



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Câmpus Apucarana e Londrina



TAYLA GABRIELA DA LUZ

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) APLICADO NA
AVALIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LONDRINA
2020

TAYLA GABRIELA DA LUZ

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) APLICADO NA
AVALIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental - Área do conhecimento: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro

Coorientador: Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

Londrina
2020

TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação está licenciada sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, Califórnia 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

L979c Luz, Tayla Gabriela da

Controle estatístico de processo (CEP) aplicado na avaliação de uma estação de tratamento de efluentes / Tayla Gabriela da Luz. – Londrina: [s.n], 2020.
103 f. : il.; 30 cm.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Joseane Debora Peruço Theodoro

Coorientador: Prof.^o Dr.^o Ricardo Nagamine Costanzi

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Londrina, 2020.
Bibliografia: f. 92-99

1. Efluentes - Estações de Tratamento. 2. Resíduos Industriais. 3. Controle de Processo. I. Theodoro, Joseane Debora Peruço, orient. II. Costanzi, Ricardo Nagamine, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. V. Título.

CDD: 628

Ficha catalográfica elaborada por Simone Cristina Menolli – CRB 9/1500



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Câmpus Apucarana e Londrina



TERMO DE APROVAÇÃO

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) APLICADO NA AVALIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

por

TAYLA GABRIELA DA LUZ

Dissertação de Mestrado apresentada no dia 16 de setembro de 2020, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana e Londrina, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A mestranda foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após avaliação da Dissertação, a Banca Examinadora considerou a Dissertação aprovada. O presente termo assinado ficará depositado na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA.

Prof^a. Dr^a. Joseane Debora Peruço Theodoro - Orientadora
(UTFPR - Câmpus Londrina)

Prof.Dr. Paulo Sergio Theodoro - Membro Titular
(UNIOESTE – Câmpus Toledo)

Prof. Dr. Ajadir Fazolo- Membro Titular
(UTFPR - Câmpus Londrina)

Prof. Dr. Alesandro Bail

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

"A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso". Portaria nº 0345, de 15 de março de 2017

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Dr^a Joseane Debora Peruço Theodoro, por toda a sua competência, profissionalismo e dedicação a este trabalho. Obrigada por todas as palavras amorosa, pelo exemplo de vida e por toda a sua compreensão.

Ao professor Dr. Ricardo Nagamine Costanzi, que foi a primeira pessoa a acreditar no meu potencial e pela importante contribuição neste trabalho.

Aos membros da banca examinadora Dr. Paulo Sergio Theodoro e Dr. Ajadir Fazolo que gentilmente aceitaram a participar e colaborar com essa dissertação.

Aos professores do PPGEA e a UTFPR, nos quais me propuseram um grande conhecimento acadêmico e profissional.

Minha querida amiga Letícia Carvalho Oga, que caminhou junto a mim no mestrado e esteve presente em cada passo dessa dissertação.

A minha mãe Viviane e ao meu padrasto Luiz Carlos, sem vocês nada disso seria possível.

Ao meu Pai Dailton, por todas as palavras de encorajamento.

Ao meu esposo Fernando, por sempre estar ao meu lado e me proporcionar condições de realizar mais este sonho.

Ao meu filho Nicolas, por ser a minha maior conquista, minha fonte de amor e conforto inesgotável.

Aos meus amigos Ana, Mecshim Silvia e Welinton, por sempre estarem ao meu lado durante este período.

Agradeço especialmente a indústria estudada.

Por fim, agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desta dissertação, a vocês a minha eterna gratidão.

LUZ, Tayla Gabriela da. **Controle estatístico de processo (CEP) aplicado na avaliação de uma estação de tratamento de efluentes**. 2020.107 f . Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

RESUMO

A contaminação dos corpos hídricos vem sendo um problema crescente nas últimas décadas. As indústrias são responsáveis por grande parte desta contaminação e cabe a elas a descontaminação dos resíduos gerados antes da disposição final. Neste âmbito torna-se necessário a realização do tratamento do efluente gerado para garantir a qualidade da água dos rios. Sabe-se que os efluentes recebidos nas ETE dependem de diversas características da linha de produção da fábrica e do processo de fabricação, os tornando muitas vezes instáveis, levando a problemas quanto a eficiência do tratamento, sendo assim é importante a utilização de técnicas para a identificação de falhas no processo de modo a garantir a estabilidade do efluente. Neste contexto, é apresentada a avaliação do desempenho e a estabilidade de uma estação de tratamento de efluentes, por meio de técnicas de controle estatístico de processo. Foram utilizados os gráficos de medida individual de Shewhart e os gráficos de média móvel exponencial ponderada (MMEP). A ETE estudada tem como principal característica o tratamento do efluente gerado no processo de fabricação de snack de batata. Foram avaliados três pontos da ETE, efluente bruto, efluente após o tratamento físico-químico e efluente final, os parâmetros medidos foram demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (P) e potencial hidrogeniônico (pH), em um período de dois anos, espaço temporal mensal. Foi realizada uma análise estatística descritiva dos dados para identificar os pontos discrepantes e suas causas. As cartas de controle de Shewhart indicaram que os parâmetros $DBO_{5,20}$ e DQO do efluente bruto se mostraram fora do controle estatístico de processo. No efluente após o tratamento físico-químico todas as variáveis estão sob controle estatístico de processo. No efluente tratado com exceção da DQO, todas as variáveis estão sob controle estatístico de processo. Os gráficos de MMEP mostraram que o efluente bruto e após o tratamento físico químico contam com todas as variáveis sob controle estatístico de processo. Já no efluente final a única variável sob controle foi o pH. Foi possível identificar que há diferença na utilização dos gráficos, sendo o gráfico de medida individual de Shewhart mais indicado quando há grandes mudanças de concentração nas variáveis, como no efluente bruto. Já a MMEP foi mais eficiente para avaliar o tratamento final, pois as concentrações variam de forma sucinta não sendo detectadas pelo gráfico de Shewhart. O índice de capacidade de processo demonstrou que a ETE não tem capacidade de atender aos limites exigidos pela legislação Conama 357/05 quanto ao parâmetro fósforo total. Porém para os demais parâmetros analisados a ETE tem capacidade de tratar efluente de maneira a reduzir a carga poluidora conforme solicitado pelas legislações federal e estadual.

Palavras-chave: Efluente, Cartas de controle, CEP, índice de capacidade de processo.

LUZ, Tayla Gabriela da. **Statistical process control (CEP) applied in the evaluation of an effluent treatment plant.** 2020. 107 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

ABSTRACT

Contamination of water bodies has been a growing problem in recent decades. The industries are responsible for a large part of this contamination and it is up to them to decontaminate the waste generated before the final disposal. In this context, it is necessary to carry out the treatment of the effluent generated to guarantee the quality of the water in the rivers. It is known that the effluents received at the WWTP depend on several characteristics of the factory's production line and the manufacturing process, making them often unstable, leading to problems in terms of treatment efficiency, so it is important to use techniques for identification failures in the process in order to guarantee the stability of the effluent. In this context, the performance and stability evaluation of an effluent treatment plant is presented, using statistical process control techniques. Shewhart individual measure plots and weighted exponential moving average (MMEP) plots were used. The studied ETE has as main characteristic the treatment of the effluent generated in the potato snack manufacturing process. Three ETE points were evaluated, raw effluent, effluent after physical-chemical treatment and final effluent, the parameters measured were biochemical oxygen demand (BOD_{5,20}), chemical oxygen demand (COD), total phosphorus (P) and potential hydrogen (pH), over a period of two years, monthly temporal space. A descriptive statistical analysis of the data was performed to identify the outliers and their causes. The Shewhart control charts indicated that the parameters DBO_{5,20} and COD of the raw effluent were shown to be out of statistical process control. In the effluent after physical-chemical treatment, all variables are under statistical process control. In the treated effluent with the exception of COD, all variables are under statistical process control. The MMEP graphs showed that the raw effluent and after physical chemical treatment have all variables under statistical process control. In the final effluent, the only variable under control was pH. It was possible to identify that there is a difference in the use of the graphs, the Shewhart individual measurement graph being more suitable when there are large changes in concentration in the variables, such as in the gross effluent. MMEP, on the other hand, was more efficient in evaluating the final treatment, since concentrations vary succinctly and are not detected by the Shewhart graph. The process capacity index showed that the ETE is not able to meet the limits required by Conama 357/05 legislation regarding the total phosphorus parameter. However, for the other parameters analyzed, the ETE has the capacity to treat effluent in order to reduce the polluting load as required by federal and state legislation.

Keyword: Effluent, Control charts, CEP, process capacity index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dupla camada da partícula coloidal.	20
Figura 2 - Entradas e saídas do processo de produção	25
Figura 3 - Exemplo de gráfico de medida individual de Shewhart.....	27
Figura 4 - Exemplo de gráfico de média móvel exponencial ponderada - MMEP.	28
Figura 5 - Fluxograma da estação de tratamento de efluentes da indústria alimentícia.....	32
Figura 6 - Rio Alambari	34
Figura 7 - Fluxograma das etapas de construção dos gráficos.....	38
Figura 8 - Exemplos de processos fora de controle estatístico.....	40
Figura 9 - Gráfico de coluna para as variáveis DBO _{5,20} e DQO.	44
Figura 10 - Gráfico de colunas para as variáveis pH e fósforo.	45
Figura 11 - Boxplot DBO _{5,20} - Efluente Bruto.....	48
Figura 12 - Boxplot DQO - Efluente Bruto.....	49
<i>Figura 13 - Boxplot P - Efluente Bruto.....</i>	<i>51</i>
Figura 14 - Boxplot fósforo Efluente Bruto	52
Figura 15 - Boxplot DBO _{5,20} - Efluente após tratamento primário	54
Figura 16 - Boxplot DQO - Efluente após tratamento primário	55
Figura 17 - Boxplot P - Efluente após tratamento primário	56
Figura 18 - Boxplot pH - após tratamento primário	57
Figura 19 - Boxplot DBO _{5,20} efluente tratado.....	59
Figura 20 - Boxplot do DQO efluente tratado.....	60
Figura 21 - Boxplot fósforo do efluente tratado.	62
Figura 22 -Boxplot pH efluente tratado.	63
Figura 23 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DBO _{5,20} – EB.....	66
Figura 24 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DBO _{5,20} – EFQ	67
Figura 25 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DBO _{5,20} – EF	67
Figura 26 - Gráfico MMEP - DBO _{5,20} - EB.	69
Figura 27 - Gráfico MMEP - DBO _{5,20} – EFQ	70

Figura 28 - Gráfico MMEP - DBO_{5,20} - EF	70
Figura 29 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DQO – EB	72
Figura 30 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DQO – EFQ	72
Figura 31 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DQO – EF	73
Figura 32 - Gráfico MMEP - DQO – EB	75
Figura 33 - Gráfico MMEP - DQO – EFQ	75
Figura 34 - Gráfico MMEP - DQO – EF	76
Figura 35 - Gráfico de medida individual de Shewhart - fósforo – EB	78
Figura 36 - Gráfico de medida individual de Shewhart - fósforo – EFQ	79
Figura 37 - Gráfico de medida individual de Shewhart - fósforo – EF	79
Figura 38 - Gráfico MMEP - P – EB	80
Figura 39 - Gráfico MMEP - P- EFQ	81
Figura 40 - Gráfico MMEP - P – EF	82
Figura 41 - Gráfico de medida individual de Shewhart - pH – EB	83
Figura 42 - Gráfico de medida individual de Shewhart - pH – EFQ	84
Figura 43 - Gráfico de medida individual de Shewhart - pH – EF	85
Figura 44 - Gráfico MMEP - pH – EB	86
Figura 45 - Gráfico MMEP - pH – EFQ	86
Figura 46 - Gráfico MMEP- pH – EF	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de lançamento de efluente Conama 430/2011 e SEMA 021/09.	16
Tabela 2 - Característica do efluente da indústria de batata encontrado por outros autores.	17
Tabela 3 - Metodologias das análises	35
Tabela 4 - Parâmetros de lançamento exigidos pelo CONAMA 430/05	35
Tabela 5 - Resumo descritivo dos valores observados das variáveis do EB. ...	46
Tabela 6 - Resumo descritivo dos valores observados das variáveis do EFQ. ..	53
Tabela 7 -Resumo descritivo dos valores observados das variáveis do EF.	58
Tabela 8 - Resumo da eficiência global do tratamento.	64
Tabela 9 - Resumo do teste de normalidade e autocorrelação de dados	65
Tabela 10 - Resumo dos resultados obtidos com os gráficos de medida individual de Shewhart.	88
Tabela 11 – Resumo dos resultados obtidos nos gráficos de MMEP	88
Tabela 12 - Valores do índice de capacidade de processo.	90

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AC	Autocorrelação de dados
ALC	Alcalinidade
ARIMA	Modelo auto regressivo e de média móvel
CEP	Controle Estatístico de Processo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Índice de capacidade do processo
CV	Coeficiente de variação
DBO _{5,20}	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EB	Efluente bruto
EF	Efluente final
EFQ	Efluente após tratamento físico-químico
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
ISO	Organização internacional de normalização
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
MMEP	Média Móvel Exponencial Ponderada
MP	Proteína microbiana
N	Nitrogênio
NTK	Nitrogênio Kjeldahl total
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
PAC	Policloreto de alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais

TP	Fósforo total
UASB	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
VFAs	Ácidos graxos voláteis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	ESGOTO INDUSTRIAL	15
3.1.1	Características dos efluentes	16
3.1.2	Tratamento de efluentes	18
3.2	CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO	24
3.2.1	História	24
3.2.2	Conceito	25
3.2.3	Cartas de controle	26
3.2.4	Usos no monitoramento de tratamento de efluente	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO	31
4.1.1	Descrição do processo de tratamento	32
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
4.2.1	Base de dados e pontos monitorados	34
4.2.2	Variáveis analisadas e padrões de lançamento	35
4.2.3	Cálculo da eficiência	35
4.2.4	Análise estatística	36
5	Resultados e discussões	44
5.1	Estatística descritiva	46
5.1.1	Efluente Bruto	46
5.1.2	Efluente após tratamento primário	52
5.1.3	Efluente tratado	58
5.2	EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO	63
5.3	CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO	64

5.3.1 Demanda bioquímica de oxigênio – DBO _{5,20}	65
5.3.2 Demanda química de oxigênio – DQO.....	71
5.3.3 Fósforo – P.....	77
5.3.4 Potencial hidrogeniônico – pH.....	82
5.3.5 Resumo dos resultados dos gráficos de controle.....	87
5.4 Índice de capacidade de processo.....	90
6 Conclusão.....	91

1 INTRODUÇÃO

Os efluentes industriais sem tratamento correto contribuem para a contaminação dos corpos hídricos. Seu despejo *in natura* pode provocar nos corpos receptores o consumo de oxigênio dissolvido, aumento dos sólidos totais, dos nutrientes e de organismos patogênicos (JORDÃO; PESSÔA, 2014). As características dos efluentes estão condicionadas ao tipo de indústria (alimentícia, química, petroquímica, têxtil, farmacêutica, papel, siderúrgicas etc.), a matéria prima utilizada, a quantidade de horas de funcionamento da indústria, ao produto obtido e sua característica ambiental (ANA, 2011).

Dentre as indústrias com grande potencial de consumo de água e geração de efluentes encontram-se as indústrias do setor alimentício. Suas águas residuais são oriundas de diversas atividades e equipamentos na linha de produção como: aquecedores, geradores de vapor, lavagens de maquinário do processo industrial, pisos, pátios etc. (VON SPERLING, 2009).

As indústrias são as responsáveis pela descontaminação do efluente antes do lançamento nos corpos hídricos. Os tratamentos de efluentes utilizados seja: físicos, físico-químicos e biológicos, têm por finalidade mitigar os poluentes e contaminantes presentes nas suas águas residuárias para atender as normas e resoluções propostas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/05; 430/11 (legislações nacionais) e pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) 021/2009 (legislação estadual).

Assim, o gerenciamento da atividade de fiscalização sobre o lançamento de efluentes tratados como forma de diluição em corpos hídricos é coagente atribuído aos órgãos estaduais e federais, do qual o não cumprimento das normas estabelecidas pelas Leis pode resultar em multas e autuações de funcionamento às indústrias responsáveis pelos efluentes (NARDI, 2005).

Das indústrias alimentícias presentes no Brasil, uma que merece destaque é a indústria que trabalha com o processamento da batata. A batata conhecida popularmente como batata inglesa de nome científico *Solanum tuberosum L.* é o terceiro alimento mais consumido no mundo, estima-se que mais de um bilhão de pessoas a consomem diariamente.

No Brasil a batata é a hortaliça mais importante em termos de produção com cerca de 3,5 milhões de toneladas ao ano. A maior parte da produção é consumida na forma *in natura*, apenas 10% destina-se ao processamento industrial nas formas de pré-frita congelada, *chips* e batata palha.

Para a produção de batata *chips*, são utilizados em média 300 mil toneladas de batata fresca e 80 mil toneladas para produção de batata palha (PEREIRA; SUINAGA, 2016). O processo de lavagem das batatas é o principal responsável pelo elevado consumo de água e geração de efluente com alta carga poluidora.

Segundo Von Sperling (2011), o processo produtivo da batata gera cerca de 7,5 a 16 m³ de efluente por tonelada de batata processada. Este efluente proveniente do processamento da batata é responsável pela geração de subprodutos orgânicos biodegradáveis, com altas cargas de sólidos suspensos, elevadas demandas químicas de oxigênio (DQO) e demandas bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) (DABESTANI *et al.*, 2017).

As indústrias alimentícias estão em constante busca de melhoria na qualidade do tratamento de efluentes, bem como na redução de custos operacionais. Segundo Souza (2018) atender aos limites estabelecidos pela legislação não é suficiente para caracterizar um tratamento de qualidade.

Qualidade é inversamente proporcional a variabilidade (MONTGOMERY, 2009), sendo assim, para aumentar a qualidade dos tratamentos de efluentes é necessário reduzir a variabilidade do processo de tratamento. Para que ocorra essa redução é importante estudar o processo, utilizando técnicas de controle estatístico de processo (CEP).

As técnicas de controle estatístico de processo são utilizadas para aperfeiçoamento da qualidade dos sistemas produtivos (MONTGOMERY, 2004). Sendo assim, torna-se uma ferramenta para gerir com eficiência e confiabilidade uma estação de tratamento de efluentes (ETE). Por meio desta técnica de monitoramento do processo, podem-se identificar falhas no tratamento, o que irá permitir ações corretivas antes que o efluente seja lançado ao corpo hídrico, evitando-se alterações impactantes ao meio ambiente.

O presente trabalho tem como objetivo usar o controle estatístico de processo na avaliação da performance e da estabilidade de uma ETE, sendo uma alternativa simples na análise e identificação de falhas no processo. A ETE recebe águas residuárias dos processos de fabricação das seguintes linhas: derivados de

amendoim, molhos, pipocas prontas, batata palha, batata chips, mandioquinha chips, especiarias e derivados de milho, destacando que a água residuária do processo da batata é responsável por cerca de 90% do efluente líquido gerado pela indústria estudada.

