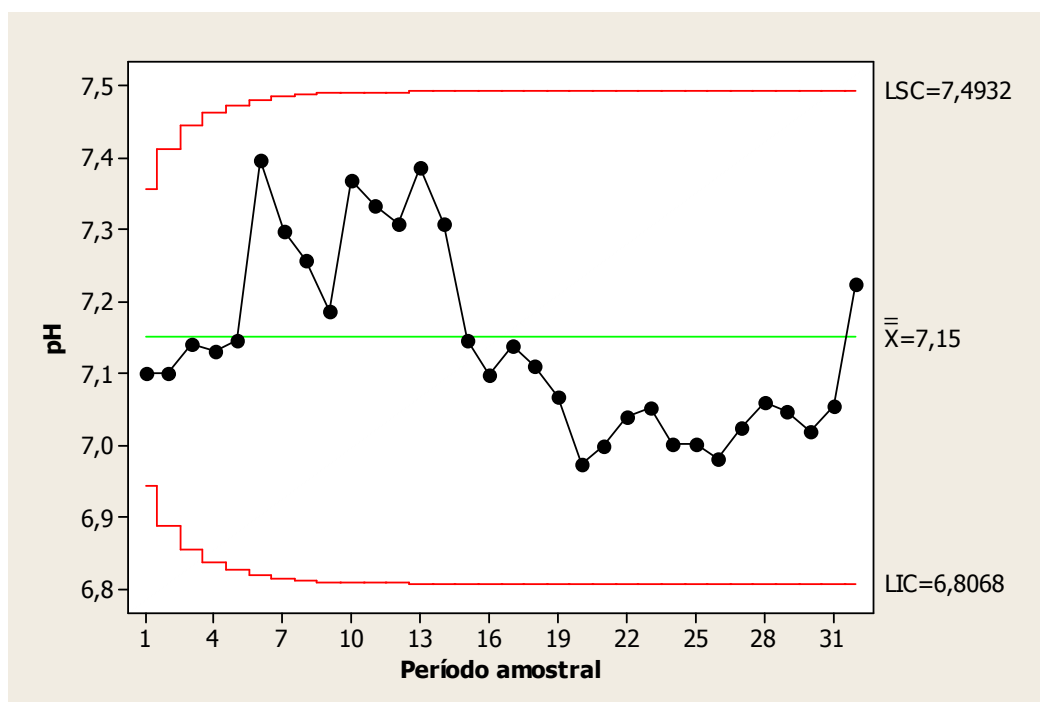


Figura 49 Gráfico MMEP para a pH do efluente do Ralf II.

No gráfico MMEP, observa-se que o processo está sob controle estatístico, pois não existem pontos fora dos limites de controle estatístico.

5.3.3.2 Sólidos sedimentáveis

Na Figura 50 está apresentado o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável sólidos sedimentáveis e foi utilizado λ igual a 0 para a transformação *Box-Cox*.

A variável sólidos sedimentáveis foi considerada como fora de controle estatístico no efluente do Ralf II, pois o ponto 8 ficou acima do limite superior de controle. O dado não transformado é igual a $17 \text{ mL L}^{-1} \text{ H}^{-1}$ e é um ponto discrepante no conjunto de dados. Essa alta concentração pode ser justificada pela variação da vazão do esgoto. Nos horários de pico, ocorre o arraste da manta de lodo, o qual é biomassa com boa decantabilidade, dessa maneira, caracterizam-se fisicamente em sólidos sedimentáveis.

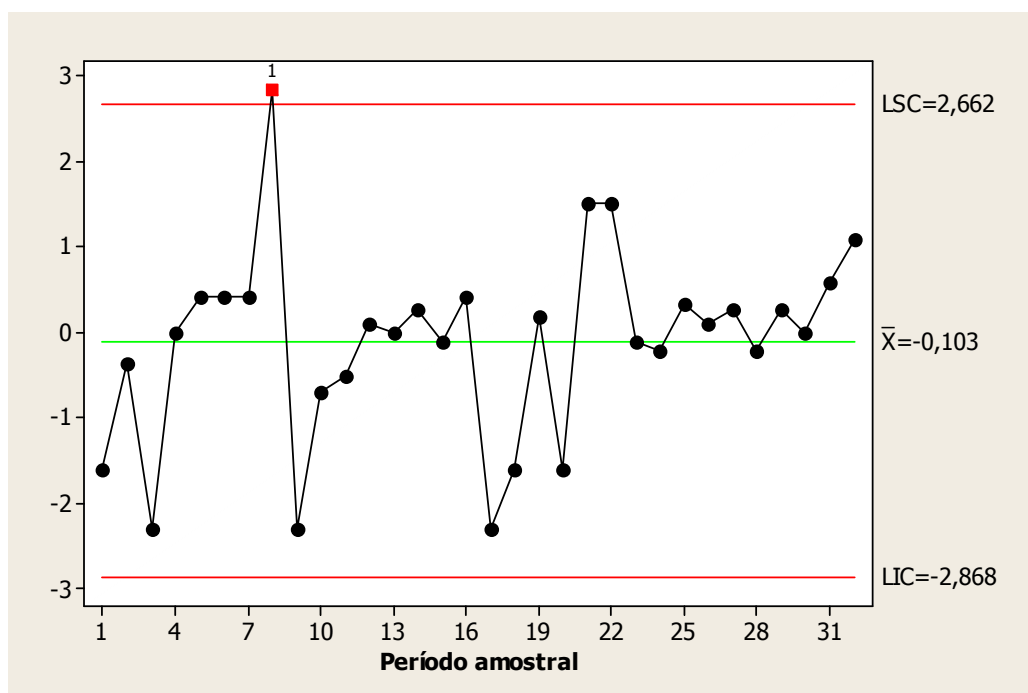


Figura 50 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no efluente do Ralf II.

Na Figura 51 pode-se visualizar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos sedimentáveis.

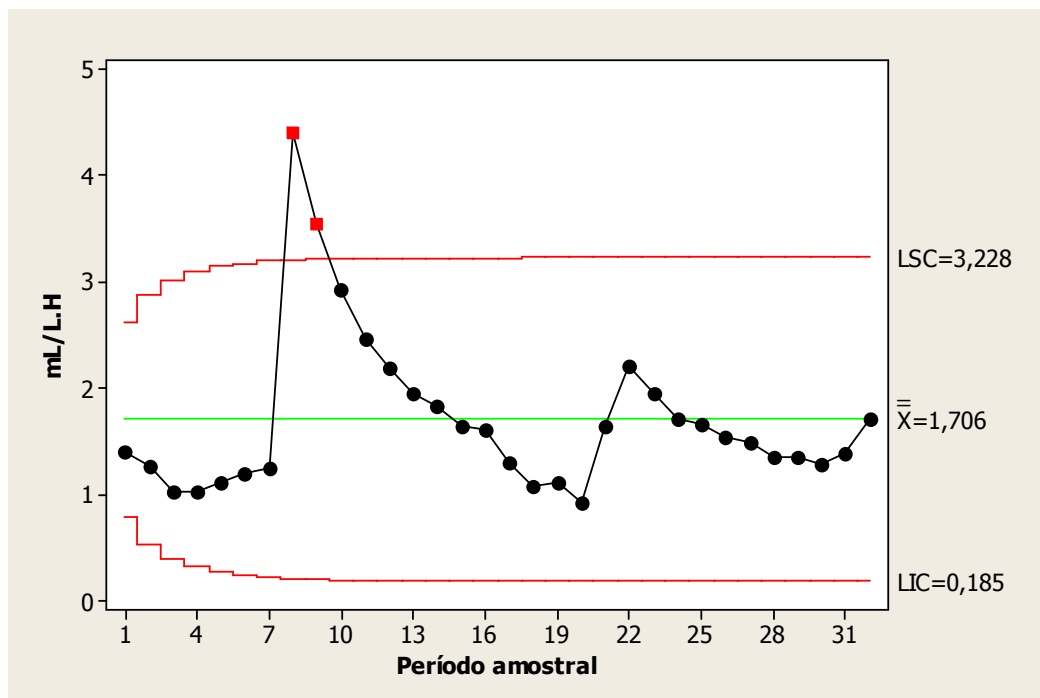


Figura 51 Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis no efluente do Ralf II.

No gráfico MMEP, identifica-se que o processo está fora de controle estatístico, assim como foi indicado no gráfico de medida individual de Shewhart.

Essas mudanças detectadas decorrem da variação de vazão, onde nos horários de picos há o arraste do lodo da manta de lodo reator. Esse comportamento não é o normal e demonstra que há falhas na operação, no que diz respeito à remoção do excedente de lodo ou a vazão da estação supera a projetada para o reator.

5.3.3.3 Sólidos suspensos totais

Na Figura 52, pode-se observar o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável sólidos suspensos totais e foi utilizado λ igual a 0 para a transformação *Box-Cox*.

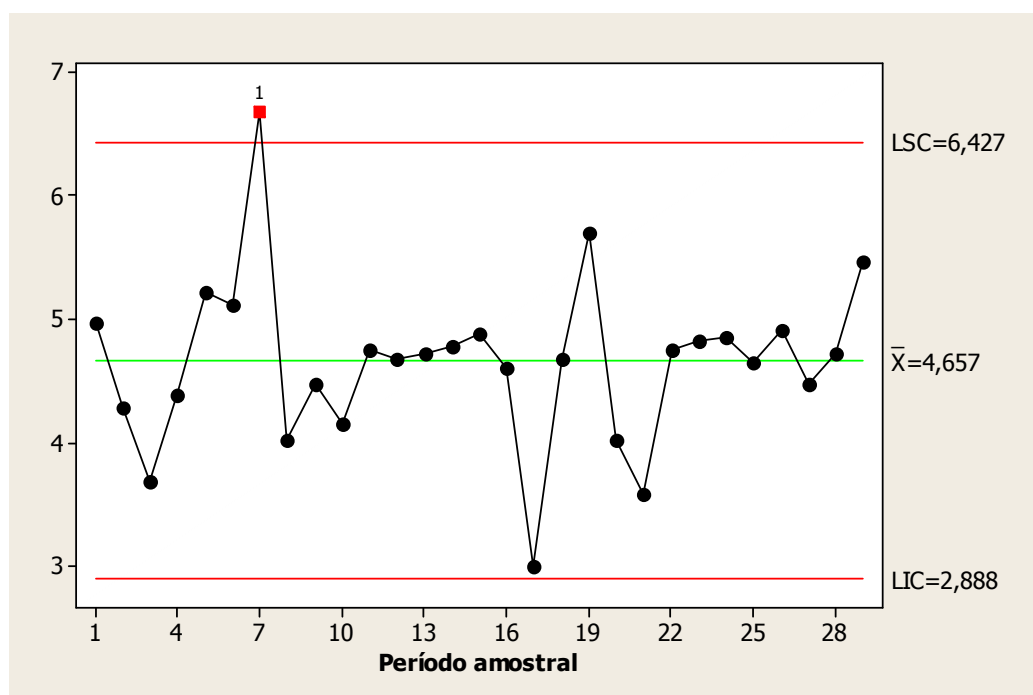


Figura 52 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos suspensos totais no efluente do Ralf II.