Assim, neste trabalho foi utilizada as técnicas de controle estatístico de processo (CEP) sobre os parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) e fósforo total (P); visando avaliar a capacidade da ETE em tratar os efluentes de forma adequada para atender os limites estabelecidos pela legislação ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a performance e a estabilidade da estação de tratamento de efluentes, por meio de gráficos de controle estatísticos de processo aplicados aos dados provenientes do monitoramento do efluente bruto, efluente após tratamento físico-químico e efluente tratado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Construir cartas de medida individual de Shewhart e Média Móvel Exponencial ponderada.
- Aplicar as cartas de controle estatístico de processo nas variáveis de qualidade, para avaliar o comportamento e a estabilidade do efluente bruto, efluente após tratamento físico-químico e efluente final.
- Utilizar as cartas de controle, como uma alternativa simples na análise e identificação de falhas no processo.
- Avaliar por meio do índice de capacidade de processo, se as variáveis no ponto de lançamento atendem os limites especificados para deposição nos corpos hídricos.
- Avaliar a estabilidade da estação de tratamento de efluentes.
- Verificar se há diferença significativa quanto a sensibilidade existente entre os gráficos de medida individual de Shewhart e de média móvel exponencial ponderada.
- Verificar qual carta melhor identifica as variações da ETE.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ESGOTO INDUSTRIAL

As indústrias geram uma grande quantidade de efluentes, estes são oriundos de diversos processos, como de limpeza de equipamentos, água de refrigeração, efluente do processo produtivo, águas de sistemas de controle de poluição, efluentes de lavagem de pisos, pátio e áreas externas (JORDÃO; PESSOA, 2014).

Uma grande porcentagem da água utilizada na indústria é descartada em forma de efluente líquido. Em sua composição estão associados contaminantes que, se lançado aos corpos receptores sem o devido tratamento irão causar problemas ambientais. Deste modo, todo efluente líquido gerado pela indústria, deve ser tratado por um sistema de tratamento de águas residuárias antes da disposição ao meio ambiente (VON SPERLING, 2011).

Entretanto, para que o efluente possa ser tratado de maneira eficiente, torna-se indispensável o conhecimento prévio das características da água residual gerada pela indústria. A composição do efluente industrial está associada com diversos fatores que irão influenciar em seu potencial poluidor.

As características do efluente podem variar de acordo com: o período de funcionamento da indústria, quantidade de colaboradores, fluxograma do processo industrial; planta da fábrica; característica das matérias primas utilizadas; processo produtivo; utilização da água dentro da indústria; possíveis picos de geração de efluente; sistema de tratamento dos efluentes; condições de funcionamento dos equipamentos industriais; e, relação indústria e meio ambiente (ANA, 2011).

A estação de tratamento de efluentes industriais deve ser capacitada para reduzir a carga poluidora, a fim de atender os padrões de qualidades exigidos pelas legislações vigentes federais e estaduais. Os limites estabelecidos garantem a proteção da qualidade da água e asseguram para seus usos previstos.

A resolução CONAMA 357/2005 dispõe de classificação e diretrizes de enquadramento dos corpos hídricos, bem como, estabelece os limites de lançamentos dos efluentes para cada classe. Estes são divididos de acordo com a qualidade da água e sua funcionalidade.

A resolução CONAMA 430/2011, estabelece os padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos, complementa e altera a resolução anterior. Já a legislação estadual regida pela Resolução 021/2009 – SEMA Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. A indústria deve atender os padrões exigidos pelas legislações e outorga de lançamento atribuída a estação de tratamento de efluente (Tabela 1).

Tabela 1 - Limites de lançamento de efluente Conama 430/2011 e SEMA 021/2009.

Parâmetro	Limite estabelecido legislação Conama 430/11	Limite estabelecido legislação SEMA 021/2009
DBO _{5,20}	Remoção mínima 60%	90 mg.L ⁻¹
DQO	-	225 mg.L ⁻¹
pH	5 a 9	-
P	-	-

Fonte: Conama 430/2011 e SEMA 021/2009.

3.1.1 Características dos efluentes

Para mensurar o impacto causado pelo efluente nos corpos d'água, utiliza se parâmetros de qualidade. Estes parâmetros são de origem química, física e biológica, e são utilizados para verificação do efluente ao enquadramento da legislação (JORDÃO; PESSOA, 2014). Na Tabela 2 estão dispostas algumas características dos efluentes gerados pelo processamento da batata encontrados por alguns autores.

Tabela 2 – Estudo utilizando o efluente da indústria de batata encontrado por outros autores.

Fonte	Escopo	Parâmetros avaliados	Conclusão principal
Kobyá <i>et al</i> (2006)	Tratamento de águas residuais de batatas fritas por eletrocoagulação. Foram avaliados a eficiência de eletrodos de alumínio e ferro, bem como o melhor pH, densidade de corrente e tempo de retenção.	DQO Turbidez Sólidos em suspensão	Observou-se que os eletrodos de alumínio foram mais eficientes. A DQO e a turbidez apresentaram alta eficiência de remoção 60% e 98%, e o custo operacional variou de 0,48 a 5,42 \$ / m ³ .
Arslan <i>et al</i> (2016)	Aplicação da oxidação de O ₃ / UV / H ₂ O ₂ e otimização de processos para tratamento de águas residuais de fabricação de chips de batata.	pH - 7.7 Cor -1691 Pt-Co SST (mg.L ⁻¹) 145 Amoniacal - 103 mg.L ⁻¹ DQO 5.040 mg.L ⁻¹	Foi avaliado a remoção apenas da DQO, e obteve-se uma eficiência de 66-80%. O custo da maior eficiência de remoção foi de 0,695 Euro por grama de DQO removido.
Senturk, Ince, Engin (2010)	Eficiência no tratamento e composição de AGV de um reator de contato anaeróbico termofílico para tratamento de águas residuais da indústria de alimentos	DQO total 5.252 mg.L ⁻¹ . DQO filtrada 2.500 mg.L ⁻¹ pH - 7 - 8 Fósforo total 90 - 100 mg.L ⁻¹ . SST - 2000 mg.L ⁻¹ Nitrogênio total Kjeldahl - 200-250 mg.L ⁻¹ .	O reator se mostrou eficiente na remoção de DQO e obteve resultados de 86 a 97%.
Antwi, <i>et al</i> (2020)	Estimativa da produção de biogás e metano em um UASB tratando águas residuais de processamento de amido de batata com rede neural artificial de retropropagação	DQO, N amoniacal, Pt, TKN, ALK e VFAs foi em média de 49179, 302, 190, 1023, 4945 e 534 mg.L ⁻¹ , respectivamente	O biogás gerado a partir do UASB mesofílico obteve rendimento de biogás de 3,40 a 16,8L.d ⁻¹

Spiller et al 2020	Impacto ambiental da proteína microbiana das águas residuais da batata como ingrediente alimentar: Avaliação comparativa do ciclo de vida de três sistemas de produção e farelo de soja	DQO – 8.137 mg.L ⁻¹ N – 300 mg.L ⁻¹ P – 63 mg.L ⁻¹	A proteína microbiana (MP) é uma nova fonte de proteína que deve desempenhar um papel na futura transição proteica. A comparação com o farelo de soja mostra que o MP produzido nas águas residuais da batata exerce menores impactos nas categorias de saúde humana e ecossistema
-----------------------	---	---	--

Fonte: Autoria própria, 2020.

3.2.1 Tratamento de efluentes

O tratamento de efluente pode ser dividido em três grupos: processos físicos, químicos e biológicos. Esta separação é apenas para melhor entendimento, pois, pode ocorrer mais de um dos processos, o predominante carrega a denominação do grupo (MOUSSA *et al.*, 2017).

3.2.1.1 Pré-tratamento

A etapa de processos físicos acontece geralmente no início do tratamento, onde os sólidos grosseiros, sedimentáveis e flutuantes não dissolvidos são removidos da parte líquida por meio de processos físicos. Entre os processos físicos mais comuns estão: peneiramento, gradeamento, sedimentação etc. (NUNES, 2012).

Nesta etapa acontece apenas a separação dos poluentes do efluente, sem que haja alteração químicas ou biológicas da água residual (MOUSSA *et al.*, 2017).

3.2.1.2 Tratamento primário

No tratamento primário a velocidade do fluxo de água é reduzida para que os processos físicos químicos aconteçam e promovam a separação do sólido líquido. Este processo pode ser realizado sozinho ou com adição de algum agente químico, no qual aumentará a capacidade de sedimentação e/ou proporcionará a flotação dos contaminantes. Processos associados a coagulantes apresentam remoção de até 90% dos sólidos, já os processos apenas físicos removem de 50 a 70% (METCALF; EDDY, 2003).

Os processos que utilizam coagulante como agente de sedimentação são denominados tratamentos físico-químicos.

3.2.1.2.1 Propriedades das partículas coloidais

A classificação das partículas pode ser realizada conforme seu tamanho e característica, como dissolvida, coloidais e suspensas. As partículas em suspensão são visualizadas com auxílio de microscópio ou a olho nu, ficam retidas no filtro e tem capacidade de sedimentação. Seu tamanho pode variar entre 10^{-3} mm a 10^{-1} mm. Já as partículas coloidais são menores, na faixa de 10^{-6} mm a 10^{-3} mm, em decorrência disto o tempo de sedimentação é muito longo, portanto é inviável a remoção utilizando somente sedimentação (PAVANELLI, 2001).

No efluente existem duas fases, líquidas e sólidas constituindo assim um sistema bifásico. Na presença de uma grande quantidade de partículas coloidais ocorre a interação entre as camadas difusas por conta do movimento browniano, sendo assim, há atração e repulsão entre as partículas devidos à força de van der Waals e a força eletrostática (GHERNAOUT *et al.*, 2011).

Os coloides (Figura 1) apresentam cargas negativas em sua superfície, sendo assim, quando interagem com um líquido com íons positivos e negativos, tendem a aproximar da sua camada cargas positivas, formando assim a camada

compactada. Quando é adicionado íons, ou a força iônica aumenta, a camada difusa se torna menor deixando a eletricamente neutra. Com isso o potencial elétrico diminui conseqüentemente as interações de van der Waals se tornam dominantes e elimina a atração eletrostática (DI BERNARDO, 2006).

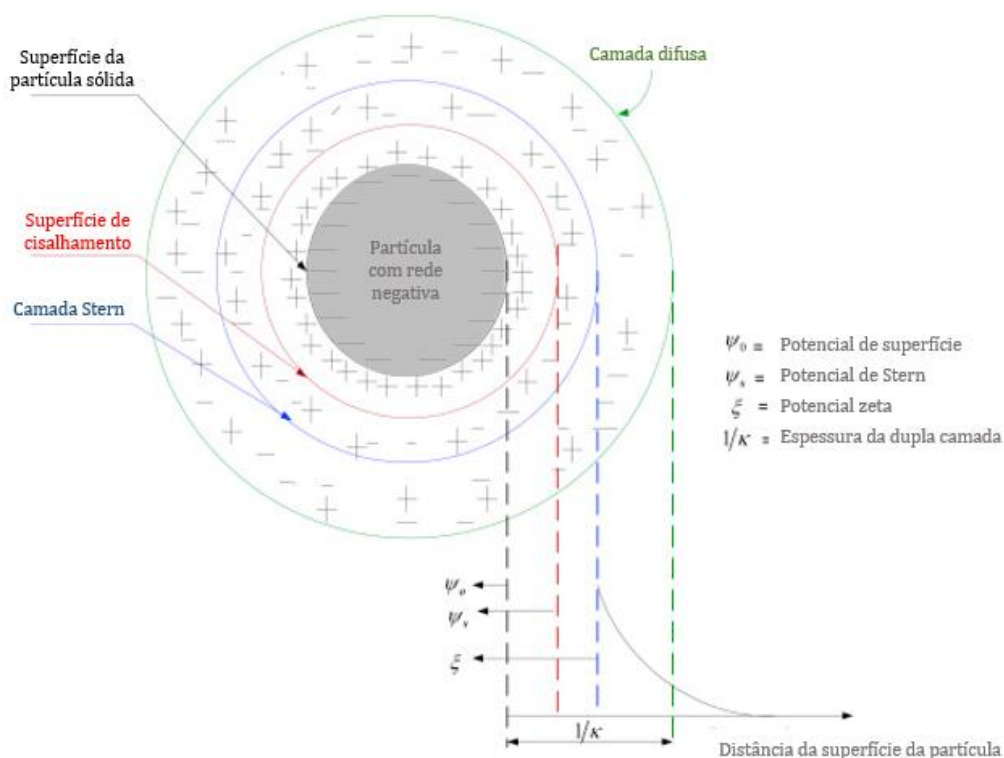


Figura 1 - Dupla camada da partícula coloidal.

Fonte: Adaptado de MOUSSA *et al.*, 2017.

O potencial zeta mede a estabilidade da partícula coloidal, quanto maior o potencial, maior a magnitude de repulsa entre as partículas, mais estável é o sistema coloidal. A coagulação tende a reduzir o potencial zeta, ou seja, desestabilizar a partícula adicionando íons específicos, de modo que aconteça a união das partículas coloidais formando os flocos (DUMAN; TUNÇ, 2009). Sendo assim, ao diminuir o potencial zeta as partículas coloidais reduzem a repulsão e tendem a se unir.

3.2.1.2.2 Coagulação

No processo de coagulação é necessário o uso de agentes químicos (coagulantes), estes geralmente utilizam sais de alumínio ou ferro. Ao entrar em contato com o líquido os sais hidrolisam formando hidróxidos do metal, tornando o líquido carregado positivamente. Os hidróxidos precisam entrar em contato com as cargas poluentes presentes no efluente, para que isso ocorra, é necessário utilizar a agitação e o tempo de mistura rápida (DI BERNARDO, 2006). Seu objetivo é dispersar rapidamente todo o coagulante pelo efluente fazendo a interação dos hidróxidos com os coloides. Após o processo de coagulação o potencial zeta tende a zero, isso significa que o coagulante neutralizou as partículas.

O tempo de mistura rápida varia de 1 a 2 minutos e o gradiente de velocidade de 500 a 1000 s^{-1} , dependendo do autor. Existem vários fatores que potencializam a coagulação, como a dosagem correta de coagulante, a faixa de pH, energia de agitação e alcalinidade da água (SCHIMITTI, 2011). A eficiência do processo de coagulação/floculação está relacionada com a natureza e dosagem do agente coagulante.

O processo de coagulação pode ocorrer por meio de quatro mecanismos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura, e adsorção e formação de pontes.

3.2.1.2.3 Floculação

Após o processo de coagulação onde ocorreu a desestabilização das partículas coloidais, segue a floculação. Nesta etapa também é necessário o controle da velocidade de agitação bem como o tempo de interação entre as partículas. As partículas desestabilizadas irão chocar se umas com as outras tendendo a formar flocos. Estes se tornam maiores e mais densos que serão removidos em etapas posteriores por sedimentação (DAO *et al.*, 2016).

Na floculação a velocidade de agitação é reduzida, pois, é necessário que ocorra o choque entre as partículas, porém não pode ocorrer o cisalhamento dos flocos.

3.2.1.2.4 Remoção dos flocos

Os flocos formados no processo de coagulação/floculação devem ser removidos do líquido. Algumas técnicas podem ser utilizadas como sedimentação/decantação e flotação.

Sedimentação/decantação: etapa subsequente a coagulação/floculação, onde os flocos presentes no efluente são maiores e por ação da gravidade e inércia tendem a decantar, tornando o efluente clarificado (SCHIMITT, 2011).

Flotação por ar dissolvido: Após a coagulação/floculação o efluente segue para um flotador onde é adicionado bolhas de gás a massa líquida, na qual tendem a sair do flotador arrastando/flotando os flocos. Este processo (FAD) utilizado em conjunto a coagulação/floculação tem eficiência de até 95% de remoção de $DBO_{5,20}$ (BENSADOK *et al.*, 2007). Além de apresentar uma boa eficiência quanto a remoção de fósforo (CHOI *et al.*, 2016).

3.2.1.2.5 Coagulantes

Os coagulantes utilizados no processo de coagulação/floculação podem ser divididos em orgânicos e inorgânicos.

Os coagulantes inorgânicos mais utilizados são os sais de alumínio e ferro e algumas vezes são associados usos de polímeros para potencializar o tratamento. Estes coagulantes apresentam boa eficiência e um baixo custo. Porém acarretam algumas desvantagens como geração de lodo químico, consumo de alcalinidade e aumentam o custo operacional (MAURER; BOLLER, 1999).

Coagulantes inorgânicos: Além de agentes de coagulação, estes coagulantes promovem a aceleração da floculação (LEE; ROBINSON; CHONG, 2014). Os coagulantes naturais têm se mostrado uma boa alternativa quanto aos inorgânicos, pois apresentam baixo custo, boa biodegradabilidade e não causam impactos ambientais (SCHIMITT, 2011).

3.2.1.2.6 Agentes floculantes

O policloreto de alumínio PAC tem fórmula molecular $Aln(OH)_mCl_{3n-m}$, é um coagulante inorgânico, pré-polimerizado de baixo peso molecular. Possui aspecto líquido pouco viscoso, com odor característico e cor acastanhado (CARDOSOS, 2006).

Apresenta capacidade de formar flocos considerada rápida em relação a coagulantes não pré-polimerizados, isso faz com que os flocos formados proporcionem uma elevada densidade e conseqüentemente sedimentem mais rapidamente (CARDOSOS, 2006).

Em associação ao coagulante pode-se utilizar auxiliares de floculação chamados de polímeros. Estes podem ser aniônicos ou catiônicos e oferecem vantagens quando utilizados associados ao coagulante principal. Os polímeros formam flocos mais robustos a força de cisalhamento, elevam a densidade dos flocos fazendo com que a sedimentação ocorra mais rapidamente e não alteram o pH e a alcalinidade do meio (LIMA, 2007).

3.2.2.3 Tratamento secundário

Muitas vezes o tratamento primário não é suficiente para atingir os limites estabelecidos pela legislação, sendo assim, torna-se necessário a utilização de outras técnicas para melhorar a eficiência de remoção dos contaminantes presentes na água residual.

O tratamento secundário é póstumo ao tratamento primário e consiste em um processo biológico no qual utiliza microorganismos como decompositores de matéria orgânica. O principal objetivo é a remoção de sólidos coloidais e nutrientes remanescentes após as etapas anteriormente citadas. Este tratamento é capaz de transformar a matéria orgânica particulada e/ou solúvel em compostos simples. Considerado o tratamento mais eficiente quanto ao atendimento a legislação (CAVALCANTI, 2016).

Os principais tratamentos secundários são: lodo ativado, lagoas aeradas, lagoas de estabilização.

3.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

3.2.1 História

Em 1924 Walter A. Shewhart, um funcionário da empresa Bell *Laboratories* desenvolveu técnicas de estatísticas para ter controle do processo e as publicou em um relatório. No início suas técnicas não foram bem aceitas, porém ao passar dos tempos seus conceitos foram se difundindo e passou a se tornar parte fundamental para o controle de diversos processos industriais (EPPRECHT *et al*, 2007).

Na década de de 50 nos Estados Unidos, as técnicas de controle estatístico de processo começaram a serem utilizadas na indústria química, e seu uso ficou restringido até a década de 80. Nesta época as indústrias ocidentais descobriram que as indústrias japonesas também utilizavam métodos de controle de qualidade desde 1960. Desde de então, houve uma crescente busca de melhoria na qualidade do processo sendo utilizada as técnicas de controle estatístico de qualidade (MONTGOMERY, 2009).

3.2.2 Conceito

Montgomery e Runger (2003) definem produtos de qualidade como aqueles que atendem as especificações com menor variabilidade e custo. Derivado do controle estatístico de qualidade, o controle estatístico de processo tem o intuito de garantir a menor variabilidade do processo produtivo, eliminando os possíveis defeitos, paradas de linhas e conseqüentemente reduzindo o custo de produção e aumentando o lucro da empresa.