Na Figura 52, pode-se verificar que, para o efluente do Ralf II, os sólidos suspensos totais estão fora de controle estatístico, pois o ponto 7 extrapolou os limites de controle estatístico. Observam-se também os dados não transformados, em que o ponto 7 é igual a 792 mg L⁻¹ e é um ponto discrepante do conjunto de dados. Ao se associar tal valor ao de sólidos sedimentáveis da mesma amostra, verifica-se que esse também se encontra elevado. Dessa maneira, esse comportamento pode ser justificado pela má operação do reator anaeróbio, uma vez que há a necessidade de remoção do lodo excedente. Outro fator que pode ter contribuído é o horário de coleta, pois nos horários de pico de vazão, há o arraste de lodo no Ralf.

Na Figura 53, encontra-se o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos suspensos totais.

O gráfico MMEP para os sólidos suspensos aponta falhas no processo na mesma amostra, o qual foi detectado para o gráfico MMEP dos sólidos sedimentáveis. Isso reforça os problemas de retenção de sólidos que o reator apresenta.

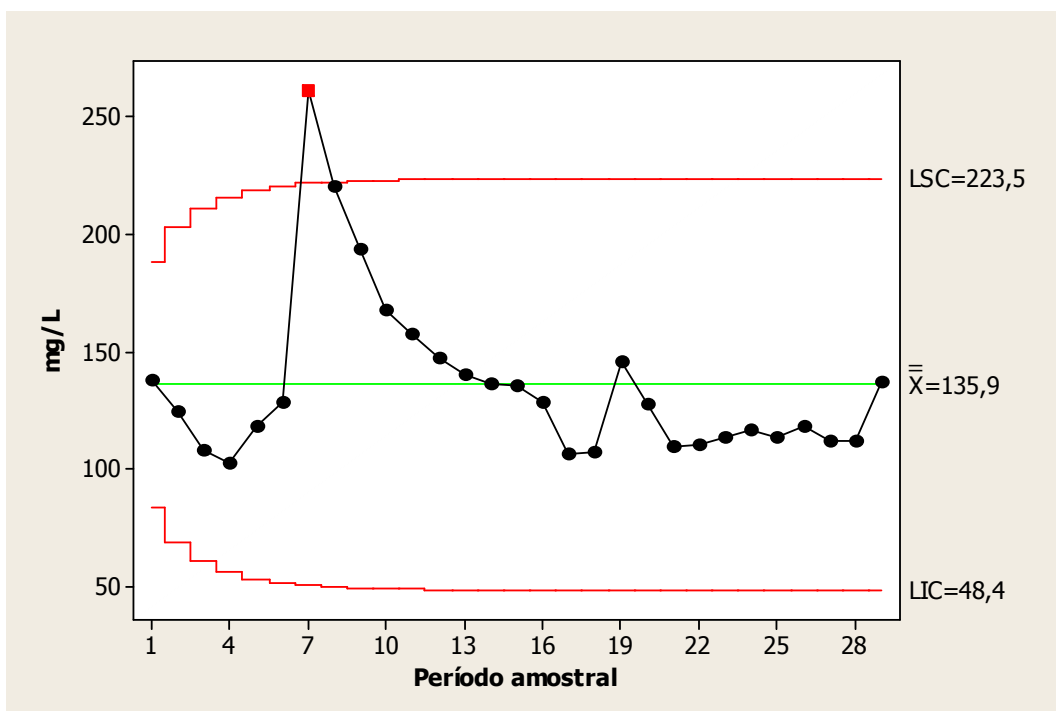


Figura 53 Gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais no efluente do Ralf II.

5.3.3.4 Demanda química de oxigênio – DQO

Na Figura 54, pode-se observar o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável DQO e foi utilizado λ igual a -1 para a transformação *Box-Cox*.

Observa-se no gráfico da DQO do efluente do Ralf II que o processo está fora de controle, pois apresenta um deslocamento do nível do processo entre os pontos 9 e 15. Durante a análise dos dados não transformados, observou-se que os valores dos pontos 9 ao 15 foram baixos quanto à DQO. Isso indica que a estação possuía boa remoção de matéria orgânica. Posteriormente, observam-se concentrações maiores para a DQO, ou seja, a estação provavelmente perdeu eficiência na remoção de matéria orgânica. Isso pode ser devido ao fato do aumento da vazão e consequentemente menor tempo de detenção no reator, fazendo com o tratamento seja incompleto.

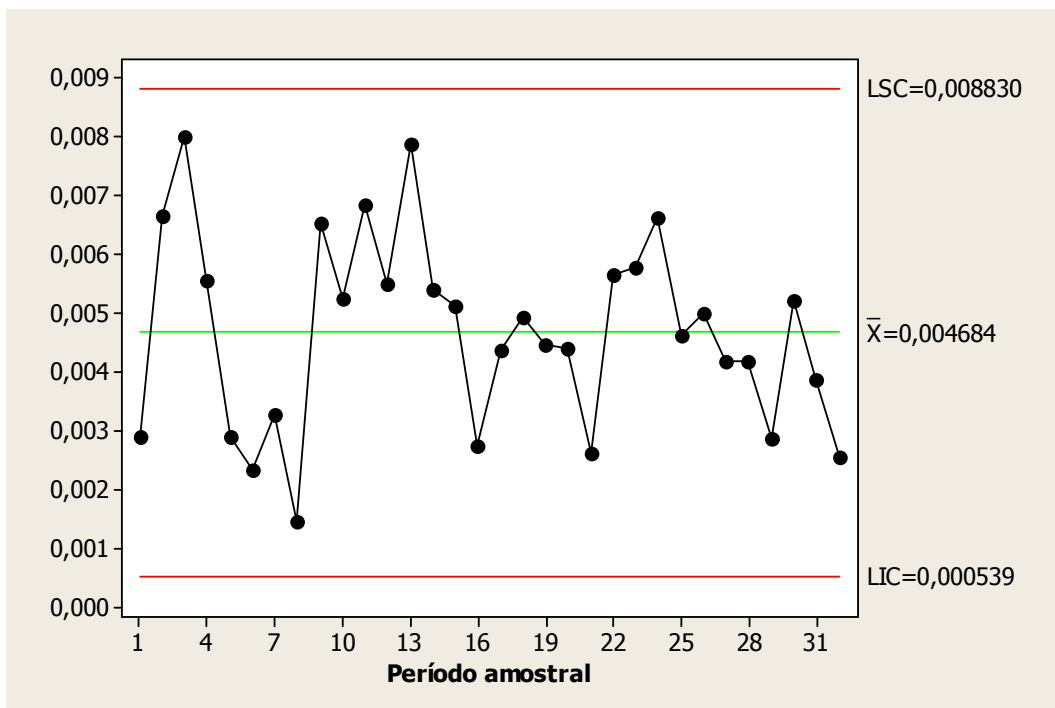


Figura 54 Gráfico de medida individual de Shewhart para a DQO no efluente do Ralf II.

Na Figura 55, encontra-se o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável DQO.

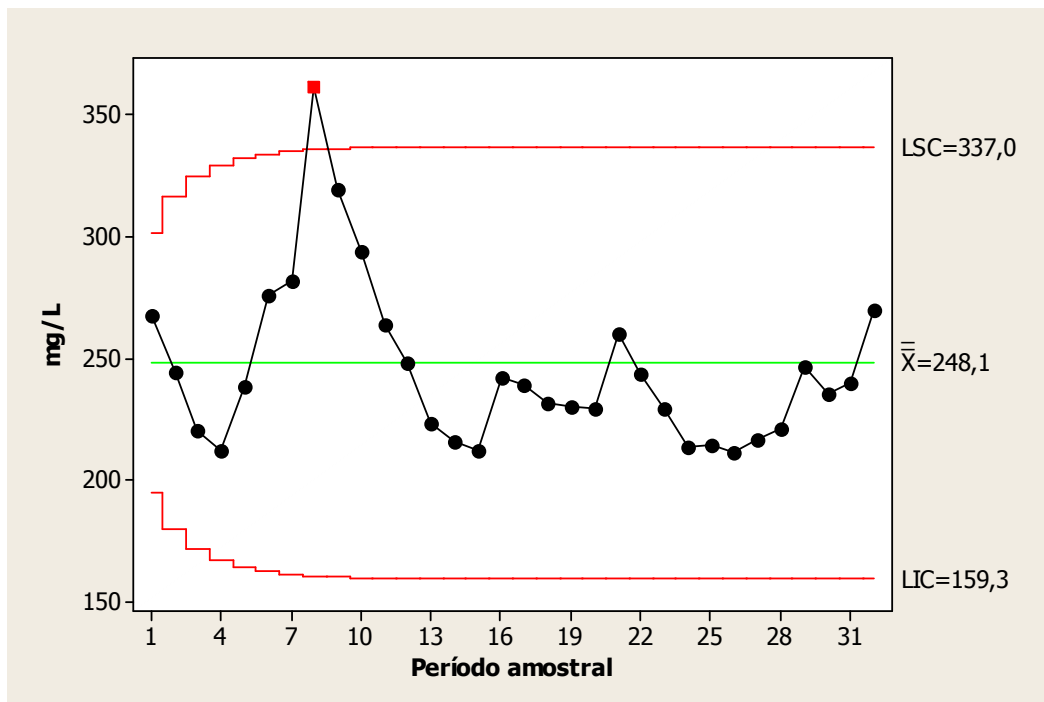


Figura 55 Gráfico MMEP para a DQO no efluente do Ralf II.

Observa-se no gráfico MMEP para a DQO no efluente do Ralf II que o processo está fora de controle estatístico, pois o ponto 8 extrapolou o limite superior de controle.

5.3.3.5 Demanda bioquímica de oxigênio – $DBO_{5,20}$

Na Figura 56, está o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável $DBO_{5,20}$ e foi utilizado λ igual a -0,5 para a transformação *Box-Cox*.

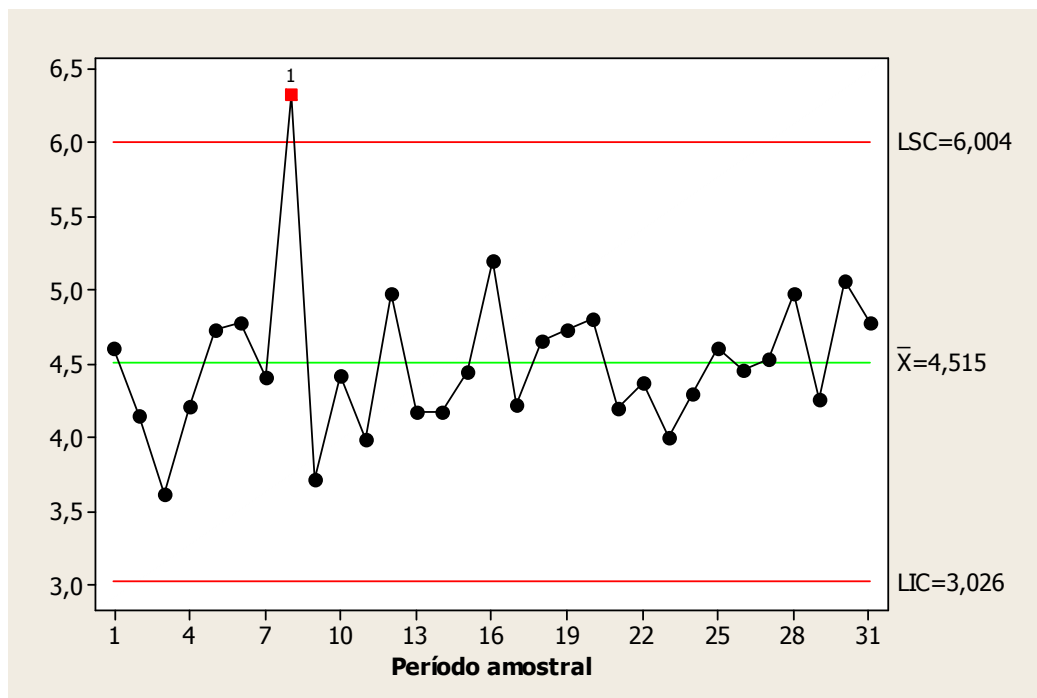


Figura 56 Gráfico de medida individual de Shewhart para a $DBO_{5,20}$ no efluente do Ralf II.

O gráfico da $DBO_{5,20}$ foi construído sem o valor mínimo, pois verificou-se que o valor encontrado nessa amostra não seria verdadeiro. Observa-se no gráfico que o processo está fora de controle estatístico por conta do ponto 8. O valor desse dado não transformado é igual a $562,5 \text{ mg L}^{-1}$ e é um ponto discrepante dentro do conjunto dos dados. Porém, ao compará-lo com o valor da DQO dessa mesma amostra, verifica-se que também há uma elevada concentração. Isso indica que o valor obtido não é erro analítico e sim alguma falha no processo de tratamento.

Na Figura 57, pode-se observar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável $DBO_{5,20}$.

Observa-se no gráfico MMEP para a $DBO_{5,20}$ que o processo está fora de controle estatístico, pois o ponto 8 ficou acima do limite superior de controle estatístico, assim como foi identificado no gráfico de medida individual de Shewhart.

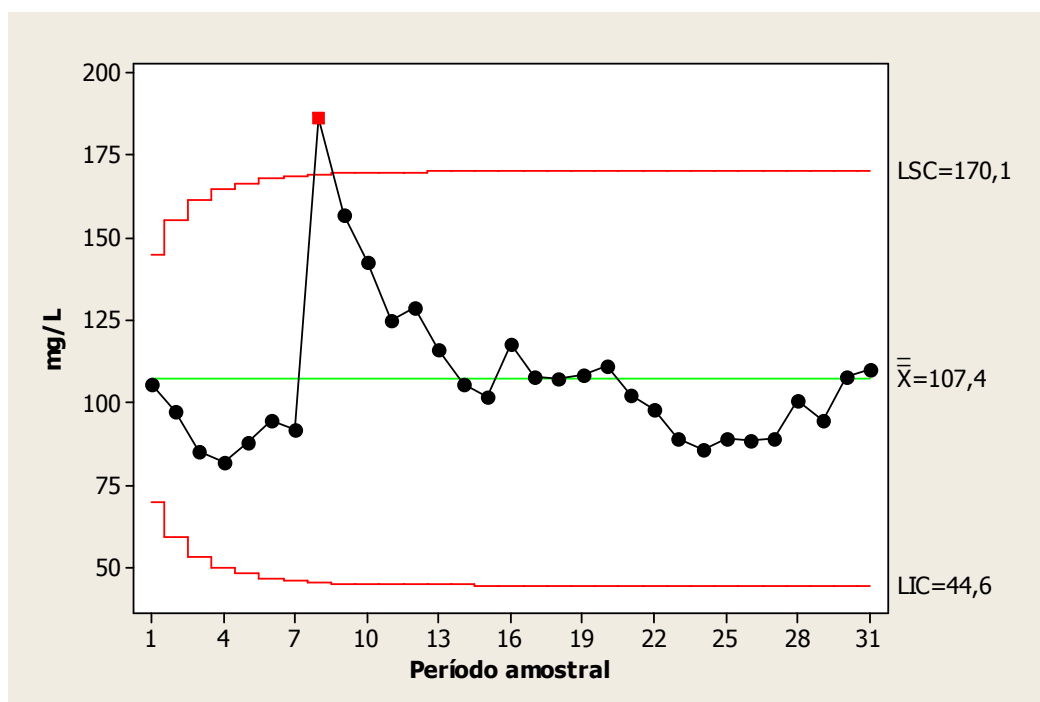


Figura 57 Gráfico MMEP para a DBO_{5,20} no efluente do Ralf II.

5.3.4 Esgoto tratado

5.3.4.1 Potencial hidrogeniônico – pH

O gráfico de medida individual de Shewhart para a variável pH está apresentado na Figura 58.

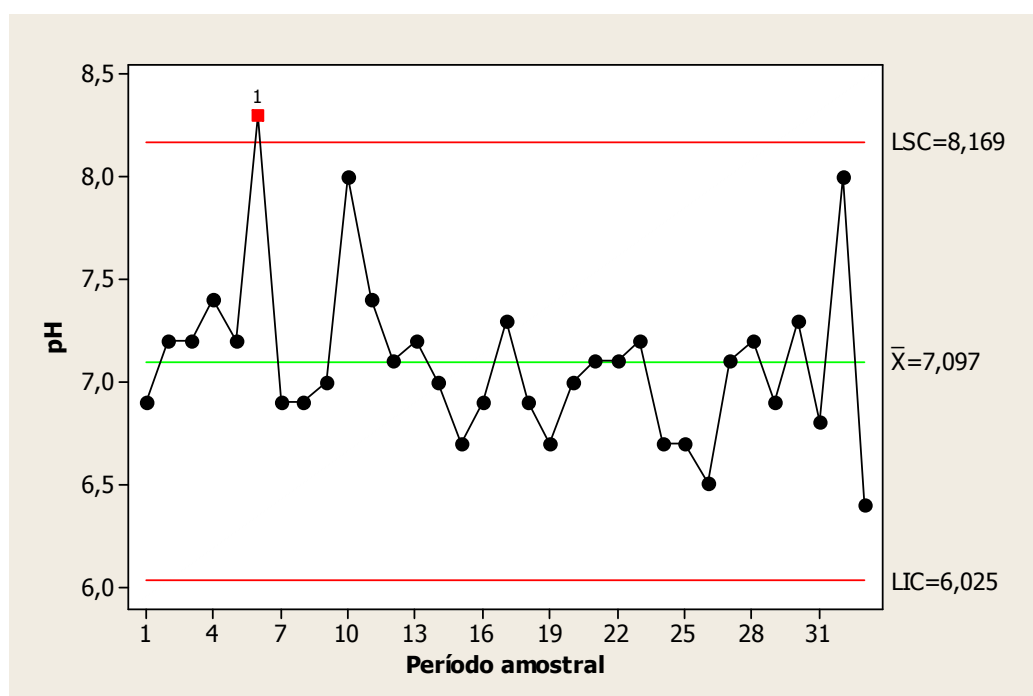


Figura 58 Gráfico de medida individual de Shewhart para o pH no esgoto tratado.

Observa-se na Figura 58 que o gráfico para a variável pH encontra-se fora de controle estatístico, pois o ponto 6 extrapolou o limite superior de controle. O valor do pH correspondente para essa amostra é 8,3. A possível causa para tal comportamento seria uma falha na dosagem do cloreto férrico (FeCl_3) utilizado no tratamento físico-químico como polimento final do efluente da estação. O FeCl_3 é um sal inorgânico que sofre hidrólise facilmente e por esse motivo tem caráter ácido. Dessa maneira, quando adicionado ao efluente, para a precipitação química, o pH tende a diminuir, fato que não ocorreu na amostra 6. Entretanto, esse valor não ultrapassou o limite superior de especificação que é igual a 9.

Na Figura 59, está o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável pH.

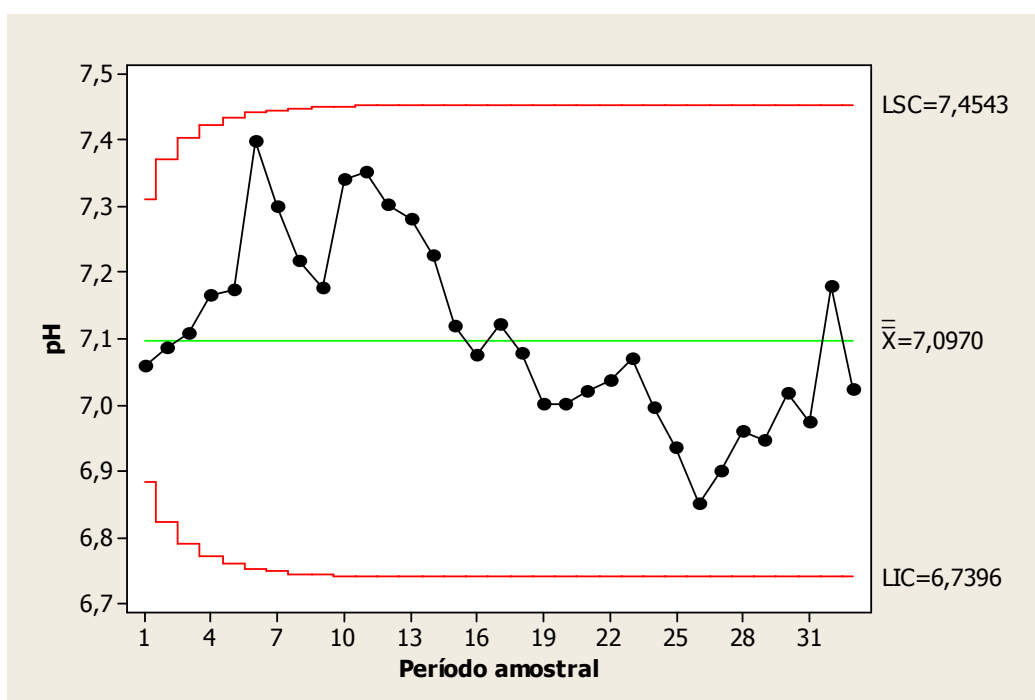


Figura 59 Gráfico MMEP para o pH no esgoto tratado.