O processo produtivo pode ser interpretado como um sistema (máquina), que altera as entradas transformando os insumos em produtos que detêm determinadas especificações (TAKAHASHI, 2011).

Neste contexto é possível visualizar uma estação de tratamento de efluentes como um processo produtivo, onde as entradas são (efluente bruto, efluente após o tratamento físico-químico e efluente final), que são transformadas pelas máquinas (estruturas e equipamentos da ETE), em um produto final (água tratada) e as especificações são determinadas pela legislação (ABREU, 2018). Sendo assim, torna se possível aplicar os gráficos de controle a uma estação de tratamento de efluentes (ETE). Na Figura 2 encontra se o processo produtivo e as variáveis.

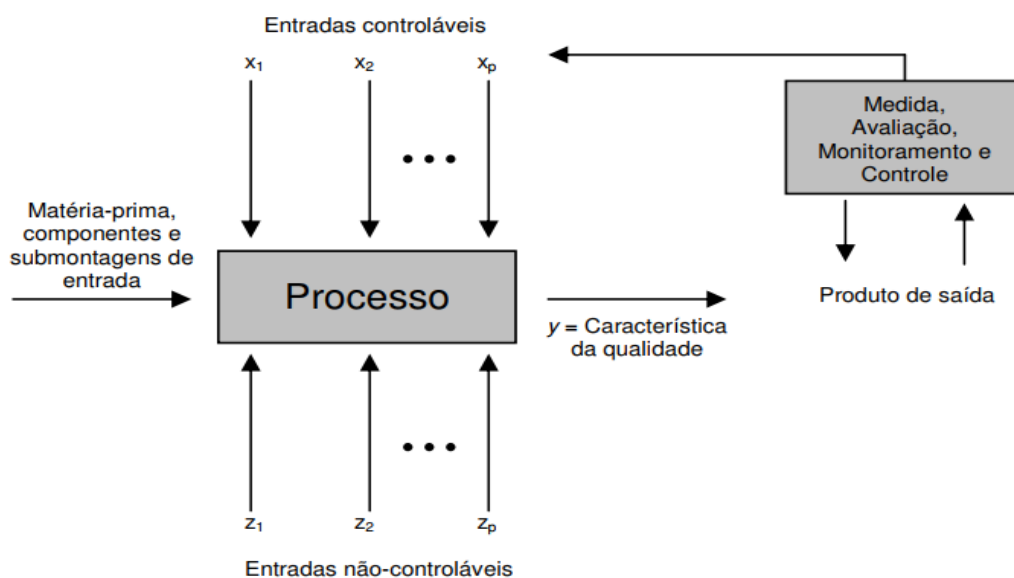


Figura 2 - Entradas e saídas do processo de produção
Fonte: Montgomery 2004, adaptado Orssatto 2010.

A Figura 2 apresenta o índice x que são as entradas controladas que podem ser: temperatura, quantidade de produto, pressão entre outras, já os fatores ambientais (características da matéria prima) são as entradas z que não podem ser controlados. Sendo assim, o processo transforma as entradas em produtos acabados, que carregam as características das entradas (MONTGOMERY, 2004).

Todos os processos produtivos, apesar de controlados, apresentam algum tipo de variabilidade, no peso, tamanho, coloração do produto, etc.. As somas das pequenas variabilidades são denominadas de ruídos, processos com pouco ruídos são aceitáveis. As entradas não controláveis (z) são ditas naturais, ou causas comuns, estas causas são inerentes ao processo, ou seja, mesmo na ocorrência delas o processo está sob controle (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

3.2.3 Cartas de controle

Os gráficos, ou cartas de controle, buscam aumentar a produtividade do processo, por meio da identificação de variabilidade e suas possíveis causas.

Existem vários tipos de gráficos de controle, a sua utilização vai depender do tipo de variável (contínua ou discreta), tamanho das observações, periodicidade dos processos e as informações a serem analisadas (SOUZA, 2018).

Para construir as cartas de controle é necessária uma coleta de dados das amostras em um espaço de tempo, estas são plotadas em um sistema cartesiano, no eixo das abscissas. Paralelo ao eixo x , são plotados 3 linhas, o limite superior de controle (LSC), o limite inferior de controle (LIC) e a linha central, geralmente calculada pela média das amostras.

A cada amostra é possível comparar os resultados aos limites de controle. Pontos foras dos limites indicam causas especiais de variabilidade, estas acusam alguma anomalia no processo, que prejudica a qualidade do produto. As causas especiais podem ser identificadas também, por meio de deslocamentos dentro do processo (CHEN; CHENG, 2009).

Os limites de controle são calculados com base em algum múltiplo do desvio padrão. Usualmente utiliza-se o limite de três (3 sigmas) para qualquer gráfico de controle, pois vem apresentando bons resultados práticos (MONTGOMERY; RUNGER, 2003). Quando o processo se encontra sob controle é recomendado que os limites sejam mais restritivos, chamados de limites de alertas (OLIVEIRA, *et al*, 2013)

Os gráficos de controle de Shewhart e de média móvel exponencial ponderada (MMEP) são gráficos para variáveis. Estes dois gráficos possuem os limites de controle e a linha central (SOUZA, 2018).

O gráfico de Shewhart é o mais utilizado dentre os gráficos de controle estatístico, este fato se justifica por ser de fácil interpretação e levar em consideração o último resultado, ou seja, não utiliza a sequência de dados, sendo assim ele é relevante para identificar com eficácia grandes variações, (MONTGOMERY, 2009). Na Figura 3 encontra-se um exemplo do gráfico de medida individual de Shewhart.

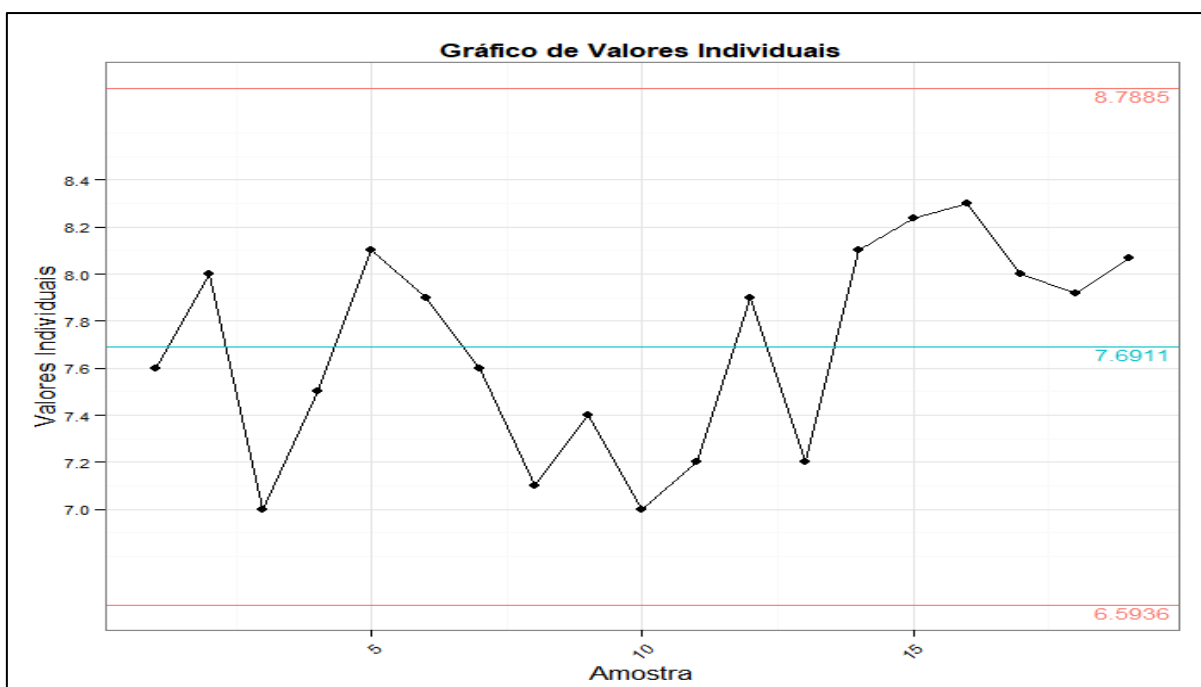


Figura 3 - Exemplo de gráfico de medida individual de Shewhart.
Fonte: Autoria própria, 2020.

As primeiras cartas de controles propostas por Shewhart são de fácil interpretação. No entanto, estas cartas detectam apenas grandes problemas no processo, tornando as muitas vezes ineficientes ou levam muito tempo para que possam identificar pequenos problemas no processo. Devido a esta falta de sensibilidade, foi necessário a aprimorar este tipo de ferramenta de qualidade, surgindo assim o gráfico de média móvel exponencial ponderada (TRAN *et al.*, 2019). O gráfico de média móvel exponencial ponderada (MMEP) interpreta os dados em conjuntos para avaliar a estabilidade do processo, é considerado um gráfico de memória. O MMEP é eficiente na detecção de pequenas e médias variações no processo (MONTGOMERY, 2004).

Um exemplo do gráfico de média móvel exponencial ponderada pode ser observado na Figura 4.

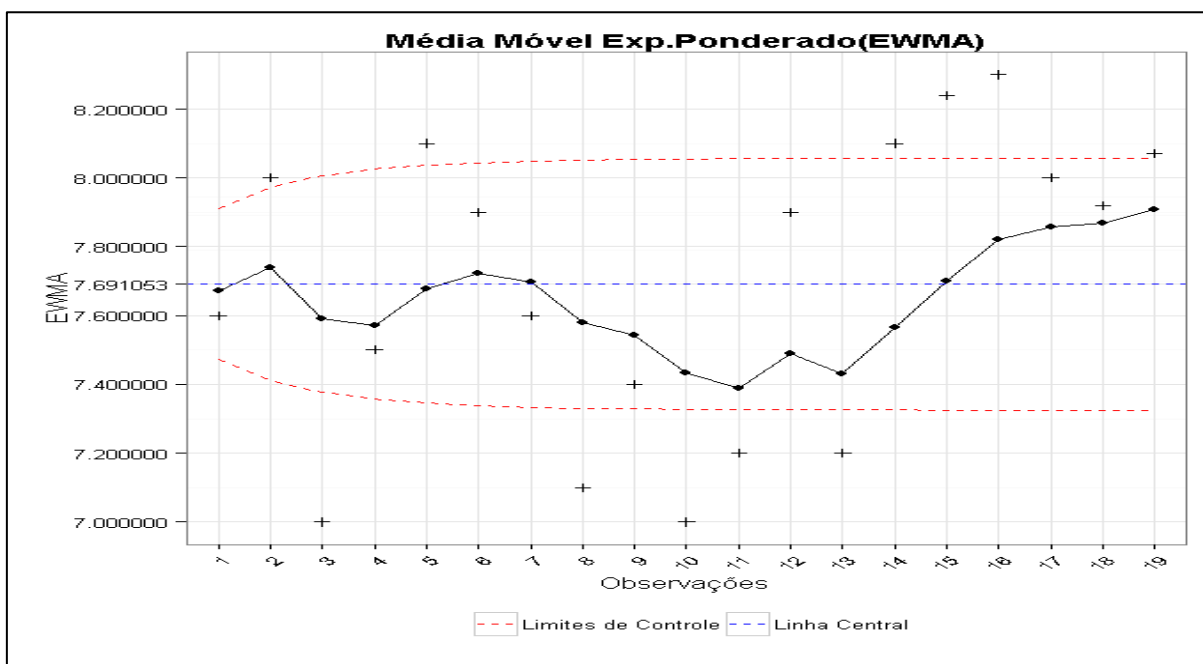


Figura 4 - Exemplo de gráfico de média móvel exponencial ponderada - MMEP.
 Fonte: Autoria própria, 2020.

3.2.4 Usos no monitoramento de tratamento de efluente0

Destaca-se dentro da indústria a ampla utilização positiva do CEP, esta ferramenta pode ser utilizada também em ambientes não industriais. Porém, para tal uso deve-se proceder com maior flexibilidade, pois os processos não industriais possuem um funcionamento mais complexo (MONTGOMERY, 2009).

A área da engenharia ambiental apresenta oportunidades de desenvolvimentos de técnicas de controle estatísticos de processo e existem alguns estudos da aplicação do CEP.

Silva *et al.* (2014), utilizou o CEP na avaliação de uma estação de tratamento Agroindustrial. Nesta pesquisa, os autores analisaram a variabilidade do processo de tratamento de efluentes utilizando as cartas de Shewhart e utilizaram dos critérios propostos pela norma para interpretar a aleatoriedade. Encontraram 10 parâmetros fora de controle e nove dentro de controle estatístico.

Orssatto, Boas e Eying (2015) utilizaram o gráfico de média móvel exponencial ponderada (MMEP) para monitorar uma estação de tratamento de esgoto. Os parâmetros avaliados foram o potencial hidrogeniônico (pH), sólidos sedimentáveis (SSed), sólidos suspensos totais (SST), demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}). Apenas os sólidos suspensos totais se mostraram fora de controle estatístico.

Henning *et al.* (2014) utilizou os gráficos de controle estatístico de processo para avaliar a qualidade da água potável. Foi utilizado o modelo Autorregressivo integrado e de médias móveis ARIMA para remoção de autocorrelação dos dados. A turbidez apresentou pontos fora do limite de controle, o cloro estava sob controle estatístico.

Nota-se que as técnicas de controle estatísticos de processos estão sendo utilizadas por alguns autores, aplicando-as em estudo na área de saneamento ambiental, no monitoramento de estações de tratamento ETAs e ETEs. Essas técnicas possibilitaram detectar causas de variabilidade e implantar ações corretivas nas estações de tratamento, sendo uma grande aliada na melhora da qualidade do produto tratada.

No entanto, quando realizado a pesquisa do referencial teórico, observou-se uma limitação de trabalhos relacionadas ao tratamento de efluentes industriais tanto

no âmbito nacional, quanto internacional, especialmente na área alimentícia, portanto ressalta-se a relevância desta pesquisa para a área

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada a coleta de dados referentes ao efluente bruto, efluente após tratamento físico-químico e efluente tratado. A série histórica dos dados de monitoramento foram fornecidos pela indústria de alimentos. Os dados são referentes aos meses de novembro de 2018 a maio de 2020. Os parâmetros analisados foram $DBO_{5,20}$; DQO; fósforo total e pH.

Também foi realizado o cálculo da eficiência da ETE e posteriormente a sua estatística descritiva para auxiliar na verificação de valores característicos e valores extremos. Após esta etapa foi verificado a normalidade dos dados com o objetivo de construção das cartas do CEP.

4.1 Estação de tratamento de efluente - ETE

A estação de tratamento de efluentes (ETE) pertence a uma indústria do ramo alimentício, localizada no norte do Paraná. A estação recebe afluente apenas dos processos fabris e limpeza dos setores, sendo que o sanitário não é tratado na ETE. A água residual é gerada pelo processo de fabricação de derivados de amendoim (paçoca, pé de moleque, amendoim japonês etc.), molhos, pipocas prontas, batata palha, batata chips, mandioquinha chips, especiarias e derivados de milho.

O processo de batata é o maior gerador de efluentes líquidos. A ETE conta com um tratamento físico, físico-químico seguido de um tratamento biológico nos quais as etapas e os pontos de coleta das amostras constam na Figura 5.

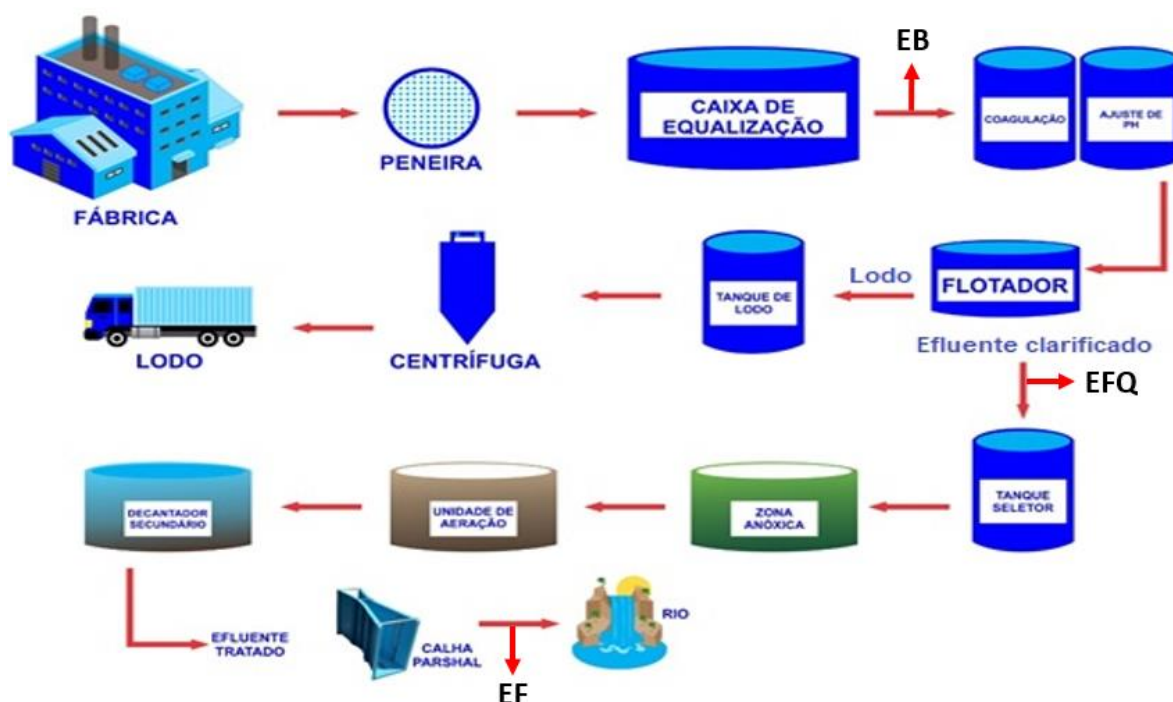


Figura 5 - Fluxograma da estação de tratamento de efluentes da indústria alimentícia
 Fonte: Imagem fornecida pela indústria, 2018.

4.1.1 Descrição do processo de tratamento.

O processo de tratamento físico se inicia na peneira, onde acontece a separação dos sólidos em suspensão, sedimentáveis e flutuantes. Após, o efluente é destinado para a caixa de equalização onde ocorre a homogeneização.

O efluente segue para o tratamento primário, no qual consiste em um sistema físico-químico composto por uma etapa de coagulação e ajuste de pH seguido de flotor por ar dissolvido (FAD).

O policloreto de alumínio 16% é usado como coagulante associado ao polímero catiônico RCJ 47 - 0,15 %. Nesta etapa é gerado o lodo químico por flotação e/ou decantação, ele é desaguado em uma centrífuga de 4000 rpm e destinado a agricultura.

O tratamento biológico se inicia no tanque seletor, onde o efluente clarificado proveniente do tratamento físico-químico é misturado com o lodo de recirculação do decantador secundário.

O tanque seletor encaminha o efluente para a lagoa anóxica e por gravidade para a unidade de aeração, que utiliza de mantas com microfuros para promover a mistura do oxigênio no meio líquido na forma dissolvida (OD).

Após a passagem do efluente por esta unidade, ocorre a separação do lodo biológico no decantador secundário com tempo de detenção de 5 horas. O lodo recircula no sistema aumentando seu tempo de retenção celular e quando necessário é descartado no tanque de lodo.