No gráfico MMEP para o pH, observa-se, diferentemente do gráfico de medida individual de Shewhart, que o processo está sob controle estatístico. Essa diferença acontece devido à falta de reação rápida que o gráfico MMEP tem a mudanças bruscas, quando comparado ao gráfico individual de Shewhart (MONTGOMERY, 2004).

5.3.4.2 Sólidos sedimentáveis

Na Figura 60 encontra-se o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável sólidos sedimentáveis. A construção do gráfico dos sólidos sedimentáveis do esgoto tratado

foi realizada com dados transformados pela falta de normalidade dos mesmos. Foi utilizado λ igual a -0,5 para a transformação *Box-Cox*.

Observa-se na Figura 60 que o gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado aponta um processo fora de controle estatístico, pois entre os pontos 22 e 29 há deslocamento no nível do processo. Nos dados não transformados, observa-se nesse intervalo um aumento da concentração dos sólidos sedimentáveis. Tal fato pode ser justificado pelo arraste de sólidos do decantador do tratamento físico-químico nos horários de pico de vazão.

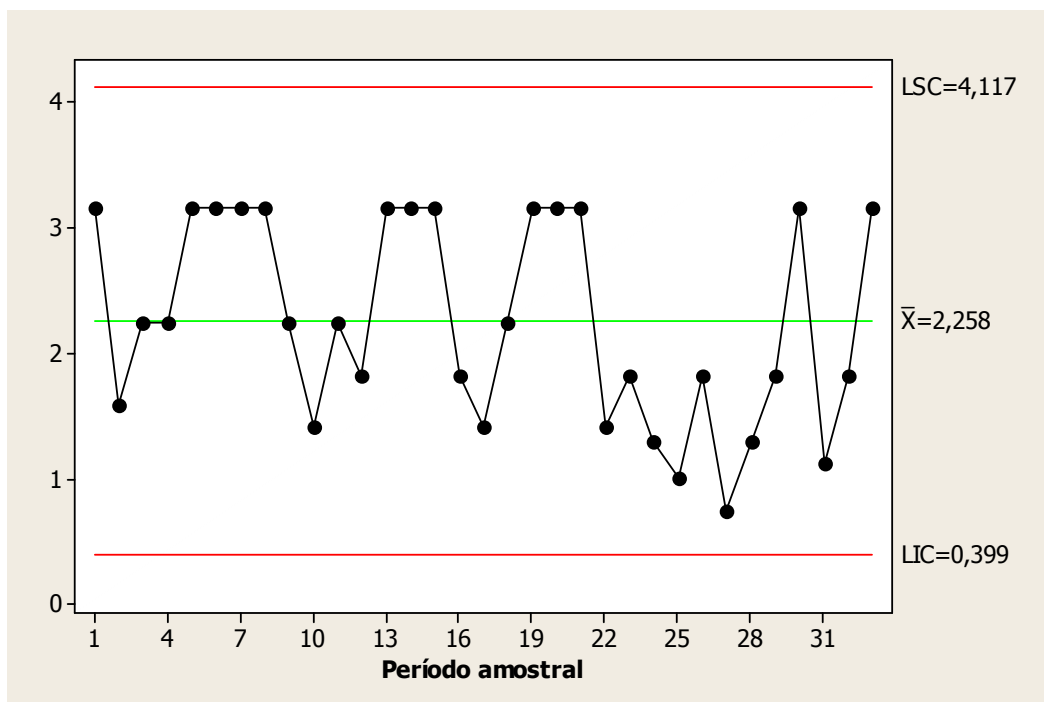


Figura 60 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado.

Na Figura 61, pode-se observar o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos sedimentáveis.

Assim como o gráfico de medida individual de Shewhart, o gráfico MMEP mostrou falhas no processo para os sólidos sedimentáveis, bem como apresentou uma mudança significativa no processo a partir do ponto 24. Isso fez com que houvesse um deslocamento no nível do processo, o qual é devido ao aumento da concentração de sólidos sedimentáveis no efluente final, e pode ser devido às variações de vazão e ao horário não padronizado da coleta, pois em horários de pico de vazão, ocorre o arraste de sólidos dos decantadores do tratamento físico-químico da estação de tratamento.

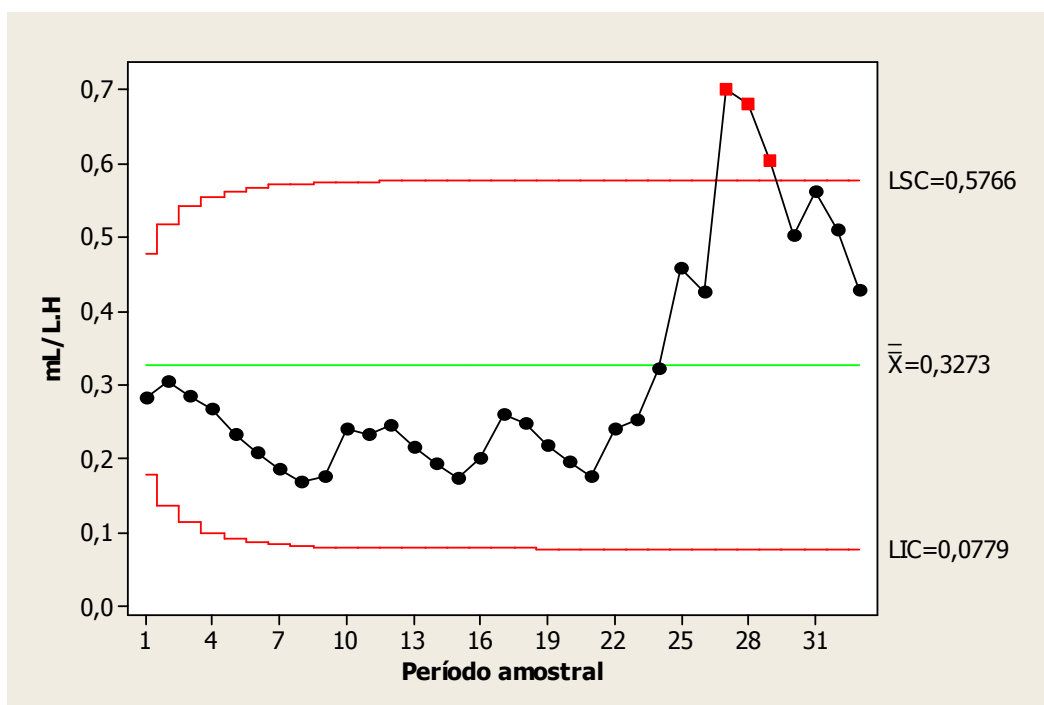


Figura 61 Gráfico MMEP para os sólidos sedimentáveis no esgoto tratado.

5.3.4.3 Sólidos suspensos totais

Na Figura 62, pode-se observar o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável sólidos suspensos totais.

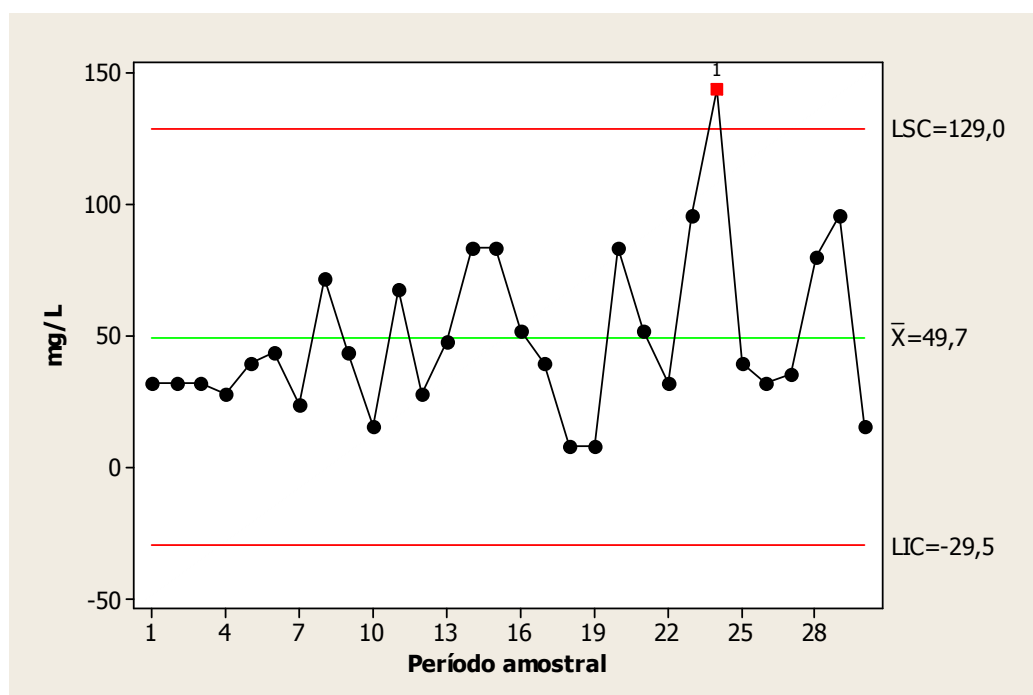


Figura 62 Gráfico de medida individual de Shewhart para os sólidos suspensos totais no esgoto tratado.

Observa-se na Figura 62 que o gráfico para os sólidos suspensos totais no esgoto tratado está fora de controle estatístico, pois o ponto 24 extrapolou o limite superior de controle estatístico. Esse dado foi considerado como um ponto discrepante no conjunto de dados e ao se associar tal valor ao dos sólidos sedimentáveis da mesma amostra, verifica-se que esse também se encontra elevado. Dessa maneira, esse comportamento pode ser justificado pelo arraste de sólidos do decantador do tratamento físico-químico nos horários de pico de vazão, ou por falha do processo de coagulação, o qual não foi capaz de formar flocos com peso necessário para a sedimentação.

Na Figura 63 está o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável sólidos suspensos totais.