O efluente clarificado é enviado para uma caixa de saída onde passa pela calha de Parshall para medir a vazão e posteriormente é lançado no corpo receptor.

4.1.2 Corpo receptor

Após o processo de tratamento, o efluente é lançado no corpo receptor, denominado como rio Alambari (Figura 6). Ele é um afluente da bacia do Paranapanema e segundo o Instituto Água e Terra (IAT-PR), no ponto de lançamento da ETE é classificado como classe III: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais (PARANÁ), conforme classificação da resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).



Figura 6 - Rio Alambari
Fonte: Google maps, 2019 – 1:50.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

4.2.1 Base de dados e pontos monitorados

Os pontos analisados neste trabalho foram o efluente bruto (EB), efluente após o tratamento físico-químico (EFQ) e efluente final (EF) no ponto de lançamento, totalizando 3 pontos de monitoramento.

Quanto ao intervalo de tempo dos dados cedidos pela indústria, compreendeu-se o período de outubro de 2016 a maio de 2020, com periodicidade mensal. No mês de abril de 2018 não houve amostragem, pois, a estação estava passando por uma reforma. Os laudos do EFQ foram utilizados até junho de 2019.

4.2.2 Variáveis analisadas e padrões de lançamento.

Os parâmetros avaliados foram a demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO_{5,20}), fósforo total (P) e potencial hidrogeniônico (pH).

As metodologias de análises utilizadas pelo laboratório são encontradas no *Standard Methods for Water and Wastewater*. Os métodos específicos estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Metodologias das análises

	DQO	DBO _{5,20}	Ph	P
Metodologia	5220-D	520 – B	4500 – H + B	3030 – E

Fonte: APHA, 2017.

Os parâmetros avaliados possuem como limite no EF a Resolução CONAMA 430/11 que estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes, que complementa e altera a resolução CONAMA nº 357/05. Assim, os limites de lançamento estão dispostos na Tabela 4:

Tabela 4 - Parâmetros de lançamento exigidos pelo CONAMA 430/05

Limite exigido	DQO	DBO _{5,20}	pH	P
Outorga	200 mg.L ⁻¹	48mg.L ⁻¹	5 a 9	-
SEMA 021/09	225 mg.L ⁻¹	90 mg.L ⁻¹		
Conama 430/11	-	Remoção mínima de 60%	5 a 9	-

Fonte: CONAMA 430/05, SEMA 021/09, Outorga.

4.2.3 Cálculo da eficiência

A porcentagem de eficiência de remoção - E (%) - da ETE foi calculada considerando os valores de EB e EF, para os parâmetros DQO, DBO_{5,20} e P. A E (%) pode ser obtida por meio da Equação 1.

$$E(\%) = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde S_0 é a concentração do EB (mg.L⁻¹), S é a concentração do EF (mg.L⁻¹).

4.2.4 Estatística descritiva

Neste trabalho foi utilizada a estatística descritiva visando delinear um grupo de dados. Para isto, foram calculados a média (\bar{x}), mediana (M_d), desvio padrão (σ) e coeficiente de variação (CV). Os gráficos do tipo *boxplot* auxiliaram na visualização dos pontos discrepante (outliers). Para o desenvolvimento da análise estatística e do CEP, fez-se o uso do *Software* Excel acrescido do suplemento *Action Stat*.

4.2.4.1 Normalidade da distribuição de dados

A eficiência dos gráficos de controle está condicionada à normalidade da distribuição dos dados avaliados. Existem vários métodos para verificar a normalidade, todos fundamentados na hipótese nula (H_0) de que os dados estão normalmente distribuídos, considerando um nível de significância de 0,05 (5%) com intervalo de confiança de 95% (TORMAN; COSTER; RIBOLDI, apud MIOT, 2017). Quando os dados são não normais, os gráficos gerados apresentam erros que indicam que o processo ficou fora de controle.

A normalidade foi avaliada pelo teste de *Shapiro-wilk* com a condição de significância para um dos testes para adoção de hipótese normalizada, ou seja, quando o conjunto de dados pode ser interpretado como uma distribuição normal.

Quando a normalidade não foi verdadeira, fez-se necessária a utilização da técnica de *Box-Cox* para transformação dos dados.

4.2.4.2 Autocorrelação de dados

A autocorrelação é uma dependência temporal dos valores de uma mesma variável. Os dados utilizados na formulação das cartas de controle devem apresentar independência entre si. Para isso, é de fundamental importância o estudo da autocorrelação de dados. Caso eles apresentem autocorrelação podem interferir nos pontos do gráfico, tornando difícil a interpretação quanto as causas especiais e comuns do processo industrial (ORSSATO, 2010) ou de tratamento de efluentes.

A autocorrelação de dados torna a estatística nula, portanto, quando ela ocorre existe a necessidade de compensação (ZHOU, 2008). Assim, uma forma de remover a correlação entre os dados é aplicando ARIMA, este modelo utiliza as estruturas correlacionadas e modela com séries temporais, nas quais irão remover a dependência de dados e gerarão novos dados independentes em forma de resíduos (MONTEGOMERY, 2008). Os resíduos são compostos pela diferença entre os dados originais e os valores gerados pelo modelo.

4.2.4.3 Gráficos de controle

Os gráficos para o controle estatístico de processo, utilizados foram o de média móvel exponencial ponderada (MMEP) e o de medida individual de Shewhart. Na revisão bibliográfica observou-se ausência de publicações que utilizam o CEP em efluente de estação de tratamento de águas residuais da indústria alimentícia, especificamente oriunda de processo que utilizam a batata como matéria prima. Portanto os resultados serão comparados aos efluentes com características industriais.

A Figura 7 apresenta um fluxograma das etapas de trabalho para confecção dos gráficos.

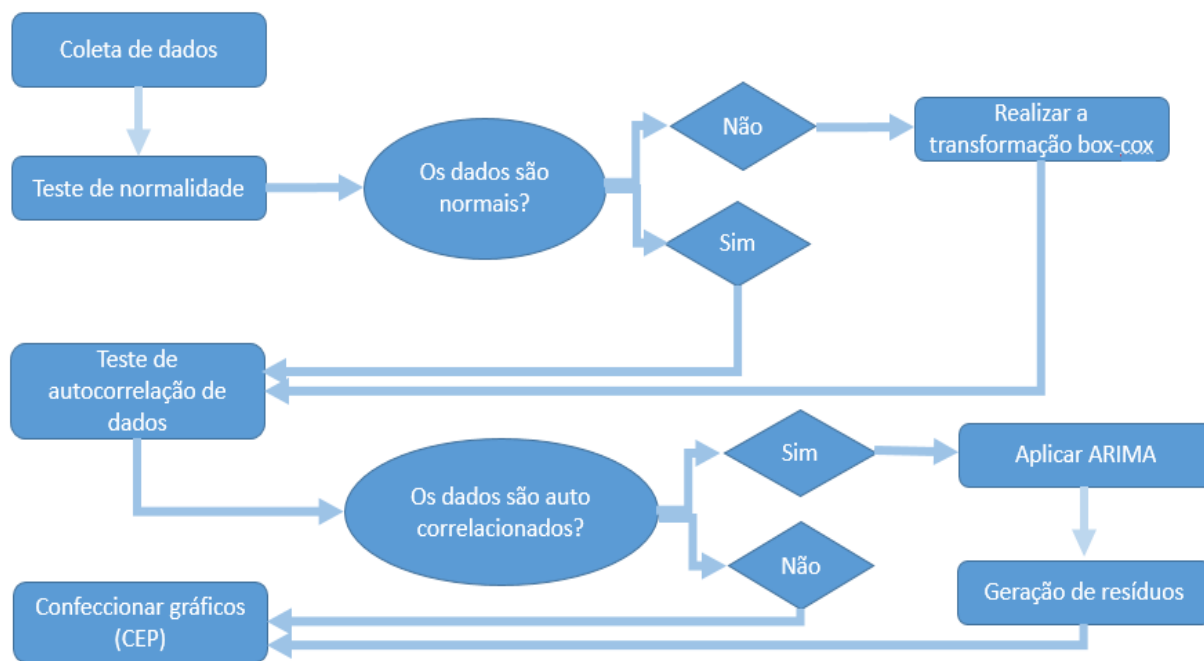


Figura 7 - Fluxograma das etapas de construção dos gráficos.
 Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2.4.3.1 Cartas de controle de Shewhart

As cartas de Shewhart tem a estrutura com uma linha central um limite inferior e um limite superior. Para a construção desse gráfico os dados devem assumir uma distribuição normal e possuir uma média aritmética (\bar{x}) conhecida. Sendo assim, a linha central é constituída da média e os limites de três vezes a amplitude móvel.

O cálculo dos limites de controle que são executados por meio das Equações 2, 3 e 4.

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{AM}{d_2} \quad (2)$$

$$LC = \bar{x} \quad (3)$$

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

Onde:

LSC - limite superior de controle,

LC - Limite central

LIC - limite inferior de controle

\bar{x} - média dos valores individuais.

\overline{AM} - Amplitude móvel

d_2 – Fator para construção do gráfico.

O d_2 fator de construção do gráfico utilizado foi de 1,128 e encontra-se disponível em Montgomery (2004) anexo D, este depende do número de réplicas do conjunto de dados analisados.

4.2.4.3.2 Interpretação das cartas de controle

Para a interpretação dos gráficos de Shewhart também conhecido como X-barra, existe a regra primordial que caracteriza se um processo está fora ou não de controle, na qual cabe a existência de um ou mais pontos fora dos limites (Montgomery, 2004).

No entanto, existem alguns critérios suplementares que auxiliam na interpretação dos dados. Estes critérios ajudam na identificação de variações incomuns e sistemáticas, desse modo aumentam a sensibilidade das cartas de controle reagindo a pequenas alterações.

A Norma ISO 8258/1991 Shewhart Control Charts conta com os critérios suplementares para a avaliação das cartas de controle (Figura 8), são eles:

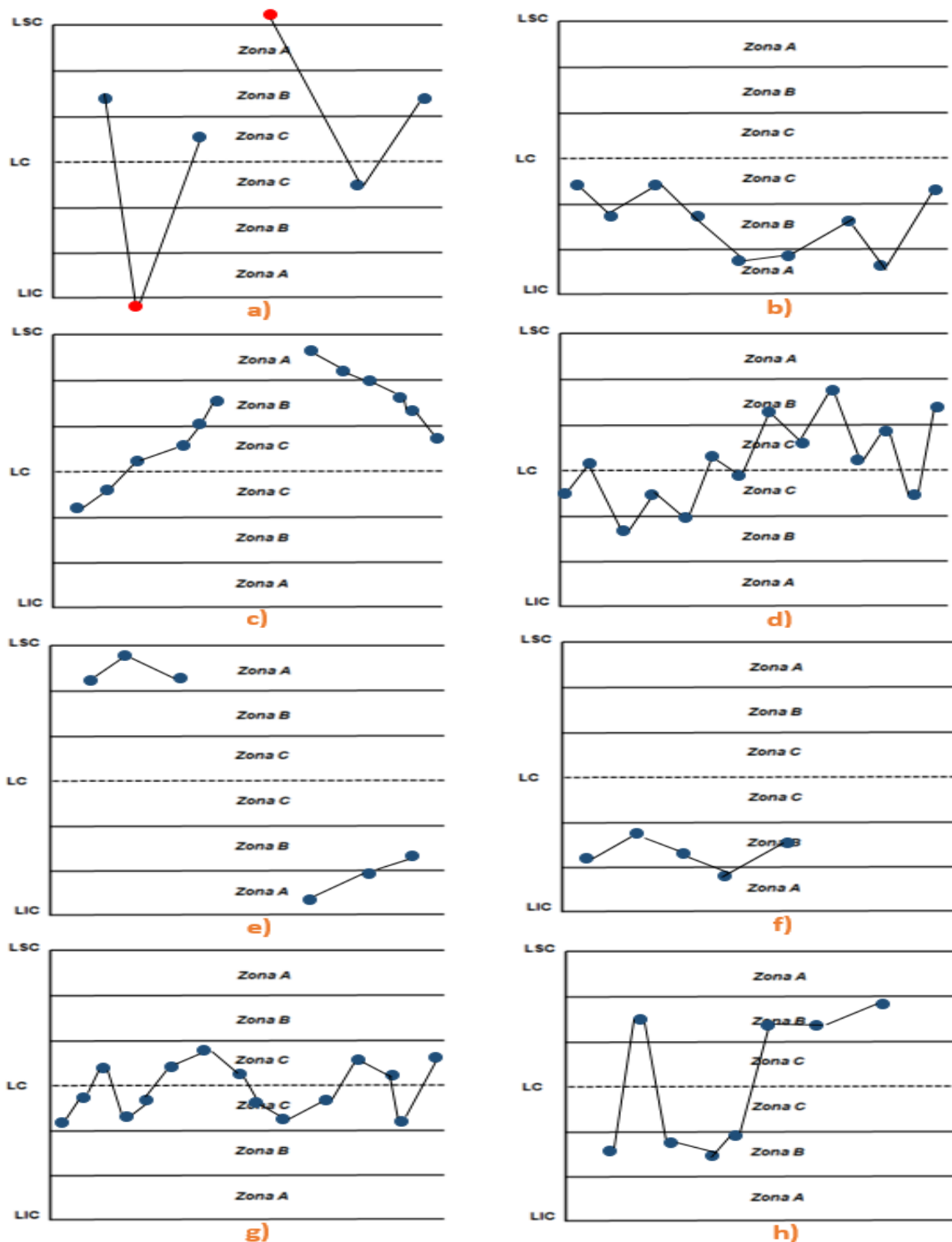


Figura 8 - Exemplos de processos fora de controle estatístico.

a) Um ou mais pontos que ultrapassem os limites de controle; b) Nove pontos consecutivos acima ou abaixo da linha central; c) Seis pontos consecutivos, aumentando ou diminuindo constantemente; d) Quatorze pontos consecutivos alternando para cima e para baixo; e) Dois de três pontos consecutivos na zona A ou além dela; f) Quatro de cinco pontos sucessíveis situados na linha B ou além delas; g) Quinze pontos consecutivos na linha C, acima ou abaixo dela; h) Oito pontos sucessíveis na zona B.

Fonte: Adaptado da norma ISO 8258/1991.

Por meio do Software *Action* é possível analisar apenas os itens de a) a d), pois são definidas apenas as linhas prioritárias. Para a identificação de causas fora de controle o analista pode definir quais as melhores regras para a identificação da alteração em seu processo, não sendo necessário utilizar todas as citadas acima (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

4.2.4.3.3. Cartas de Média móvel exponencial ponderada (MMEP)

Segundo Montgomery (2004) a carta de média móvel exponencial ponderada, pode ser utilizada quando se tem interesse em analisar pequenas variabilidades no processo, e pode ser definida pela Equação 5:

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (5)$$

z_i – são os valores plotados no gráfico

λ - é uma constante (utilizado 0,2)

x_i – valores reais encontrados no processo

O valor inicial (exigido com a primeira amostra em $i=1$) é o alvo do processo, de modo que $z_0 = \mu_0$

Para cálculo da linha central e dos limites de controle tem-se as Equações 6,7 e 8

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} [1 - (1 - \lambda)z_i] \quad (6)$$

$$Linha\ central = \mu_0 \quad (7)$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} [1 - (1 - \lambda)z_i] \quad (8)$$

L – largura dos limites de controle

λ – Constante

σ – Desvio padrão, que é calculado pela Equação 9.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (9)$$

Onde:

x_i – Valores individuais

\bar{x} - Média dos valores

n – Número de valores do conjunto de dados.

Nesta pesquisa foi utilizado $L=2$ e $\lambda= 0,2$, valores cujo software utilizado indicou como ideal para o conjunto de dados avaliado.

4.2.4.3.1 Índice de capacidade de processo (CP)

Quando se trata de uma estação de tratamento de efluentes não é suficiente apenas manter o processo sob controle. É importante que o efluente atenda os limites estipulados pela legislação Conama 357/05. Considerando os dados distribuídos normalmente, este índice (CP) tem tolerância de 99,73% da variável. Ou seja, o CP ele admite apenas 0,27% fora das especificações (MONTGOMERY, 2004).

A capacidade de processo é definida pela Equação 10:

$$CP = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (10)$$

Em que:

CP - Capacidade do processo

LSE - limite superior de especificação

LIE – limite inferior de especificação

σ - Desvio padrão

Os limites superiores utilizados foram estabelecidos pelo valor máximo de lançamento definido na outorga de funcionamento da indústria. DQO 200 mg.L⁻¹, DBO_{5,20} 50 mg.L⁻¹, pH de 5 a 9.

O valor de capacidade de processo é considerado adequado se for maior ou igual a 1,33, aceitável entre 1,33 e 1 e inadequado quando o valor da capacidade de processo for menor que 1 (MONTGOMERY, 2004).

5 Resultados e discussões

A série dos dados de monitoramento do EB, EFQ e EF no período de 2018 a 2020, encontram-se disponíveis, no Anexo A.

A Figura 9 representa o comportamento das variáveis $DBO_{5,20}$ e DQO perante os meses avaliados.

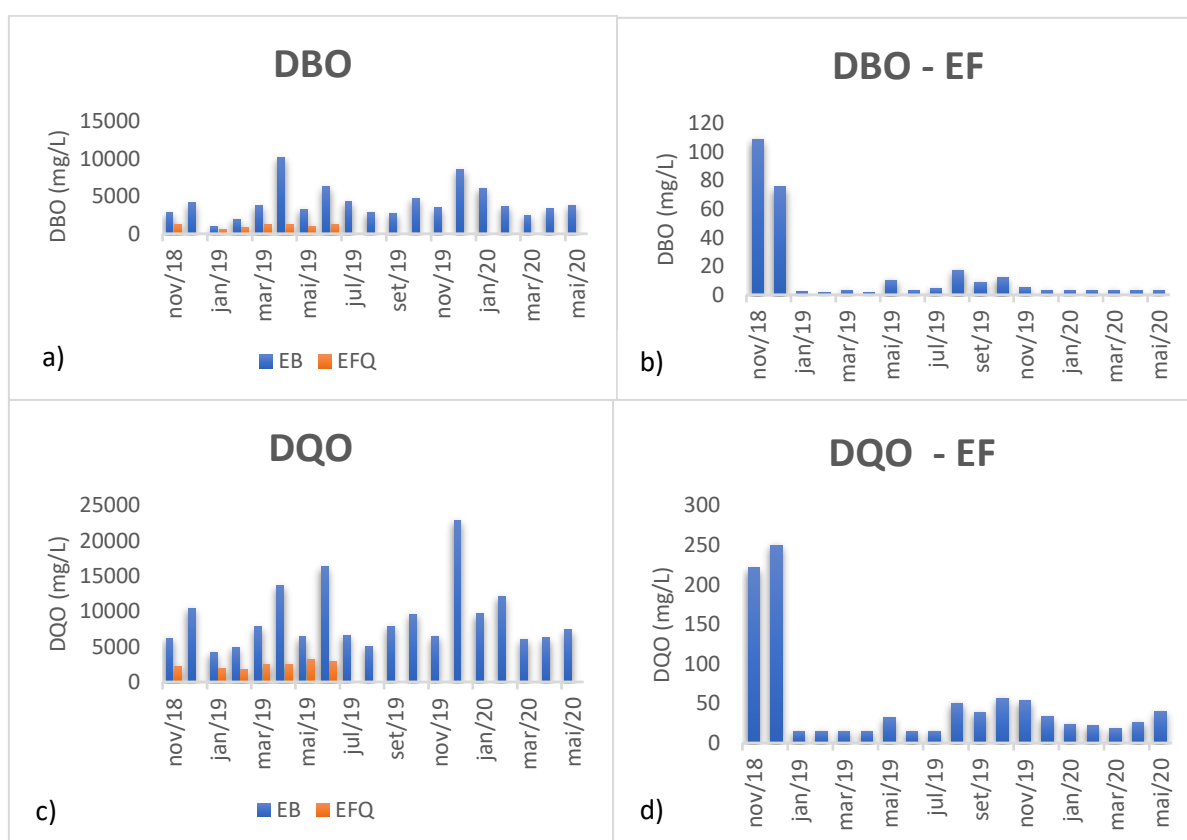


Figura 9 - Gráfico de coluna para as variáveis $DBO_{5,20}$ e DQO.

a) Gráfico $DBO_{5,20}$ para os pontos EB e EFQ. b) Gráfico $DBO_{5,20}$ para o ponto EF. c) Gráfico DQO para os pontos EB e EFQ. d) Gráfico DQO para o ponto EF.

Fonte: Autoria própria, 2020.

As variáveis $DBO_{5,20}$ e DQO não apresentam previsibilidade de recebimento no ponto EB, como pode ser verificado por meio da Figura 9 a) e c), sendo picos com máximas diferentes entre os meses estudados. Pode-se verificar que o primeiro semestre do ano apresenta os maiores valores de concentração, nos quais estão associados a maior produção das linhas de derivados de amendoim. Constata-se

uma boa remoção destes parâmetros na etapa EFQ por meio dos Figura 9 a) e c), pois apresentam barras pequenas comparadas ao EB.

Já a Figura 9 b) e d) demonstra a $DBO_{5,20}$ e DQO respectivamente do efluente final, os dois primeiros meses apresentaram valores elevados quando comparados aos meses posteriores, estes pontos estão associados com um problema na bomba de recirculação, na qual acarretou uma menor eficiência do sistema. No mês de novembro 2018 a $DBO_{5,20}$ ultrapassou ao limite estabelecido na resolução SEMA 021/09, e a DQO não atendeu a esta legislação apenas em dezembro de 2018.

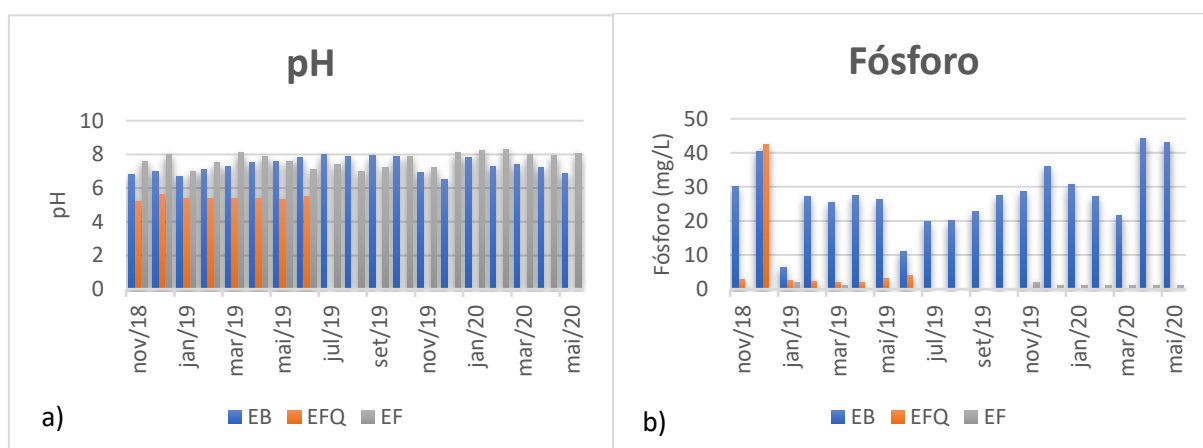


Figura 10 - Gráfico de colunas para as variáveis pH e fósforo.

a) gráfico de pH para os pontos EB, EFQ e EF. b) gráfico de fósforo para os pontos EB, EFQ e EF.

Fonte: Autoria própria, 2020.

A Figura 10 a) representa o pH nos pontos EB, EFQ e EF, esta variável exibe pontos semelhantes em todos os meses, demonstrando uma boa previsibilidade. Os pontos EB e EF apresentaram o pH perto da neutralidade 7, já o EFQ obteve pH em torno de 5, justificado pela necessidade do controle deste parâmetro para garantir a efetivação da coagulação. Todos os meses avaliados estão dentro dos limites estabelecidos pelas legislações federal e estadual.

A variável fósforo é representada pela Figura 10 b), a concentração máxima obtida no EB foi em torno de 45 mg/L, mesmo o gráfico demonstrando um comportamento assimétrico ele apresenta uma boa previsibilidade, pois a

concentração de fósforo é pequena. Quando comparadas as barras do EB ao EF identifica-se uma boa eficiência da ETE quanto a remoção do fósforo.

5.1 Estatística descritiva

Os parâmetros $DBO_{5,20}$, DQO, fósforo e pH, referentes aos três pontos analisados, foram verificados por meio de estatística descritiva visando permitir uma análise geral do grupo de dados característicos gerados na ETE da indústria alimentícia.

5.1.1 Efluente Bruto (EB)

Na Tabela 5, encontram-se dados do EB produzido pela indústria na forma de estatística descritiva visando obter valores característicos para as variáveis analisadas. Os gráficos da autocorrelação de dados estão disponíveis no Anexo B.

Tabela 5 - Resumo descritivo dos valores observados das variáveis do EB.

Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	C.V.(%) ¹	Mínimo	Máximo	p-valor ²	AC ³
$DBO_{5,20}$	4.173,89	3.670	2.242,43	53,72	950	10.200	0,0129	Não
DQO	8.951,05	7.400	4.626,08	51,68	4145	22.900	0,0019	Não
P	27,14	27,1	9,64	35,5	6,5	44,3	0,452	Não
pH	7,34	7,3	0,4607	6,27	6,52	8	0,2936	Sim

¹ Coeficiente de variação em porcentagem. ² p-valor do teste de normalidade. ³ Autocorrelação de dados.

Fonte: Autoria própria, 2020.

O parâmetro $DBO_{5,20}$ variou de 950 a 10.200 $mg.L^{-1}$ com uma mediana de 3.670 $mg.L^{-1}$. Estes valores demonstraram uma elevada variabilidade de dados, comprovada pelo alto coeficiente de variação (CV).

O coeficiente de variação é um parâmetro importante na avaliação descritiva do grupo de dados, elevados CV podem estar relacionados com erros de medição, nos quais obviamente prejudicam a eficiência dos gráficos de controle (TRAN et al., 2019).

No entanto, nesta pesquisa o CV deve ser avaliado de maneira cautelosa, pois o efluente em questão possui uma variação relativamente alta que pode estar associada a: turno de produção, característica da matéria prima, variação temporal da produção industrial, dentre outros aspectos do processo industrial.

A dispersão dos dados será avaliada apenas pelo CV, já que muitos dos parâmetros não seguem uma distribuição normal. Neste caso, a média é pouco resistente perante a longevidade dos valores extremos (LUNET; SEVERO; BARROS, 2006).

Koby (2006) e Catarino et al (2006) realizaram a caracterização do EB da água residual da batata, e encontraram um valor de $DBO_{5,20}$ de 5.450 mg.L^{-1} e 7.000 mg.L^{-1} , respectivamente. Estes ficaram próximos da concentração de $DBO_{5,20}$ média desta pesquisa que foi de $4.982,3 \text{ mg.L}^{-1}$, entretanto os valores de 10.200 mg.L^{-1} e 8.580 mg.L^{-1} estão distantes da média e dos valores presentes na literatura.

Estes resultados aparecem no gráfico *boxplot* (Figura 11) como pontos discrepantes e podem estar associados a pequena diluição de um composto orgânico ou houve um maior volume de efluente gerado em uma linha com características de $DBO_{5,20}$ elevada.

Na indústria estudada, a $DBO_{5,20}$ de 10.200 mg.L^{-1} encontrada no EB gerado pela produção no mês de abril, pode estar associada a elevada fabricação de derivados de amendoim, estes produtos costumam apresentar crescente produção nos primeiros meses do ano.

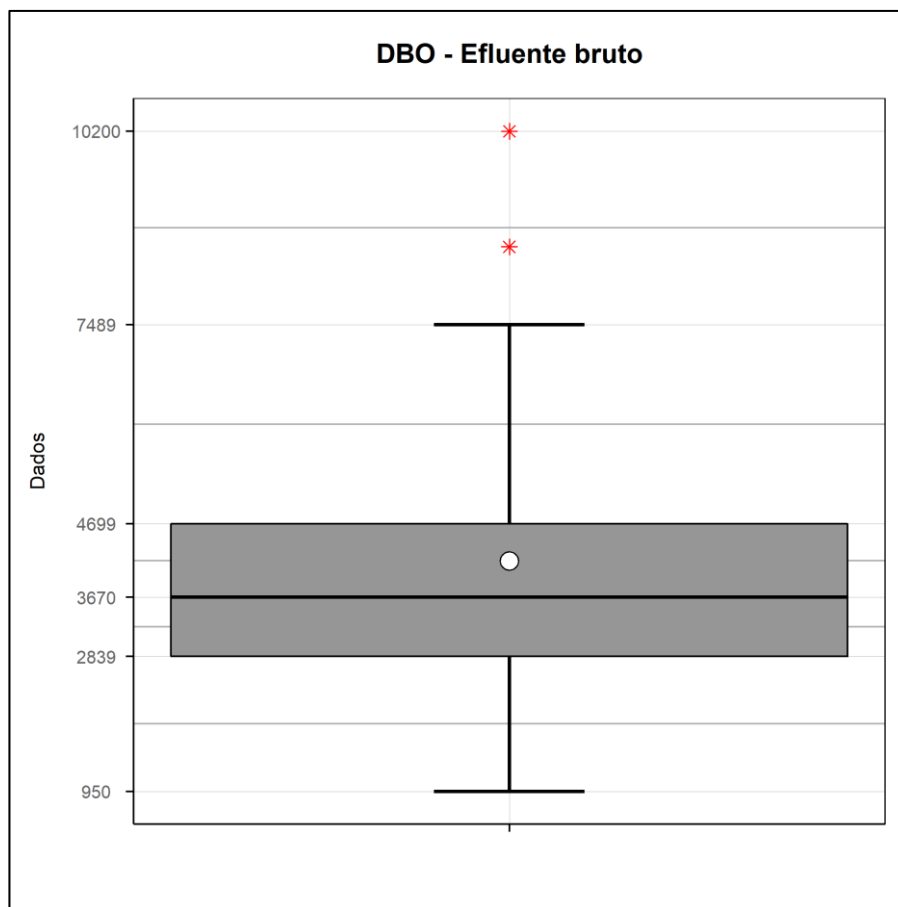


Figura 11 - Boxplot DBO_{5,20} - Efluente Bruto
Fonte: A autoria própria, 2020.

A DQO apresentou valores entre 4.150 e 22.900 mg.L⁻¹, no qual resultou um CV de 51,68 %, apresentando uma alta variabilidade no conjunto de dados (GOMES,1987¹; apud ORSSATO 2010). Spiller *et al.* (2020) realizou a caracterização de cinco estações de tratamento de produção de batata e obteve um valor médio de DQO de 8.137 mg.L⁻¹, muito próximo ao encontrado por este estudo que foi de 8.951 mg.L⁻¹. Já Weber (2012) encontrou valor máximo de 25.900 mg.L⁻¹, resultado parecido aos encontrados nesta caracterização.

Na Figura 12 tem se o *boxplot* da DQO, o ponto extremo máximo é o valor obtido de 22.900 mg.L⁻¹, refere-se ao mês de dezembro de 2019, sua ocorrência justifica-se pela coleta realizada em dia de limpeza geral da fábrica.

¹ GOMES. F. P.A **estatística na agropecuária**. Piracicaba: Pofatos, 1987.

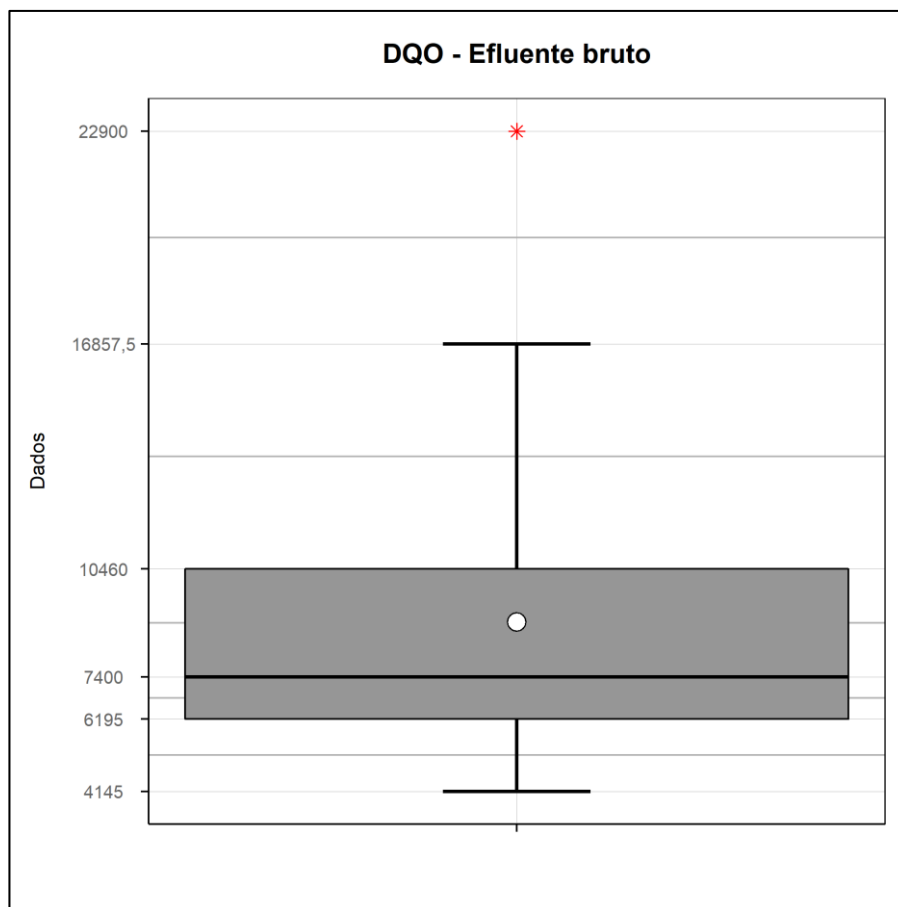


Figura 12 - Boxplot DQO - Efluente Bruto.
Fonte: A autoria própria, 2020.

A característica dos dados de DQO e $DBO_{5,20}$ são semelhantes. Pode ser observada uma grande faixa entre os valores extremos máximo e mínimo e o alto CV.

Esta afirmação é válida, pois os dois parâmetros estão relacionados com a matéria orgânica e sua divisão resulta na condição de biodegradabilidade do efluente (JUÁREZ, et al, 2020). O valor médio da relação entre $DQO/DBO_{5,20}$ é de 2,29, isso significa que o efluente possui uma fração biodegradável elevada e é indicado para o tratamento biológico (VON SPERLING, 1996).

Os valores mínimos de $DBO_{5,20}$ e DQO foram observados no mês de janeiro de 2019, com resultados de 950 e 4.150 $mg.L^{-1}$, respectivamente. Estes valores encontram-se muito distantes da faixa de medição, o que pode ser explicado por alguma mudança no processo, que pode ter acarretado em uma diluição da carga orgânica ou com algum erro de análise.

O fósforo é um importante parâmetro para ser avaliado, a sua presença no efluente de lançamento também deve ser controlada, pois uma grande concentração de P pode causar o fenômeno de eutrofização, ou seja, a efetivação da proliferação excessiva de algas, causando desestabilização no ambiente aquático (XU et al., 2015).

Com mínimo de $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e máximo de $44,3 \text{ mg.L}^{-1}$, a concentração de fósforo na caixa de equalização apresentou uma diferença significativa, que resultou em um coeficiente de variação de 35,5 %, segundo Gomes (1987) é um parâmetro com variabilidade alta.

Ladin (2014) em seu trabalho caracterizou e encontrou melhorias em uma estação de tratamento de efluentes de uma fábrica de *snack* de batata e obteve um resultado de $5,47 \text{ mg.L}^{-1}$ de P Já Spiller et al. (2020) obteve valor médio de 63 mg.L^{-1} de fósforo em cinco ETE avaliadas, todas com efluente característico de processo produtivo de batata.

Analisando o *boxplot* (Figura 13) é possível verificar dois pontos discrepantes relativos aos valores de fósforo de $6,5$ e $44,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Estes valores estão associados a espécie da batata, que são sazonais, ou seja, em cada época do ano a fábrica utiliza uma espécie de batata diferente. Isto interfere na concentração de fósforo recebida pelo EB na ETE, pois a quantidade de amido produzida está diretamente relacionada a concentração de fósforo (FERNANDES et al. 2016).

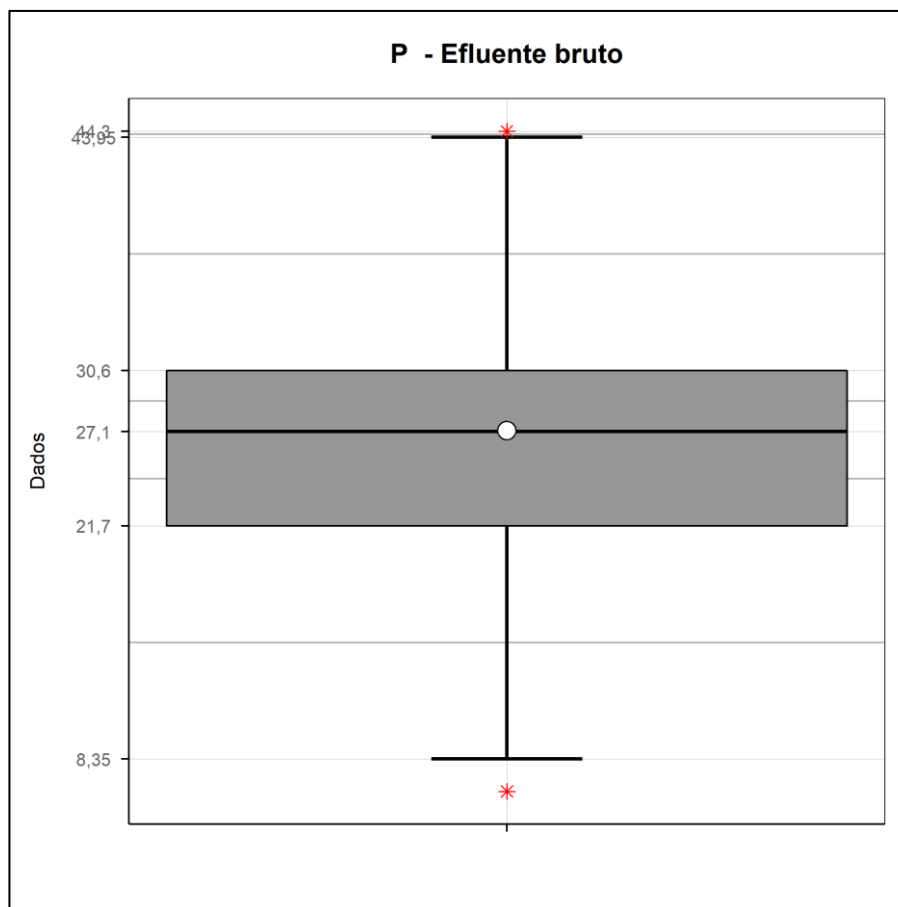


Figura 13 - Boxplot P - Efluente Bruto
 Fonte: Autoria própria, 2020.