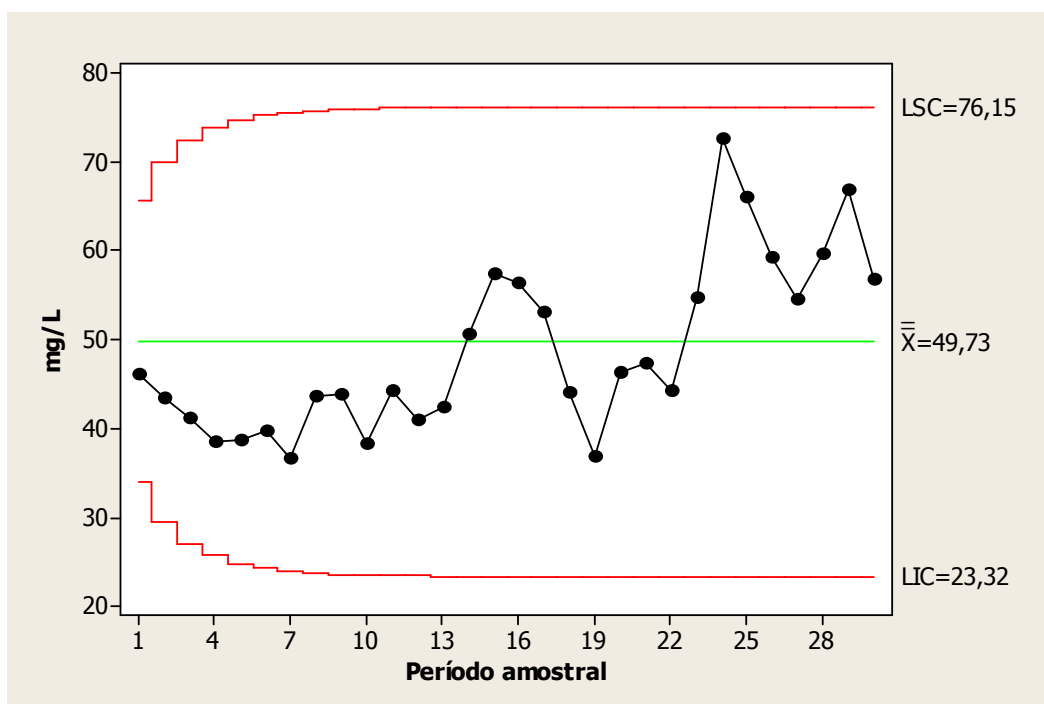


Figura 63 Gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais no esgoto tratado.

No gráfico MMEP para os sólidos suspensos totais observa-se, diferentemente do gráfico de medida individual de Shewhart, que o processo está em controle estatístico. Essa diferença acontece devido à falta de reação rápida que o gráfico MMEP tem a mudanças bruscas, quando comparado ao gráfico individual de Shewhart (MONTGOMERY, 2004).

5.3.4.4 Demanda química de oxigênio – DQO

Na Figura 64 está o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável DQO.

Observa-se no gráfico que a DQO do esgoto tratado está fora de controle estatístico, pois o ponto 16 está fora do limite superior de controle estatístico. Observa-se que esse dado é um ponto discrepante no conjunto de dados e ao se associar tal valor com o da

$DBO_{5,20}$ da mesma amostra, verifica-se que esse também se encontra elevado. Dessa maneira, esse comportamento pode ser justificado por alguma falha no pós-tratamento físico-químico e não por alguma falha analítica de análise laboratorial.

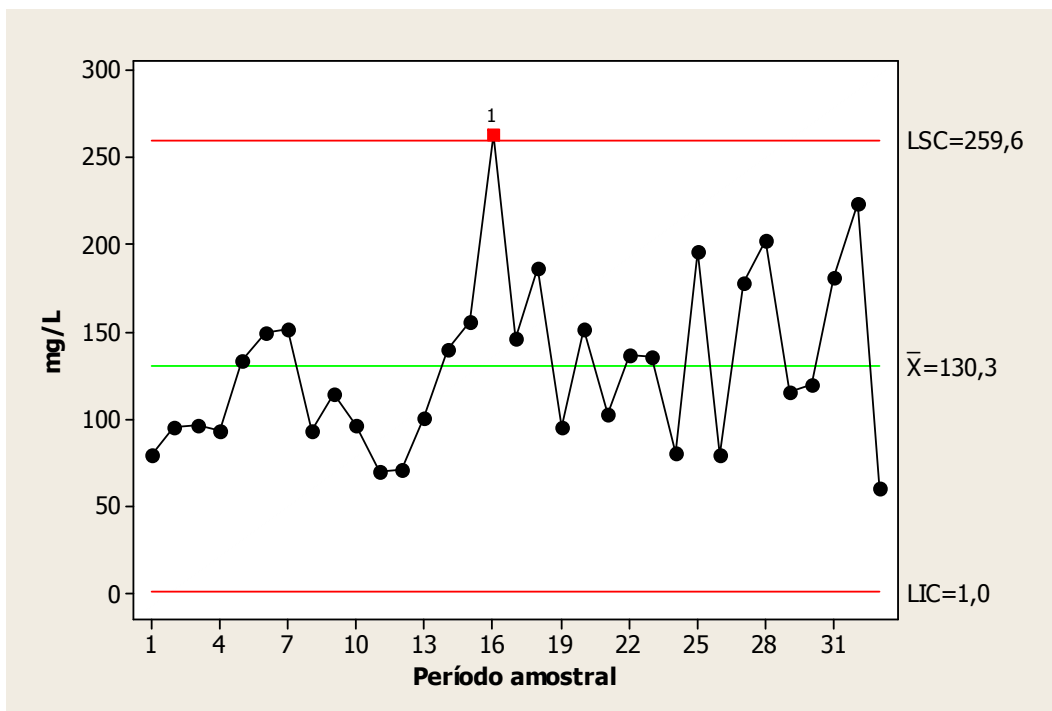


Figura 64 Gráfico de medida individual de Shewhart para DQO no esgoto tratado.

Na Figura 65, está o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável DQO.

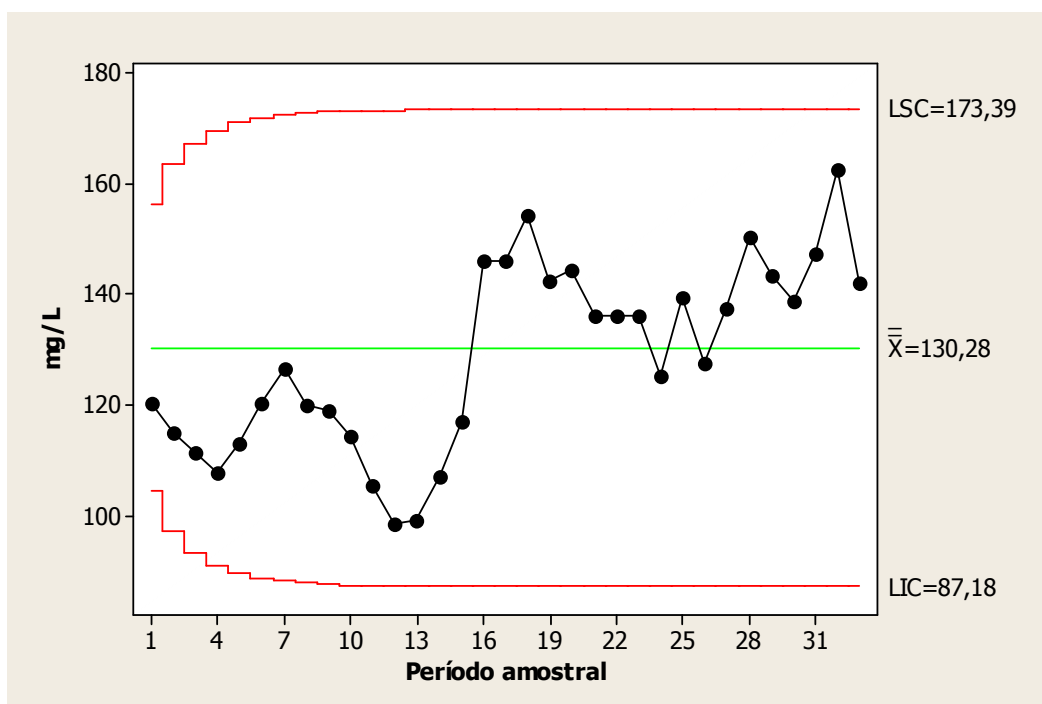


Figura 65 Gráfico MMEP para a DQO no esgoto tratado.

No gráfico MMEP para a DQO observa-se, diferentemente do gráfico de medida individual de Shewhart, que o processo está sob controle estatístico. Essa diferença acontece devido à falta de reação rápida que o gráfico MMEP tem a mudanças bruscas, quando comparado ao gráfico individual de Shewhart (MONTGOMERY, 2004).

5.3.4.5 Demanda bioquímica de oxigênio - $DBO_{5,20}$

Na Figura 66, pode-se observar o gráfico de medida individual de Shewhart para a variável $DBO_{5,20}$. A construção do gráfico da $DBO_{5,20}$ do esgoto tratado foi realizada com dados transformados pela falta de normalidade dos mesmos e foi utilizado λ igual a -0,5 para a transformação *Box-Cox*.

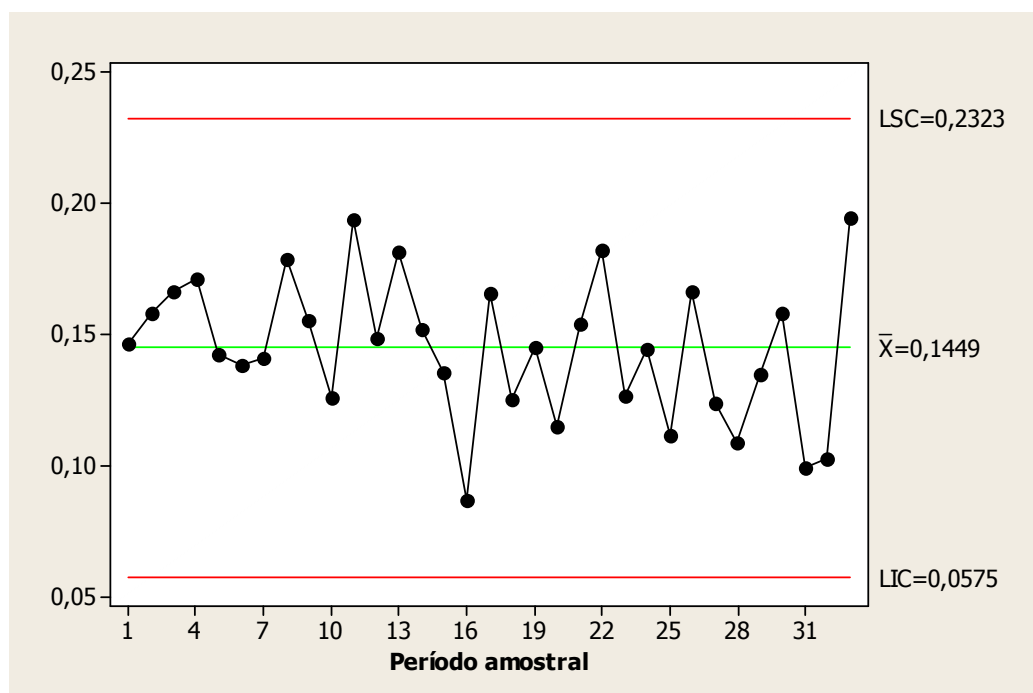


Figura 66 Gráfico de medida individual de Shewhart para $DBO_{5,20}$ no esgoto tratado.