O pH apresentou um coeficiente de variação 6,27 % que mostra baixa variabilidade dos dados (GOMES,1987). A média encontrada foi de 7,34, com o mínimo de 6,52 e o máximo de 8,0. Weber (2012) encontrou valores de 7,23 para o pH bruto do efluente de batata, já Antwi, *et al.* (2017) encontrou valores 7 e Kobya (2006) 6,2 a 6,5. Todos os estudos analisados estão próximos aos valores de pH encontrados nesta pesquisa, portanto o pH do efluente da batata tem pouca variação e pode ser considerado uma característica deste efluente. Na Figura 14 encontra-se o *boxplot* do parâmetro pH, nele observa-se a inexistência de pontos outliers.

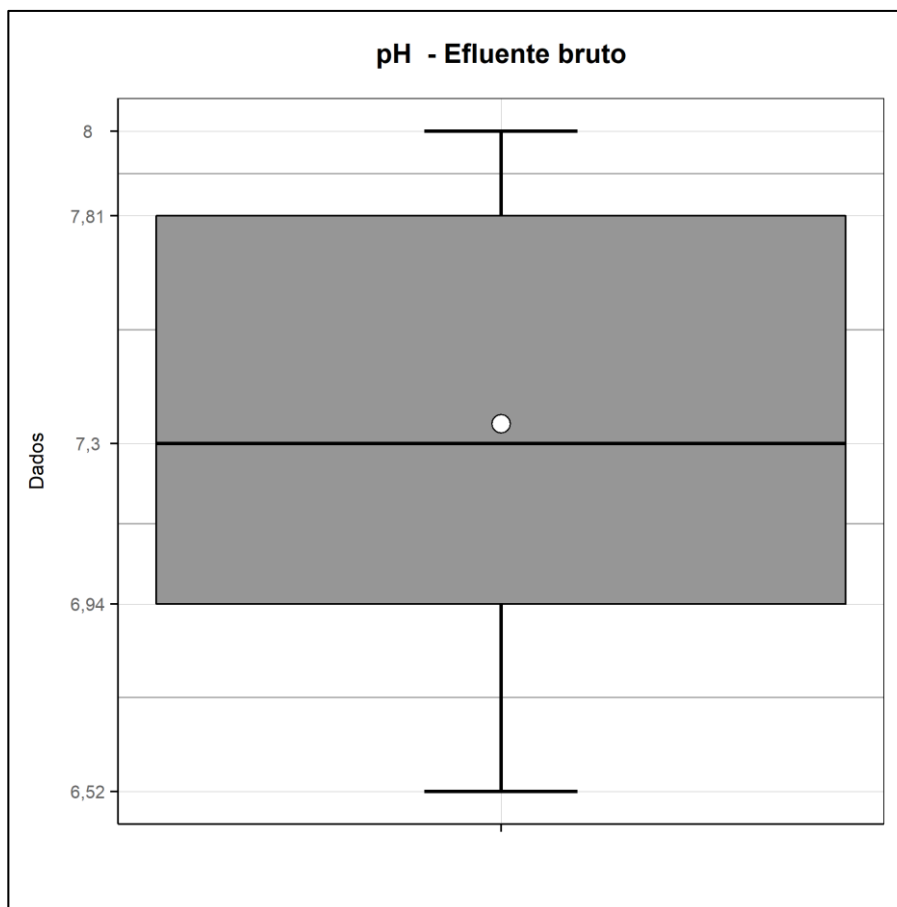


Figura 14 - Boxplot fósforo Efluente Bruto
Fonte: Autoria própria, 2020.

Apenas o pH apresentou dados autocorrelacionados, portanto a transformação de ARIMA foi aplicada para remover a autocorrelação. Foi necessário realizar a transformação box-cox para normalizar os dados dos parâmetros $DBO_{5,20}$ e DQO ($p < 0,05$), os λ foram respectivamente 0 e -0,732.

5.1.2. Efluente após tratamento físico-químico

Os dados de monitoramento do efluente após o tratamento primário terminou em junho de 2019, pois, após esta data a equipe da ETE optou por realizar apenas análises internas. Como já citado, cerca de 90% do efluente é composto por água residual proveniente da produção de batata fritas, no entanto, 10 % possuem

características distintas e algumas vezes são capazes de alterar a característica do efluente tratado na ETE. Portanto é de suma importância avaliar a estabilidade desta etapa, já que ela precede um tratamento biológico que demanda uma constância nas características do efluente recebido.

Na Tabela 6 encontra-se o resumo descritivo do efluente após passar pelo tratamento primário (físico-químico), os dados estão dispostos no Anexo A e os gráficos de autocorrelação encontram-se no Anexo C.

Tabela 6 - Resumo descritivo dos valores observados das variáveis do EFQ.

Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	C.V.(%) ¹	Mínimo	Máximo	p-valor ²	AC ³
DBO _{5,20}	920,99	1.105	420,64	45,67	28,9	1.233	0,0203	Não
DQO	2.135,12	2.359	951,06	44,54	93	3.210	0,1763	Não
P	7,61	2,61	14,03	18,41	2	42,3	0	Não
pH	5,4	5,4	0,1241	2,3	5,2	5,6	0,7119	Não

¹ Coeficiente de variação em porcentagem. ² p-valor do teste de normalidade. ³ Autocorrelação de dados.

Fonte: A autoria própria, 2020.

A variável DBO_{5,20} apresentou um CV de 45,67, isso significa que ela possui uma alta variabilidade de dados (Gomes, 1987). O valor mínimo de 28,9 e máximo de 1.233 mg.L⁻¹ e a média de 920,99 mg.L⁻¹. O valor mínimo está longe da média, este valor é referente ao mês de dezembro de 2018, e supõe-se que houve erro de medição, pois todos os parâmetros referentes a este mês vieram com resultados não característicos desta etapa de tratamento. A Figura 15 mostra o *boxplot* da DBO_{5,20} ele possui uma característica longa que demonstra uma baixa previsibilidade de dados, e o terceiro quartil próximo ao valor máximo, comprovando que 25% dos dados se concentram em uma pequena faixa de valor 1212,5 – 1233.

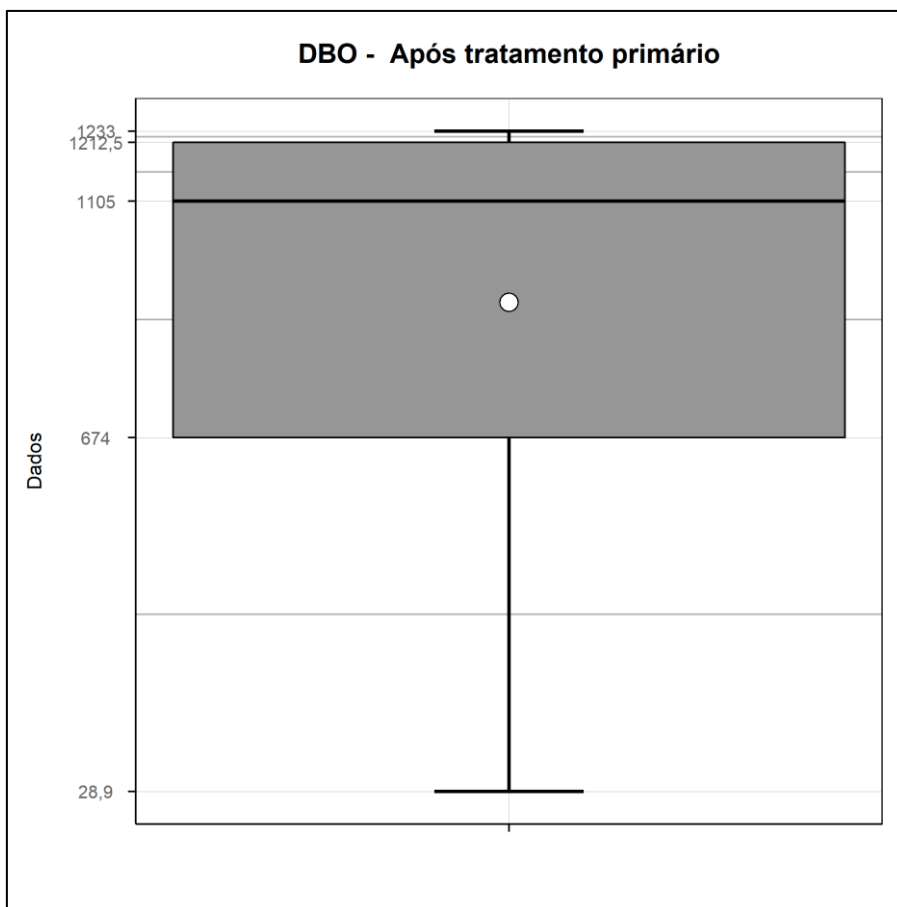


Figura 15 - *Boxplot* DBO_{5,20} - Efluente após tratamento primário
Fonte: A autoria própria, 2020.

A variável DQO apresentou a média semelhante a mediana, com um coeficiente de variação de 44,54 considerado uma alta variabilidade de dados (GOMES, 1987). Mesmo recebendo cargas altas da caixa de equalização, a DQO apresentou boa remoção no tratamento físico químico, e sua maior concentração foi de 3.210 mg.L⁻¹ encontrada no mês de dezembro de 2018. Assim como a DBO_{5,20} o valor mínimo foi responsável pelo aumento no CV, e se refere a um erro de medição. O *boxplot* pode ser observado na Figura 16 onde o valor mínimo de 93 aparece como um ponto discrepante.

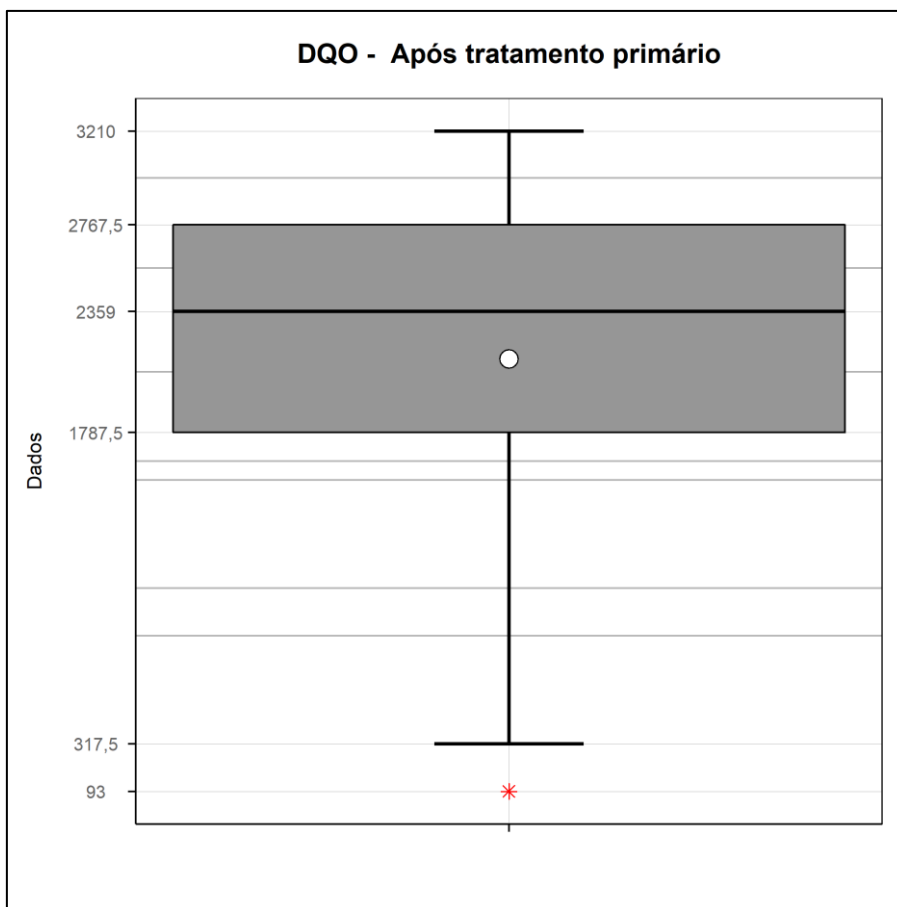


Figura 16 - *Boxplot* DQO - Efluente após tratamento primário
Fonte: Autoria própria, 2020.

Um das etapas do tratamento físico-químico da ETE estudada é a precipitação química, esta tem uma alta eficiência na remoção de macronutrientes como o fósforo (FERREIRA, MARGUTI, PIVELI, 2009). A variável fósforo, apresenta uma média variabilidade de dados, comprovada pelo coeficiente de variação de 18,41. Os valores mínimos e máximos são muito distantes e variam de 2 a 42,3 mg.L⁻¹. Esta discrepância nos valores está associada ao erro de medição já mencionado. Na Figura 17, verifica-se o *boxplot*, este apresenta um formato achatado na qual indica uma boa previsibilidade de dados e o ponto máximo aparece como um valor outlier.

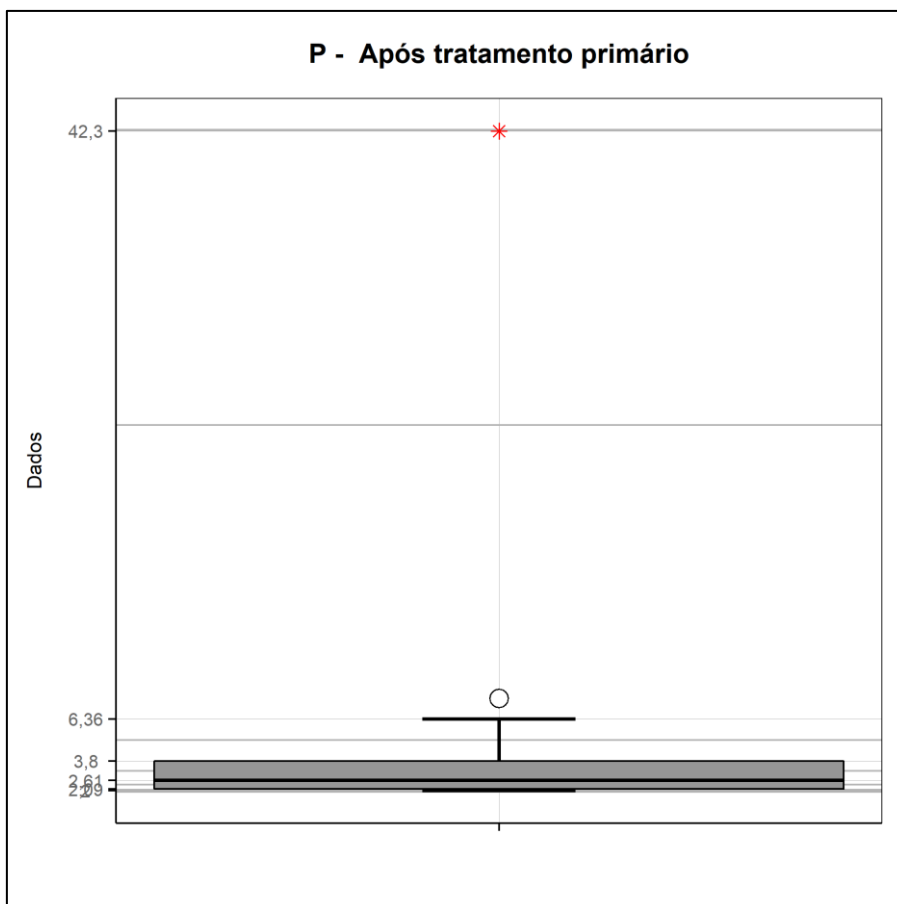


Figura 17 - Boxplot P - Efluente após tratamento primário
Fonte: Autoria própria, 2020.

A variável pH apresentou a média e a mediana iguais, caracterizando uma distribuição simétrica. O coeficiente de variação de 2,3 caracteriza uma baixa dispersão de dados (GOMES,1987). O pH é um fator de suma importância para a eficiência do tratamento físico-químico, ele deve ser ajustado conforme a característica do efluente recebido, e deve estar de acordo com a faixa de efetivação do agente coagulante. Portanto a baixa variabilidade dos dados se dá em decorrência deste fator. A Figura 18 apresenta o *boxplot* da variável pH, o gráfico é simétrico, e não aparece nenhum ponto discrepante.

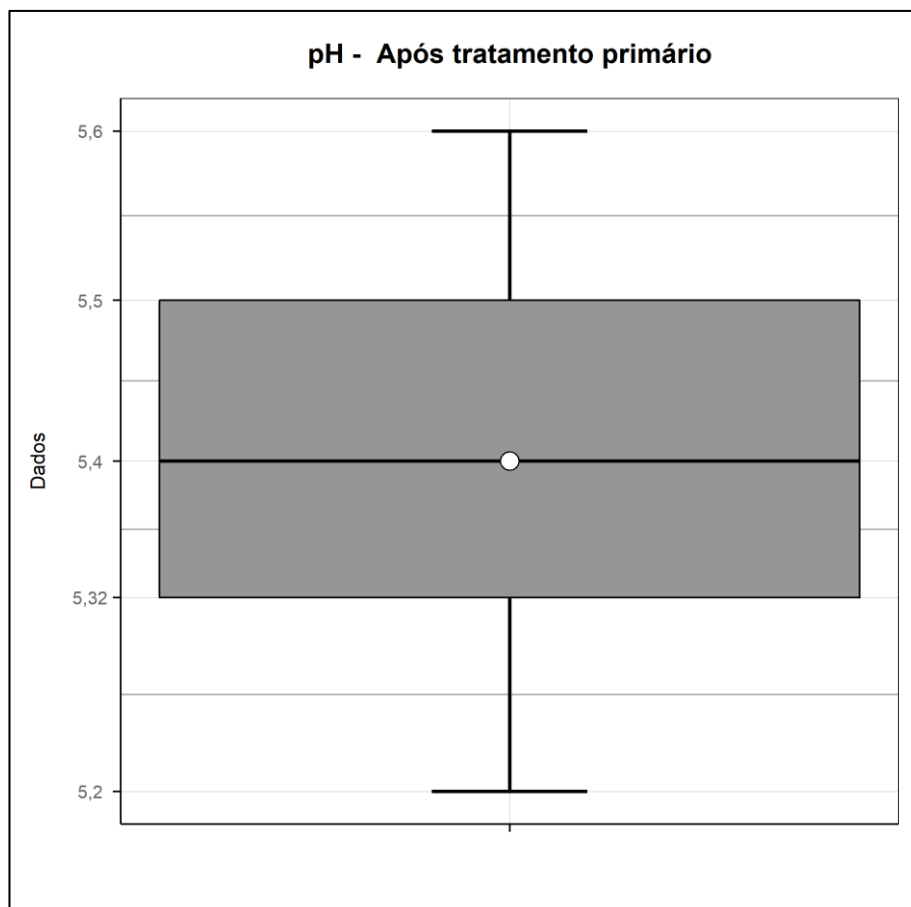


Figura 18 - Boxplot pH - após tratamento primário
Fonte: Aatoria própria, 2020.