Para a $DBO_{5,20}$ do esgoto tratado, o gráfico mostra que o processo está sob controle estatístico, pois não apresenta qualquer ponto fora dos limites de controle, nem comportamento sistemático ou não-aleatório.

Na Figura 67 está o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) para a variável $DBO_{5,20}$.

A partir do gráfico MMEP, observa-se que o processo está sob de controle estatístico, pois não existem pontos fora dos limites de controle estatístico.

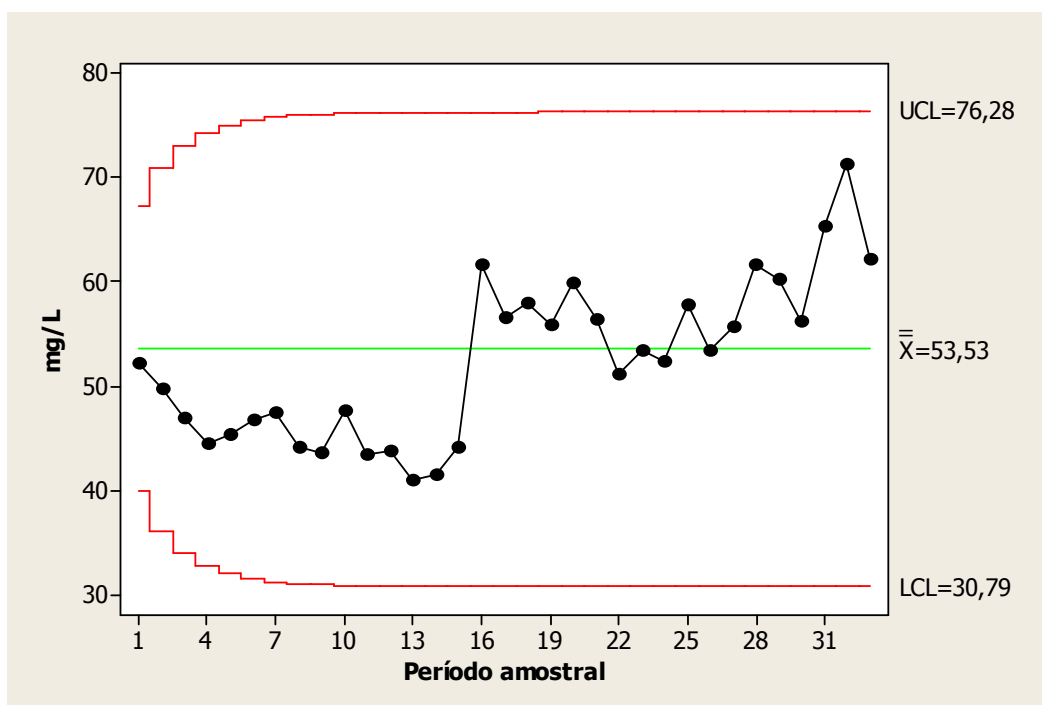


Figura 67 Gráfico MMEP para a DBO_{5,20} no esgoto tratado.

5.3.5 Resumo dos resultados dos gráficos de controle

Nas Tabelas 7 e 8, estão resumidamente apresentados os resultados obtidos pelas cartas de medida individual de Shewhart e de MMEP, respectivamente.

Tabela 7 Resultados dos gráficos de medida individual de Shewhart

Variáveis	Esgoto Bruto	Ralf I	Ralf II	Esgoto tratado
pH	SCE	N	SCE	N
SSed	SCE	SCE	N	N
SST	N	N	N	N
DQO	N	N	N	N
DBO _{5,20}	N	SCE	N	SCE

SCE: Sobre controle estatístico, N: Fora de controle estatístico.

Tabela 8 Resultados dos gráficos de média móvel exponencialmente ponderada

Variáveis	Esgoto Bruto	Ralf I	Ralf II	Esgoto tratado
pH	SCE	N	SCE	SCE
SSed	SCE	N	N	N
SST	SCE	N	N	SCE
DQO	SCE	N	N	SCE
DBO _{5,20}	SCE	SCE	N	SCE

SCE: Sobre controle estatístico, N: Fora de controle estatístico.

5.4 Índices de capacidade do processo

Na Tabela 9, estão apresentados os valores dos índices de capacidade e de *performance* do processo para as variáveis avaliadas.

Tabela 9 Valores dos índices de capacidade e de *performance* do processo

Parâmetro	Cp	Cps	Cpk	Pp	Pps	Ppk
pH	1,87	-	1,77	1,65	-	1,57
Sólidos sedimentáveis	-	0,68	0,68	-	0,51	0,51
Sólidos suspensos totais	-	0,13	0,13	-	0,11	0,11
DQO	-	0,15	0,15	-	0,14	0,14
DBO _{5,20}	-	0,18	0,18	-	0,19	0,19

Observa-se na Tabela 9 que para a variável pH, todos os índices de capacidade e *performance* indicaram que o processo é capaz de atender às especificações, ou seja, tanto no passado, presente (índices Pp e Ppk) quanto no futuro (índices Cp e Cpk), a estação de tratamento de esgoto é capaz de gerar um efluente que possua pH na faixa de 5 a 9.

Para a variável sólidos sedimentáveis, observou-se que o processo da estação não foi capaz de atender ao limite superior de especificação em todas as amostras, pois 3% dos dados avaliados ficaram acima da concentração máxima permitida para lançamento de esgoto em corpos receptores.

Para os sólidos suspensos totais, os índices de capacidade e *performance* também acusaram que o processo não foi capaz de obedecer ao limite de especificação, pois os valores dos índices ficaram abaixo de 1, ou seja, a estação nem sempre é capaz de lançar ao corpo receptor um efluente que possua concentrações abaixo de 60 mg L⁻¹.

Em termos de remoção de matéria orgânica, a estação não apresentou desempenho satisfatório, pois tanto para a DQO como para a DBO_{5,20}, os índices de capacidade e de *performance* situaram-se abaixo de 1. Isso demonstra que o processo é incapaz de produzir, em todas as ocasiões, um efluente que possua concentrações abaixo de 150 e 60 mg L⁻¹ para DQO e DBO, respectivamente.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou as seguintes conclusões:

- Com exceção da variável pH, as variáveis em todos os pontos de controle apresentaram elevada variabilidade dos dados, conforme observam-se nos coeficientes de variação;
- A estação de tratamento de esgoto apresentou eficiência média de 95,88% para os sólidos sedimentáveis; 86,14% para os sólidos suspensos totais; 85,63% para a demanda química de oxigênio e 89,13% para a demanda bioquímica de oxigênio;
- Pelas cartas de medidas individuais de Shewhart, observou-se que, no esgoto bruto, as variáveis sólidos suspensos totais, DQO e $DBO_{5,20}$ apresentaram-se fora de controle estatístico. No efluente do Ralf I, as variáveis pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e DQO apresentaram-se fora de controle estatístico. No efluente do Ralf II, as variáveis sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, DQO e $DBO_{5,20}$ apresentaram-se fora de controle estatístico. No efluente tratado, apenas a variável $DBO_{5,20}$ apresentou-se em controle estatístico;
- Os gráficos MMEP mostram que, para o esgoto bruto, todas as variáveis estão sob controle estatístico. Para o efluente do Ralf I, com exceção da DBO, todas as variáveis apresentaram-se fora de controle estatístico. Para o efluente do Ralf II, apenas o pH demonstrou estar em controle estatístico e para o esgoto tratado, apenas os sólidos sedimentáveis estão fora de controle estatístico;
- As cartas de controle de medida individual de Shewhart demonstram ser uma boa alternativa para o controle estatístico do processo de uma estação de tratamento de esgoto, pois permitiram a visualização de falhas no processo, principalmente em mudanças bruscas;
- As cartas de controle MMEP também se apresentam como uma boa alternativa, pois possuem um bom funcionamento para dados sem normalidade, porém, como as informações do presente trabalho são largamente espaçadas no tempo (amostras mensais), as situações de alterações bruscas são maiores, as quais podem não ser detectadas pelas cartas de média móvel exponencialmente ponderada;
- Pelos índices de capacidade do processo e índice de *performance* do processo, observou-se que, com exceção do pH, a estação de tratamento de esgoto não é capaz de cumprir as especificações ou atender aos padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sugestões para trabalhos futuros:

- Seria interessante que o trabalho fosse realizado com dados de menor espaçamento de tempo, com coletas diárias para a verificação de pequenas mudanças;
- Utilização de técnicas estatísticas multivariadas para a análise dos dados;
- Coleta e utilização de dados de vazão da ETE e temperatura ambiente para a correlação com os dados qualitativos do esgoto;
- Utilização de técnicas estatísticas de controle da qualidade em diferentes configurações de estações de tratamento de esgoto para a comparação das mesmas.

8 REFERÊNCIAS

- ABREU, S. B.; ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 13, n. 2, p. 181 – 188, 2008.
- AIAG. **Statistical Process Control Reference Manual**. Automotive Industry Action Group, Southfield, ML, 1995.
- AISSE, M. M.; JÜRGENSEN, D.; SOBRINHO, P. A. **Avaliação do sistema reator RALF e flotação por ar dissolvido, no tratamento de esgoto sanitário**. In Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, vol 2. Belo Horizonte: Segrac. 2001.
- ALBERS, W.; KALLENBERG, W. C. M. Estimation in Shewart control charts: effects and corrections. **Metrika**. v. 59, n. 1, p. 207 – 234, 2004.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20^a ed. Estados Unidos da América, 1998.
- AQUINO, S. F.; SILVA, S. Q.; CHERNICHARO, C. A. L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 11, n. 4, p. 295 – 304, 2006.
- ARIANO, G. C. **Coagulação, floculação e flotação do efluente de reatores anaeróbios, tratando esgoto sanitário, com aplicação de diferentes dosagens de coagulante em função da variação da turbidez do esgoto afluente ao longo do dia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2009.
- BERTOLINO, S. M.; CARVALHO, C. F.; AQUINO, S. F. Caracterização e biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos esgotos produzidos em campus universitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 13, n. 3, p. 271 – 277, 2008.
- BRASIL, **Conselho Nacional do Meio Ambiental – Resolução 357/05**. Brasília, 2005.
- BRITTO, J. M.; RANGEL, M. C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. **Química Nova**. v. 31, n. 1, p. 114-122, 2008.
- CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; MAGALHÃES, T. B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 14, n.3, p. 421-430, 2009.
- CATTONY, E. B. M.; RIBEIRO, R.; ZAIAT, M.; FORESTI, E.; VARESCHE, M. B. A. Remoção de etanol e benzeno em reator anaeróbio horizontal de leito fixo na presença de sulfato. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 12, n.2, p. 181 – 191, 2007.
- CHEN, H.; CHEG, Y. Designing $\bar{X}$ charts for know autocorrelations and unknown marginal distribution. **European Journal of Operational Research**. v. 198, n. 1, p. 520 – 529, 2009.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

COELHO, L. C. Utilização de modelos de suavização exponencial para previsão de demanda com gráficos de controle combinados Shewhart-CUSUM. **INGEPRO Inovação Gestão Produção**, v. 1, p. 191-213, 2009.