Analisando a série histórica, foi removido os dados referentes ao mês dezembro de 2018, pois trata se de um erro de medição, no qual não descreve o comportamento real desta etapa do tratamento, após foram calculados os CV para verificar a real variabilidade dos dados e os resultados obtidos para $DBO_{5,20}$ DQO e P foram respectivamente 22,33; 21,34 e 10,89. Portanto, de maneira geral a etapa de tratamento primário desta ETE apresenta uma média variabilidade de dados. O tratamento físico-químico é um processo operacional onde é possível ter controle da qualidade do efluente, sendo considerado um processo de boa previsibilidade e satisfatório.

Os parâmetros $DBO_{5,20}$ e P apresentaram p-valor $<0,05$, sendo assim os dados não seguem uma distribuição normal, portanto foi utilizado a transformação box-cox para a normalização dos dados. O lambda utilizado na transformação foi 1,3383 para $DBO_{5,20}$ e lambda de 2,5 para fósforo.

5.1.3 Efluente tratado

O resumo descritivo para os dados do efluente tratado encontram-se na Tabela 7, a série histórica está disponível no Anexo A e os gráficos de autocorrelação encontram-se no Anexo D.

Tabela 7 -Resumo descritivo dos valores observados das variáveis do EF.

Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	C.V.(%) ¹	Mínimo	Máximo	p-valor ²	AC ³
DBO _{5,20}	14,27	3	28,34	19,85	1,7	109	0	Não
DQO	50,21	26	66,88	13,33	15	250	0	Não
P	0,6381	0,272	0,6335	9,95	0,005	2	0,005	Não
pH	7,69	7,90	0,4349	5,6	7	8,3	0,0079	Não

¹ Coeficiente de variação em porcentagem. ² p-valor do teste de normalidade. ³ Autocorrelação de dados.

Fonte: A autoria própria, 2020.

A variável DBO_{5,20} apresentou uma média de 14,27 que pode ser considerada relativamente baixa em comparação com as legislações ambientais, no entanto seu valor máximo foi de 109,0. O coeficiente de variação ficou abaixo de 20%, isso significa que há uma média variabilidade de dados.

Nos meses de novembro e dezembro de 2018, houve um problema com uma bomba de recirculação, equipamento essencial para bom desempenho do tratamento biológico, que afetou a qualidade de remoção de matéria orgânica. Portanto estes dois meses resultaram em DBO_{5,20} elevada. Na Figura 19 é possível verificar estes dois valores como pontos extremos máximos.

O *boxplot* apresenta um formato achatado o que indica uma baixa variabilidade de dados. O quartil 1 (Q1) coincide com a mediana, e tem valor de 3,0. Portanto 25% dos dados são relacionados a própria mediana. Este fato se justifica pois o laboratório que realiza as análises foi trocado, e o novo limite inferior de quantificação utilizado para análise de DBO_{5,20} foi de 3,0 mg.L⁻¹.

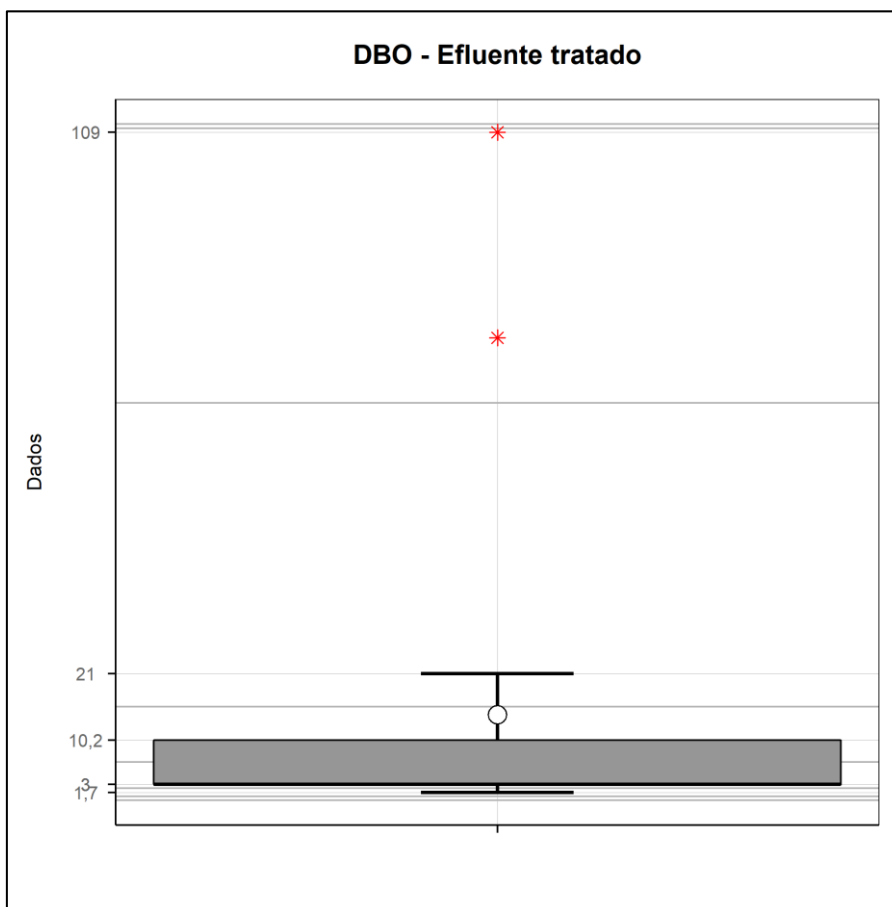


Figura 19 - Boxplot $DBO_{5,20}$ efluente tratado.
 Fonte: Autoria própria, 2020.

Dois meses apresentaram resultados insatisfatórios quando comparados com a resolução CONAMA 430/11 e apenas um mês ficou fora dos limites exigidos pela resolução estadual SEMA 021/09.

Gerhardt (2018) avaliou a eficiência da ETE de uma indústria de *snacks* de batatas submetidas a três diferentes vazões de aeração no lodo ativado. O valor médio de $DBO_{5,20}$ encontrado para esse efluente tratado foi de $29,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

A DQO do ponto de lançamento tem a média em $50,21 \text{ mg.L}^{-1}$, este valor atende os padrões exigidos pela legislação CONAMA 357/05 e SEMA 021/2009, cujo limite permitido para o lançamento de águas residuárias em corpos hídricos são respectivamente 200 mg.L^{-1} e 225 mg.L^{-1} .

O valor mínimo obtido foi de 15,0 mg.L⁻¹ e o máximo de 250,0 mg.L⁻¹, assim como a DBO_{5,20}, dois meses ultrapassaram o limite estabelecido pelo CONAMA 357/05 e apenas um mês a legislação SEMA 021/2009 não foi cumprida.

Willian (2018), encontrou uma DQO média na saída de 136,0 mg.L⁻¹, já Spiller et al. (2020) obteve valores médios de 37,0 mg.L⁻¹, ambos apresentaram ao menos um dado acima do estabelecido pela legislação CONAMA 357/05.

O coeficiente de variação encontrado foi 13,33 %, demonstrando uma média dispersão de dados. O *boxplot* pode ser observado na Figura 20, onde existem dois pontos discrepantes, na qual não condizem com o comportamento da ETE.

A haste inferior e o Q(1) coincidem, isto porque o limite de quantificação do laboratório é de 15 mg.L⁻¹, portanto 25, % dos valores atingiram o valor mínimo encontrado pelo laboratório.

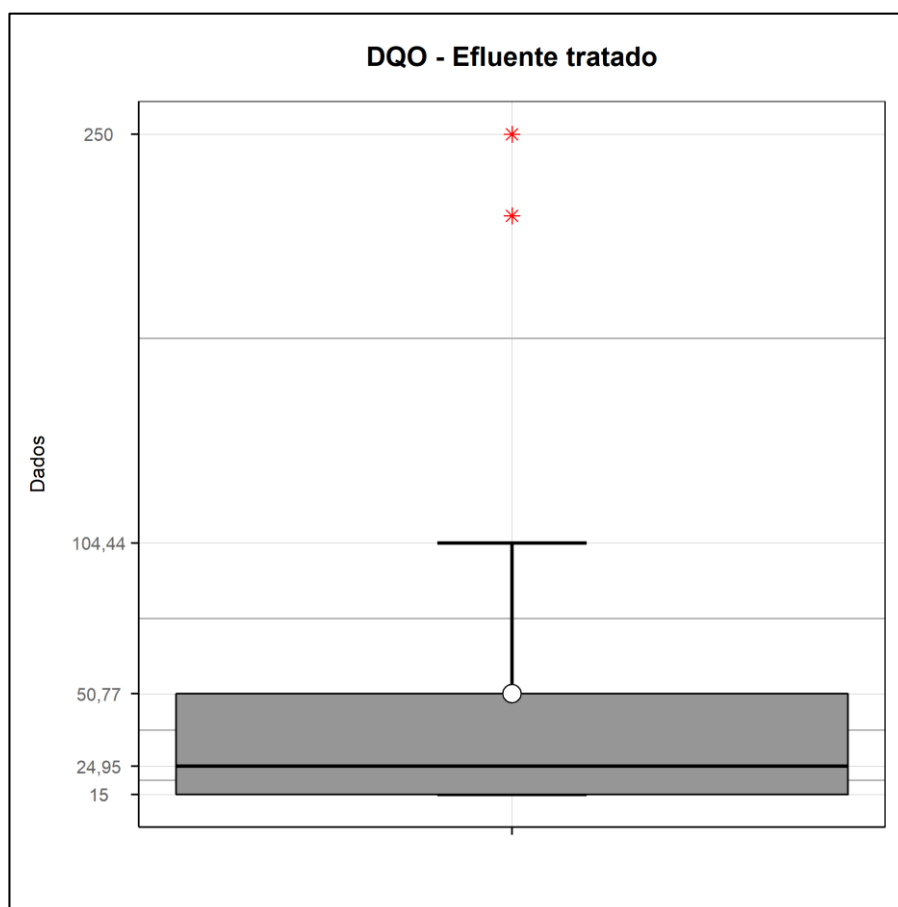


Figura 20 - Boxplot do DQO efluente tratado
Fonte: Autoria própria, 2020.

Os valores de fósforo variaram de 0,005 a 2,0 mg.L⁻¹. O C.V. foi de baixa variabilidade de dados, pois apresentou um valor < 10% (GOMES, 1987). Spiller (2020) obteve valores de 0,7 a 2,7 mg.L⁻¹ no efluente tratado da batata, valores próximos ao encontrado neste trabalho.

A outorga de lançamento não exige quantidades mínimas de fósforo, no entanto é um parâmetro de importante monitoramento, pois quantidades excessivas contaminam os corpos hídricos, causam proliferação das algas, diminuindo o OD do meio, aumentam a turbidez e reduzindo a passagem de luz. Assim, contribuindo no processo de eutrofização (FERREIRA, MARGUTI, PIVELI, 2009).

Segundo o CONAMA 357/05 para águas de qualidade III o valor máximo de fósforo total permitido para o lançamento é de 0,15 mg.L⁻¹, sendo assim há meses em que haveria a necessidade de diluição para posterior despejo em águas de classe III.

Observa-se na Figura 21, o gráfico *boxplot* do parâmetro fósforo, este parâmetro não apresenta nenhum ponto discrepante.

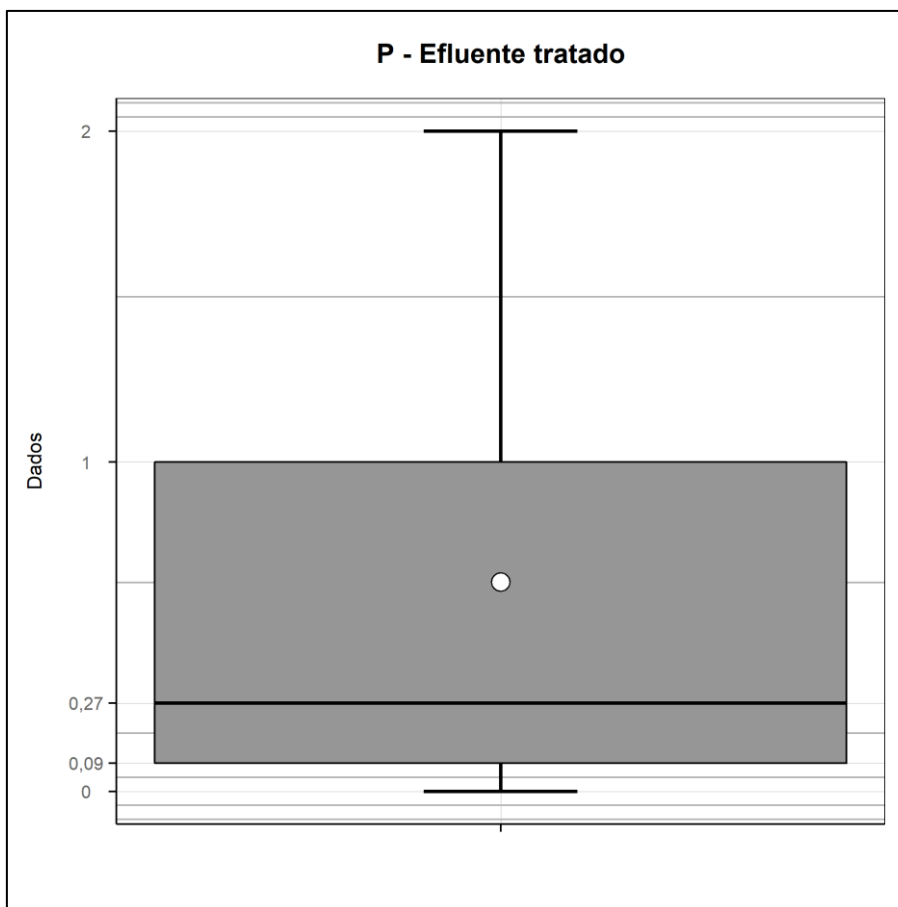


Figura 21 - Boxplot fósforo do efluente tratado.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Os valores de pH determinados nesta pesquisa variaram entre 7,00 a 8,30, a média foi de 7,69 próxima da neutralidade. Todos os valores aceitáveis perante a legislação CONAMA 357/05 para lançamento nos corpos hídricos. Esta variável apresentou baixa variabilidade conforme pode ser verificado pelo coeficiente de variação abaixo de 10% (GOMES,1987). Gerhardt (2018), encontrou um pH médio de 7,08, valor condizente com o encontrado neste estudo.

O *boxplot* do pH (Figura 22) não apresentou nenhum ponto discrepante, como este efluente é posterior ao tratamento biológico, o pH é um parâmetro que se mantém próximo a neutralidade e com poucas variações para não afetar os microorganismos presentes no lodo.

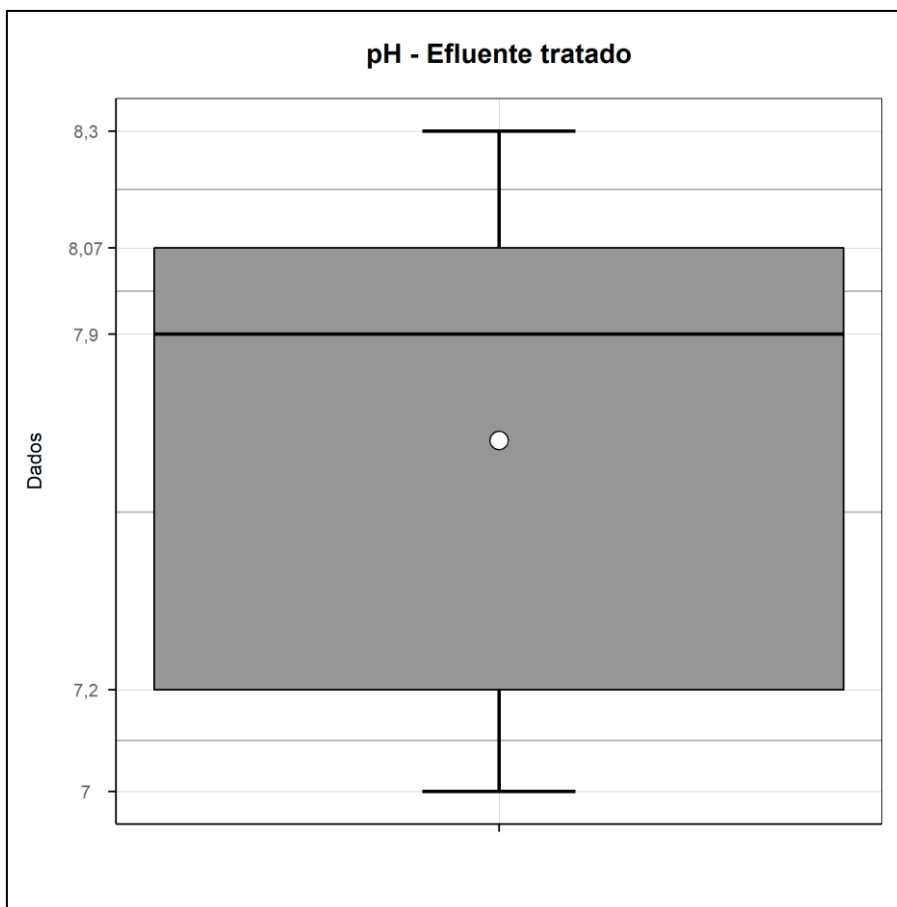


Figura 22 -Boxplot pH efluente tratado.

Fonte: A autoria própria, 2020.

Todos os parâmetros analisados do EF rejeitaram a hipótese nula, ou seja, não seguem uma distribuição normal. A transformação box-cox foi utilizada para normalizar os dados. Os lambdas de DBO_{5,20}, DQO, fósforo e pH foram -0,6818; -0,7323; 0,2777 e 2,5; respectivamente.

Com a análise estatística, foi possível avaliar o comportamento dos dados, verificando a variação em cada ponto. As etapas de tratamento apresentaram uma boa previsibilidade, porém as cartas de controle serão utilizadas para verificar se a ETE tem um padrão estável ou se os resultados obtidos que atendem a legislação são considerados como uma parte da eficiência do sistema.

5.2 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Na Tabela 8 estão dispostos os valores da eficiência global para as variáveis de DBO_{5,20} DQO e P.

Tabela 8 - Resumo da eficiência global do tratamento.

Variável	Média (%)	Desvio padrão	C.V. (%)
DQO	99,34	0,8742	0,8801
DBO _{5,20}	99,56	0,9185	0,9291
P	96,70	6,2995	6,5140

Fonte: A autoria própria, 2020.

A variável DQO obteve a eficiência de 99,34% mostrando uma baixa variabilidade no decorrer no período estudado, isto pode ser verificado por meio do coeficiente de variação de 0,88 %.

A remoção da DBO_{5,20} se mostrou muito eficiente com uma média de 99,56% e com um coeficiente de variação de 0,93 %, que afirma a baixa variabilidade dos dados.

Gerhardt (2018) encontrou uma eficiência média de 97,33% para remoção de DBO_{5,20} e de 80% para remoção de DQO. Já Dias e Giordiano (2020) obtiveram uma eficiência mínima de DBO_{5,20} de 97% e DQO de 94%. Ambos estudos apresentaram valores pouco distantes dos encontrados neste trabalho.

A variável fósforo também apresentou uma baixa dispersão de dados, com um coeficiente de variação de 6,51 % e uma eficiência de remoção de 96,70%. Os valores encontrados não têm uma grande amplitude, em decorrência disto, uma pequena variação de concentração, estatisticamente já gera uma variabilidade maior em relação aos parâmetros observados.