CORBETT, C. J.; PAN, J. N. Evaluating environmental performance using statistical process control techniques. **European Journal of Operation Research**. v. 139, n. 1, 68 – 83p. 2002.

CORRÊA, J. M. **Estudo do controle e análise da capacidade de processo de produção de água potável**. Dissertação (Mestrado em Métodos numéricos em engenharia). Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2007.

COSTA, A.F.B.; EPPRESCHT, E.K.; CARPINETTI, L.C.R. **Controle Estatístico de Qualidade**. São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, A. F. B.; MACHADO, M. A. G. Synthetic control charts with two-stage sampling for monitoring bivariate processes. **Pesquisa Operacional**. v. 27, n. 1, p. 117 – 130, 2007.

DERISIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 2º. Edição. São Paulo: Editora Signus. 164p., 2000.

ECKENFELDER, W. W. J. **Industrial water pollution control**. 3. ed. Editora McGraw-Hill. 2000.

FREIRE, F. B.; PIRES, E. C.; FREIRE, J. T. Tratamento anaeróbio de pentaclorofenol em reator de leito fluidificado alimentado com água residuária sintética contendo glicose como fonte única de carbono. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 13, n.3, p. 339 – 346, 2008.

GOMES, F. P. **A estatística na agropecuária**. Piracicaba: Pofatos, 1987.

GRADY, C. P. M. J.; DAIGGER, G. T.; LIM, H. C. **Biological wastewater treatment. Theory and applications**. 2. ed. New York: Editora Marcel Dekker. 1999.

HELSEL, D.R.; HIRSCH, R.M. **Statistical methods in water resources. Techniques of water-resources investigations of the United States geological survey, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation**. Chapt. 3, US Geological Survey, 2002.

HU, K.; YUAN, J. Multivariate statistical process control based on multiway locality preserving projections. **Journal of Process Control**. v. 18, p. 797 – 807, 2008.

JAIQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2005.

JÚNIOR, A. J.; JÚNIOR, D. R. P.; GAZZOLA, J. Avaliação do desempenho de dois sistemas modulares no tratamento anaeróbio de esgotos em comunidades rurais. **Eng. Agríc. Jaboticabal**. v.27, n.3, p. 794 – 803, 2007.

KAHRAMAN, C.; KAYA, I. Fuzzy process capability indices for quality control of irrigation water. **Stoch Environ Res Risk Assess**. v. 23, p. 451 – 462, 2008.

KATO, M. T.; PIVELI, R. P. **Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos**. ABES: São Paulo, p. 285. 2005.

KONRATH, A. C. **Decomposição estatística do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling por meio de um algoritmo computacional**. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis. 2002.

LEIRAS, A.; COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K. Planejamento do controle estatístico de processos com baixa fração não conforme restrito a amostras pequenas. **Produção**. v. 17, n. 1, p. 139 – 150, 2007.

LI, P. **Box-cox transformations: An overview**. Department of Statistics, University of Connecticut. 2005.

LUO, Y.; LI, Z.; WANG Z. Adaptative CUSUM control chart with variable sampling intervals. **Computational Statistics and Data Analysis**. v. 53, p. 2693 – 2701, 2009.

LIN, S. D. **Water and wastewater calculations manual**. 2. ed. Boston: Editora McGraw – Hill, 2007.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros. **ÁGUAS & ÁGUAS**. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

MARAVELAKIS, P. E.; CASTAGLIOLA, P. An EWMA chart for monitoring the process standard deviation when parameters are estimated. **Computational Statistic and Data Analysis**, v. 53, p. 2653 – 2664, 2009.

MAZZOLA, M.; ROSTON, D. M.; VALENTIM, M. A. A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 276 – 283, 2005.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. Ed. Boston: Editora McGraw – Hill, 2003.

MICHEL, R.; FOGLIATTO, F. S. Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos. **Gestão & Produção**. v. 9, n. 1, p. 17 – 31, 2002.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparar o solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 2, p. 261 – 266, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**.

Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2004.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 3. ed. New York, EUA: John Willey & Sons Inc, 2003.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; SPERLING, M. V. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I – Análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 10, n. 4, p. 347 – 357, 2005a.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; SPERLING, M. V. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte II – Influência de fatores de projeto e operação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 10, n. 4, p. 358 – 368, 2005b.

ORSSATTO, F. Avaliação do oxigênio dissolvido do córrego Bezerra a montante e jusante de uma estação de tratamento de esgoto sanitário, Cascavel, Paraná. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 6, supl. 1, p. 27 – 28, 2008.

PAIVA, A. B. **Avaliação de risco ambiental utilizando parâmetros físico-químicos e biológicos no Rio Canoas – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2004.

PALMER, K.; TSUI, K.L. A review and interpretations of process capability indices. **Annals of Operations Research**. v. 87, p. 31 – 47, 1999.

PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A.; THOMAZ-SOCCOL, V. Tratamento anaeróbio de esgoto e sua eficiência na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v. 34, n. 5, p. 421 – 428, 2001.

PODUR, J. J. **Spatial and Temporal Patterns of Forest Fire Activity in Canada**. Dissertação (Mestrado em ciências florestais), Universidade de Toronto, 2001.

PRADO, G. S.; CAMPOS, J. R. Determinação da quantidade de areia no esgoto sanitário: metodologia e estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.13, n. 3, p. 306 – 312, 2008.

PRASAD, S.; CALIS, A. Capability indices for material balance accounting. **European Journal of operational Research**, v. 114, p. 93 – 114, 1999.

RAFAELLI, D. R.; VILAS BOAS, M. A.; URIBE-OPAZO, M. Controle da qualidade e avaliação da capacidade do processo de fabricação de ração monitorando-se o teor de proteína bruta, teor de água e atividade de uréase do farelo de soja utilizado como matéria-prima. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 22, n. 2, p. 229 – 237, 2002.

RAMALHO R. S. **Tratamento de Aguas Residuales**. Barcelona, Editora Reverte, 1996.

RIBAS, M. M. F.; MORAES, E. M.; FORESTI, E. Avaliação da acurácia de diversos métodos para determinação de ácidos graxos voláteis e alcalinidade a bicarbonato para o monitoramento de reatores anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.12, n. 3,p. 240 – 246, 2007.

RUSSO, S.; CAMARGO, M. E.; SAMOHYL, R. W. Control Chart based on the Poisson Regression models residuals. **Revista Produção On Line**. v. 8, n. 4. 2008.

SANTOS, H. R. **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, USP, 2006.

SARTI, A.; SAKAMOTO, I. K.; VARESCHE, M. B. A.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. Tratamento de esgoto sanitário utilizando reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais (escala piloto). **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.11, n. 1, p. 73 – 82, 2006.

SILVA, G. H. R.; NOUR, E .A. A. Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.9, n. 2, p. 268 – 275, 2005.

SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 28, n.2, p. 178 – 190, 2007a.

SILVA, R. P.; SOUZA, F. G.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; VIGNA, G. P. Variabilidade espacial e controle estatístico do processo de perdas na colheita mecanizada do algodoeiro. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 27, n. 3, p. 742 – 752, 2007b.

SILVA, W. V.; FONTANINI, C. A. C.; CORSO, J. M. D. Garantia da qualidade do café solúvel com o uso de gráfico de controle de somas acumuladas. **Revista Produção On Line**. v. 7, n. 2, p. 43 – 63, 2007c.

SONOOCH, S.; KIATCHAROENPOL, T.; LAOSIRIHONGTHONG, T. **An approach to comparing measurement system analysis with process capability study for prioritizing improvement**. In: 9th Conference of the International Decision Sciences Institute, Bangkok, Thailand. Anais... 2007.

SOUSA, J. T.; CEBALHOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reuso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10, n.1, p. 89-96, 2006.

SOUSA, J. T.; HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de *Wetland* construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. **Engenharia sanitária e ambiental**. v. 9, n. 4, p. 285-290, 2004.

SOUZA, A. M.; RIGÃO, M. H. Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados. **Revista Produção**. v. 15, n. 1, p. 074 – 086, 2005.

SOUZA, G. P.; FILHO, M. D.; SAMOHYL, R. W. Aplicação dos conceitos de Controle de Estatístico de Processo (CEP) em uma indústria de fundição do Norte Catarinense. **Revista Produção On Line**. v. 7, n. 2, p. 64 – 84, 2007.

TEIXEIRA, A. R.; CHERNICHARO, C. A. L.; AQUINO, S. F. Influência da redução do tamanho de partículas na taxa de hidrólise de esgoto bruto doméstico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 13, n. 4, p. 405 – 415, 2008.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol.1 – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2^o. Edição., DESA, UFMG, 1996.

ZHOU, W.; BECK, B. F.; PETTI, A. J.; WANG, J. Application of water quality control charts to spring monitoring in karst terranes. **Environmental geology**. v. 53, n. 6, p. 1311 – 1321, 2008.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela 10 Dados do esgoto bruto

Data (mês e ano)	Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	Data (mês e ano)	DQO (mg L ⁻¹)	Data (mês e ano)	DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	Data (mês e ano)	pH	Data (mês e ano)	SS (mg L ⁻¹)
01/06	3,5	01/06	1940	01/06	800	01/06	6,9	01/06	240
03/06	5	03/06	696	03/06	300	03/06	7,5	03/06	305,88
04/06	9	04/06	583	04/06	311,7	04/06	7,8	04/06	200
05/06	12	05/06	1057	05/06	437	05/06	8,2	05/06	380
07/06	9	07/06	441,9	07/06	322,5	07/06	8	07/06	424
08/06	5	08/06	1171,6	08/06	480,4	08/06	8,1	08/06	320
09/06	11	09/06	1147,5	09/06	631,1	09/06	7,7	10/06	296
10/06	6	10/06	735	10/06	636,5	10/06	7,3	11/06	324
11/06	10	11/06	772,5	11/06	52,7	11/06	7,9	12/06	427,78
12/06	7	12/06	785	12/06	675,1	12/06	8,8	01/07	168
01/07	10	01/07	608	01/07	462	01/07	8,8	03/07	292
03/07	6,5	03/07	1410	03/07	1297,2	03/07	7,8	04/07	300
04/07	6	04/07	282	04/07	225	04/07	7,6	05/07	256
05/07	8,5	05/07	672	05/07	383,3	05/07	7,5	07/07	476
07/07	12	07/07	1005	07/07	723,6	07/07	7,4	08/07	566,67
08/07	11	08/07	1472,5	08/07	736,2	08/07	7,3	09/07	424
09/07	9	09/07	995	09/07	467,7	09/07	7,6	11/07	300
10/07	4,5	10/07	960	10/07	480	10/07	8,3	01/08	320
11/07	6	11/07	1180	11/07	590	11/07	7	02/08	492
12/07	12	12/07	1237,5	12/07	346,5	12/07	7,9	03/08	375
01/08	10,5	01/08	1075	01/08	494,5	01/08	7,9	04/08	392
02/08	14,5	02/08	1675	02/08	418	02/08	7,3	05/08	396
03/08	5	03/08	962,5	03/08	442,8	03/08	7,6	06/08	405
04/08	5	04/08	487	04/08	243,5	04/08	7,7	07/08	445
05/08	9,5	05/08	1450	05/08	464	05/08	7,6	08/08	440
06/08	9	06/08	842,5	06/08	421,2	06/08	8,5	09/08	404
07/08	10,5	07/08	1195	07/08	764,8	07/08	7,5	10/08	413,3
08/08	8,5	08/08	1015	08/08	893,2	08/08	8,2	11/08	350
09/08	10	09/08	1207	09/08	700,1	09/08	8,5	12/08	346,67
10/08	9	10/08	947,5	10/08	492,7	10/08	8,1	01/09	284
11/08	8	11/08	905	11/08	687,8	11/08	7,9	-	-
12/08	6,5	12/08	1352,5	12/08	541	12/08	8,3	-	-
01/09	6	01/09	694	01/09	298,4	01/09	7,5	-	-

ANEXO B

Tabela 11 Dados do RALF I

Data (mês e ano)	Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	Data (mês e ano)	DQO (mg L ⁻¹)	Data (mês e ano)	DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	Data (mês e ano)	pH	Data (mês e ano)	SS (mg L ⁻¹)
01/06	0,1	01/06	400	01/06	166,6	01/06	7,2	01/06	64
03/06	0,4	03/06	150	03/06	51,4	03/06	7,3	03/06	60
04/06	0,6	04/06	141	04/06	84,2	04/06	7,3	04/06	76
05/06	1,6	05/06	174	05/06	73,3	05/06	7,1	05/06	88
07/06	0,8	07/06	297	07/06	80,1	07/06	7,1	07/06	124
08/06	18	08/06	1221	08/06	317,4	08/06	8,4	08/06	896
09/06	0,8	09/06	246	09/06	86,1	09/06	6,8	10/06	240
10/06	5	10/06	345,3	10/06	286,8	10/06	7	11/06	96
11/06	0,8	11/06	182	11/06	50,4	11/06	6,9	12/06	96
12/06	0,3	12/06	144	12/06	106,5	12/06	8,1	01/07	76
01/07	1	01/07	156	01/07	56,1	01/07	7,3	03/07	68
03/07	0,5	03/07	137	03/07	98,6	03/07	7,1	04/07	44
04/07	0,1	04/07	198	04/07	138,6	04/07	7,1	05/07	92
05/07	1,3	05/07	188	05/07	63,9	05/07	7	07/07	88
07/07	0,4	07/07	174	07/07	73,1	07/07	6,6	08/07	160
08/07	1,2	08/07	336	08/07	168	08/07	6,9	09/07	100
09/07	0,1	09/07	199	09/07	55,7	09/07	7,4	11/07	1820
10/07	0,5	10/07	260	10/07	88,4	10/07	7	01/08	76,6
11/07	42	11/07	637	11/07	318,5	11/07	6,8	02/08	24
12/07	0,7	12/07	289	12/07	144,5	12/07	7	03/08	172
01/08	1,2	01/08	241	01/08	72,3	01/08	7,1	04/08	80
02/08	1,9	02/08	252	02/08	55,4	02/08	7,1	05/08	48
03/08	2,5	03/08	288	03/08	92,2	03/08	7,1	06/08	52
04/08	1	04/08	214	04/08	107	04/08	6,8	07/08	172
05/08	0,7	05/08	385	05/08	192,5	05/08	7,1	08/08	68
06/08	1	06/08	228	06/08	114	06/08	6,9	09/08	92
07/08	1,5	07/08	255	07/08	94	07/08	7,1	10/08	92
08/08	0,2	08/08	172	08/08	80	08/08	7,3	-	-
09/08	1	09/08	293	09/08	114,3	09/08	7,1	-	-
10/08	1	10/08	237	10/08	132,7	10/08	7	-	-

ANEXO C

Tabela 12 Dados do RALF II

Data (mês e ano)	Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	Data (mês e ano)	DQO (mg L ⁻¹)	Data (mês e ano)	DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	Data (mês e ano)	pH	Data (mês e ano)	SS (mg L ⁻¹)
01/06	0,2	01/06	346	01/06	100	01/06	6,9	01/06	144
03/06	0,7	03/06	150	03/06	63,8	03/06	7,1	03/06	72
04/06	0,1	04/06	125	04/06	37,5	04/06	7,3	04/06	40
05/06	1	05/06	180	05/06	67,8	05/06	7,1	05/06	80
07/06	1,5	07/06	344	07/06	113,5	07/06	7,2	07/06	184
08/06	1,5	08/06	425,9	08/06	119,2	08/06	8,4	08/06	168
09/06	1,5	09/06	306	09/06	82,6	09/06	6,9	10/06	792
10/06	17	10/06	678,6	10/06	562,5	10/06	7,1	11/06	56
11/06	0,1	11/06	153	11/06	41,4	11/06	6,9	12/06	88
12/06	0,5	12/06	190	12/06	83,6	12/06	8,1	01/07	64
01/07	0,6	01/07	146	01/07	54	01/07	7,2	03/07	116
03/07	1,1	03/07	182	03/07	145,6	03/07	7,2	04/07	108
04/07	1	04/07	127	04/07	65	04/07	7,7	05/07	112
05/07	1,3	05/07	185	05/07	64,8	05/07	7	07/07	120
07/07	0,9	07/07	195	07/07	85,8	07/07	6,5	08/07	132
08/07	1,5	08/07	363	08/07	181,5	08/07	6,9	09/07	100
09/07	0,1	09/07	228	09/07	68,4	09/07	7,3	11/07	20
10/07	0,2	10/07	202	10/07	105	10/07	7	01/08	108
11/07	1,2	11/07	223	11/07	11,5	11/07	6,9	02/08	300
12/07	0,2	12/07	227	12/07	113,5	12/07	6,6	03/08	56
01/08	4,5	01/08	382	01/08	122,2	01/08	7,1	04/08	36
02/08	4,5	02/08	177	02/08	66,5	02/08	7,2	05/08	116
03/08	0,9	03/08	173	03/08	79,6	03/08	7,1	06/08	124
04/08	0,8	04/08	151	04/08	55	04/08	6,8	07/08	128
05/08	1,4	05/08	216	05/08	73,4	05/08	7	08/08	104
06/08	1,1	06/08	200	06/08	100	06/08	6,9	09/08	136
07/08	1,3	07/08	238	07/08	87	07/08	7,2	10/08	88
08/08	0,8	08/08	238	08/08	92,8	08/08	7,2	11/08	112
09/08	1,3	09/08	348	09/08	146,2	09/08	7	12/08	238,1
10/08	1	10/08	191	10/08	70,7	10/08	6,9	-	-
11/08	1,8	11/08	257	11/08	159,3	11/08	7,2	-	-
12/08	3	12/08	392	12/08	120	12/08	7,9	-	-

ANEXO D

Tabela 13 Dados do esgoto tratado

Data (mês e ano)	Ssed (mL L ⁻¹ H ⁻¹)	Data (mês e ano)	DQO (mg L ⁻¹)	Data (mês e ano)	DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	Data (mês e ano)	pH	Data (mês e ano)	SS (mg L ⁻¹)
01/06	0,1	01/06	80	01/06	46,6	01/06	6,9	01/06	32
03/06	0,4	03/06	95	03/06	40	03/06	7,2	03/06	32
04/06	0,2	04/06	97	04/06	36,1	04/06	7,2	04/06	32
05/06	0,2	05/06	93	05/06	34,2	05/06	7,4	05/06	28
07/06	0,1	07/06	134	07/06	49,5	07/06	7,2	07/06	40
08/06	0,1	08/06	149,4	08/06	52,2	08/06	8,3	08/06	44
09/06	0,1	09/06	152	09/06	50,1	09/06	6,9	10/06	24
10/06	0,1	10/06	93	10/06	31,2	10/06	6,9	11/06	72
11/06	0,2	11/06	115	11/06	41,4	11/06	7	12/06	44
12/06	0,5	12/06	96	12/06	63,3	12/06	8	01/07	16
01/07	0,2	01/07	70	01/07	26,6	01/07	7,4	03/07	68
03/07	0,3	03/07	71	03/07	45,4	03/07	7,1	04/07	28
04/07	0,1	04/07	101	04/07	30,3	04/07	7,2	05/07	48
05/07	0,1	05/07	140	05/07	43,4	05/07	7	07/07	84
07/07	0,1	07/07	156	07/07	54,6	07/07	6,7	08/07	84
08/07	0,3	08/07	263	08/07	131,5	08/07	6,9	09/07	52
09/07	0,5	09/07	146	09/07	36,5	09/07	7,3	11/07	40
10/07	0,2	10/07	187	10/07	63,6	10/07	6,9	01/08	8
11/07	0,1	11/07	95	11/07	47,5	11/07	6,7	02/08	8
12/07	0,1	12/07	152	12/07	76	12/07	7	03/08	84
01/08	0,1	01/08	103	01/08	42,2	01/08	7,1	04/08	52
02/08	0,5	02/08	137	02/08	30,1	02/08	7,1	05/08	32
03/08	0,3	03/08	136	03/08	62,6	03/08	7,2	06/08	96
04/08	0,6	04/08	81	04/08	48	04/08	6,7	07/08	144
05/08	1	05/08	196	05/08	80	05/08	6,7	08/08	40
06/08	0,3	06/08	80	06/08	36	06/08	6,5	09/08	32
07/08	1,8	07/08	178	07/08	65	07/08	7,1	10/08	36
08/08	0,6	08/08	202	08/08	84,8	08/08	7,2	11/08	80
09/08	0,3	09/08	116	09/08	55	09/08	6,9	12/08	96
10/08	0,1	10/08	120	10/08	40	10/08	7,3	01/09	16
11/08	0,8	11/08	181	11/08	101,4	11/08	6,8	-	-
12/08	0,3	12/08	224	12/08	95	12/08	8	-	-
01/09	0,1	01/09	60	01/09	26,4	01/09	6,4	-	-