5.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

Para aplicação dos gráficos de controle estatístico de processo foi realizado a verificação da normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk, quando os dados não seguiam uma distribuição normal foi realizada a transformação *box-cox*. Após, foi verificada a autocorrelação dos dados. Quando autocorrelacionados foi aplicado ARIMA para sua remoção. Os resíduos gerados foram utilizados para a construção dos gráficos conforme descrito na Figura 7.

Na Tabela 9 verifica-se o resumo da normalidade e da autocorrelação dos parâmetros.

Tabela 9 - Resumo do teste de normalidade e autocorrelação de dados

Parâmetros	Efluente bruto				Efluente após tratamento físico-químico				Efluente tratado			
	DQO	DBO ₅	P	pH	DQO	DBO ₅	P	pH	DQO	DBO ₅	P	pH
Dados normais	sim	sim	não	não	não	Sim	sim	Não	sim	Sim	sim	sim
Autocorrelacionados	não	não	não	sim	não	Não	não	Não	não	Não	não	não

Fonte: Autoria própria, 2020.

A construção dos gráficos de controle estatístico de processo foi realizada com os dados transformados, quando necessário.

Todos os parâmetros e pontos foram avaliados por meio dos gráficos de medida individual de Shewhart e das cartas de média móvel exponencial ponderada. O objetivo do uso das cartas de controle é serem uma alternativa simples na análise e identificação de falhas no processo, sendo de fácil leitura para que os operadores e analistas consigam rapidamente verificar os pontos que estão fora do processo e atuem preventivamente corrigindo as anomalias e garantindo a qualidade do sistema.

5.3.1 Demanda bioquímica de oxigênio – DBO_{5,20}

Nas sessões abaixo encontra-se disponíveis os gráficos de controle (CEP) do parâmetro $DBO_{5,20}$, para os pontos EB, EFQ e EF.

5.3.1.1 Gráfico de medida individual de Shewhart- $DBO_{5,20}$

Neste estudo os gráficos de medidas individuais de Shewhart serão avaliados pelas regras de a) a d), pois os gráficos gerados pelo *software Action* não delimitam as zonas B e C, sendo assim, não foi verificado as regras e) a h).

Vale salientar que a regra principal para verificação dos gráficos de Shewhart é a permanência dos pontos dentro dos limites de controle, as regras suplementares adotadas devem ficar a cargo da decisão do analista, que deve verificar qual se enquadra melhor de acordo com a característica do seu processo (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

O gráfico de Shewhart para o monitoramento do parâmetro $DBO_{5,20}$ nos pontos EB, EFQ e EF estão representados por meio das Figuras 23, 24 e 25 respectivamente.

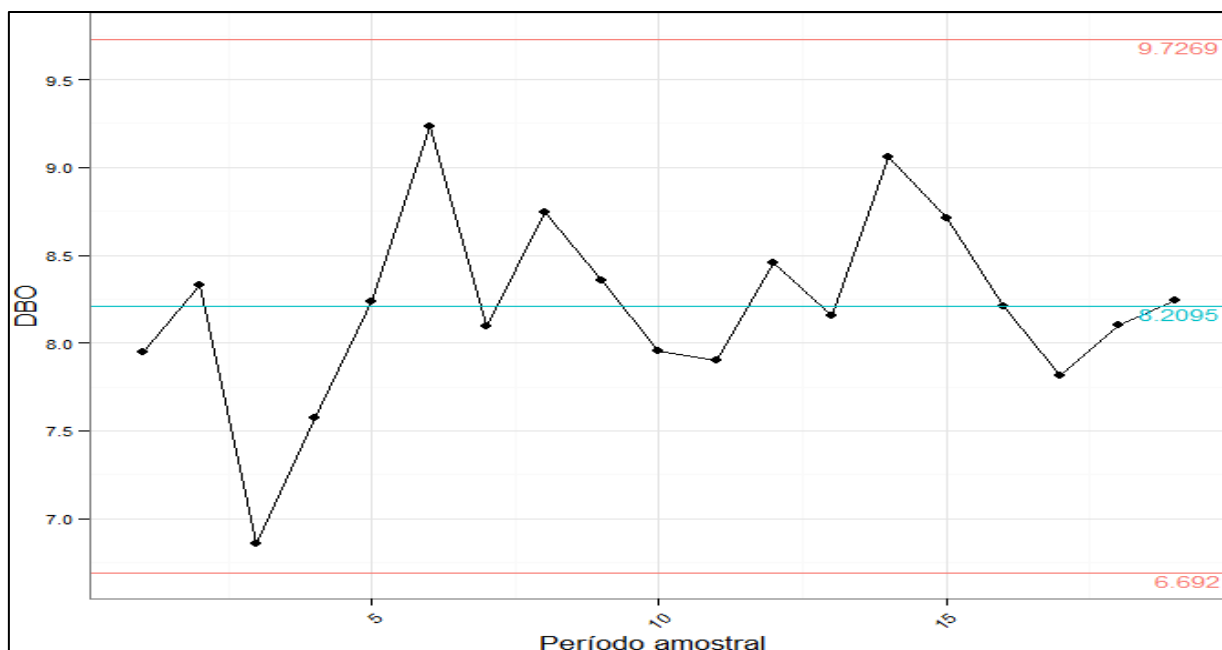


Figura 23 - Gráfico de medida individual de Shewhart - $DBO_{5,20}$ – EB

Fonte: Autoria própria, 2020.

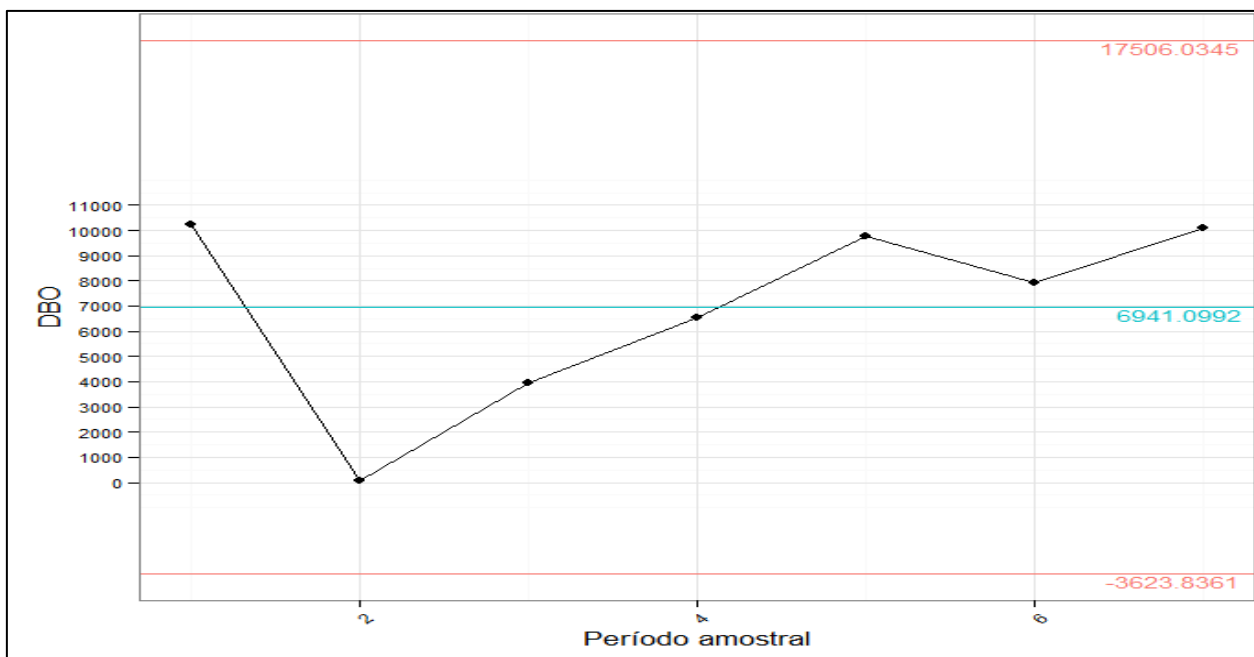


Figura 24 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DBO_{5,20} - EFQ
 Fonte: Autoria própria, 2020.

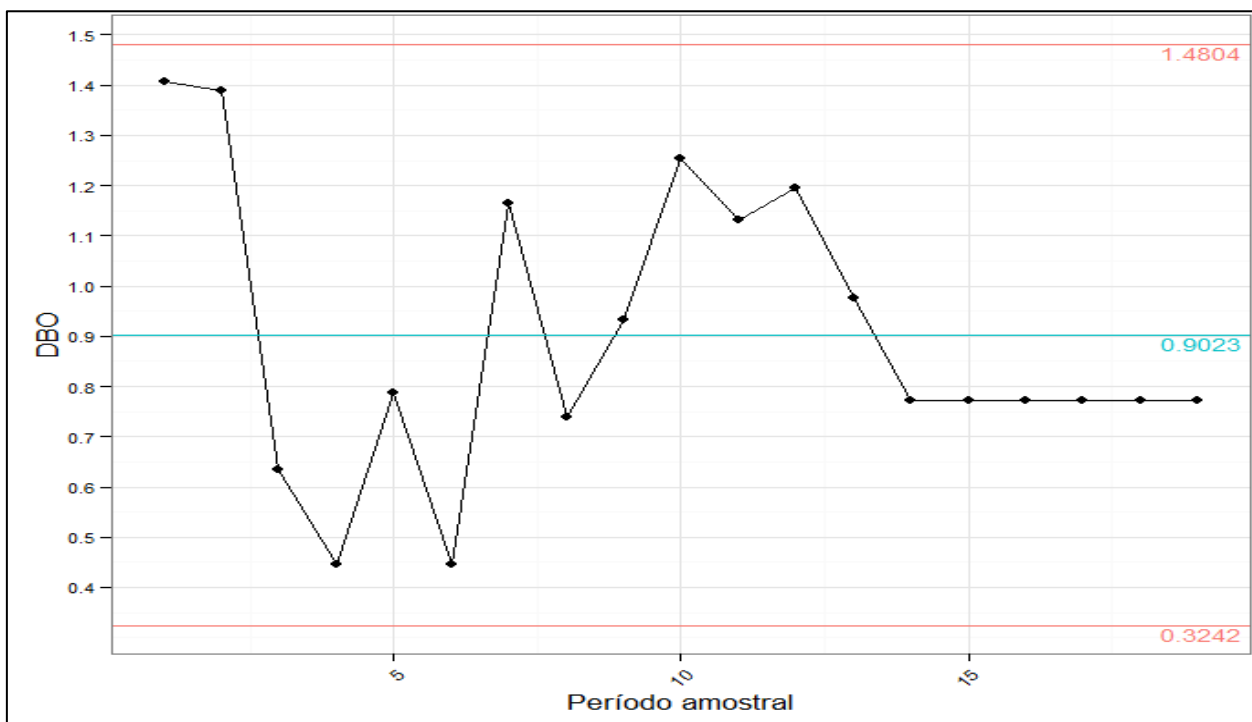


Figura 25 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DBO_{5,20} - EF
 Fonte: Autoria própria, 2020.

Analisando a Figura 23,24 e 25, é possível constatar que a $DBO_{5,20}$ está sob controle estatístico de processo nos três pontos EB, EFQ e EF, pois não apresentam pontos fora dos limites de controle e comportamento sistemático e não aleatório.

Na Figura 24 referente ao EFQ pode-se observar que o período amostral 2 a 5 apresentou um deslocamento crescente que demonstra uma tendência a sair fora de controle, no entanto, para ser caracterizado fora de controle segundo a regra c), deveriam apresentar 6 pontos consecutivos, todos aumentando ou diminuindo o que gera uma linha contínua.

Na Figura 25, observa-se que a partir do período amostral 14, que todos os pontos seguiram consecutivamente uma linha reta, o que indica um deslocamento no nível do processo e poderia identificar um processo fora de controle, porém segundo a regra b) um processo está fora de controle quando apresentar 9 pontos consecutivos acima ou abaixo da linha central.

O comportamento comum de um gráfico de CEP é aleatório, pois mesmo que os produtos sejam obtidos conforme as características estipuladas, sempre haverá pequenas variações (NEWHART *et al*, 2019), sendo assim quando um gráfico apresenta um comportamento em linha reta é possível prever que exista algum problema no processo, sendo necessário identifica-lo antes que este altere a qualidade do produto.

Verificando os dados transformados do EF com os valores reais, equivalem aos meses de dez/19 a mai/20. Nestes pontos a $DBO_{5,20}$ foi de $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$, valor mínimo detectável pela análise laboratorial. Sendo assim, provavelmente a $DBO_{5,20}$ sofreu pequenas alterações abaixo do limite de quantificação, se fosse detectável mudaria o formato dos últimos 6 pontos do período amostral.

Por meio da Figura 25 e da análise dos dados do EF, pode-se verificar a importância do CEP, pois mesmo antes do gráfico apresentar uma curva fora de controle o operador/ analista é capaz de prever o comportamento diferente da curva do gráfico e identificar e corrigir os causadores destas anomalias, garantindo assim a qualidade do produto. Verificado a causa conclui-se que não há um problema no processo de tratamento que comprometeria a qualidade do efluente final, ficando nítido a importância do operador/ analista conhecer o processo para conseguir identificar as variáveis que interferem na análise dos gráficos de CEP.

5.3.1.2 Gráficos de Média Móvel exponencial ponderada – (MMEP) – $DBO_{5,20}$.

Os gráficos de Média móvel exponencial ponderada para os pontos EB, EFQ e EF estão dispostos nas Figuras 26,27 e 28 respectivamente.

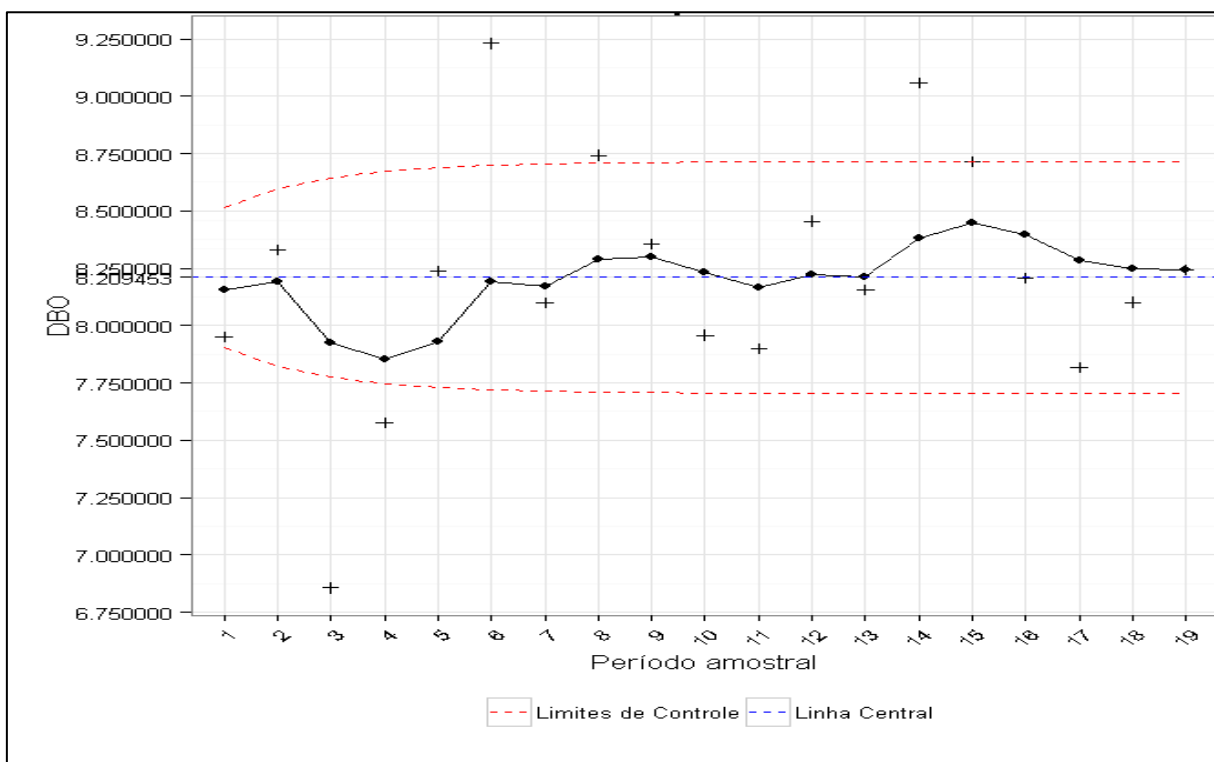


Figura 26 - Gráfico MMEP - $DBO_{5,20}$ - EB.

Fonte: Autoria própria, 2020.

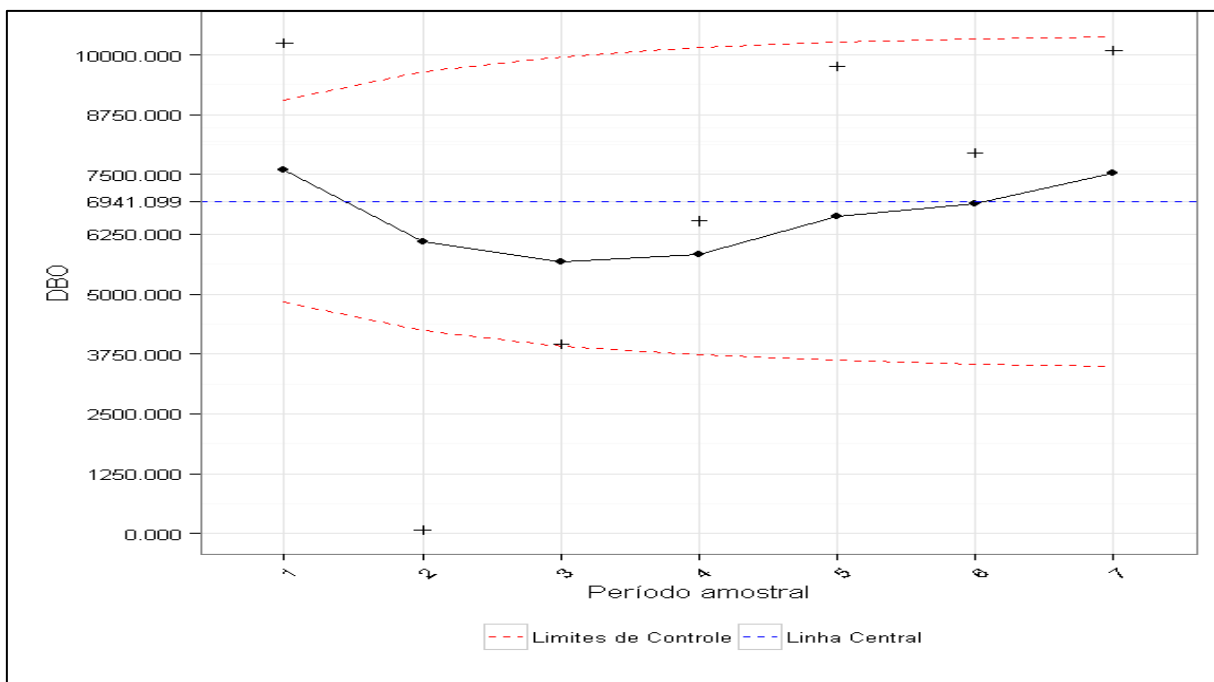


Figura 27 - Gráfico MMEP - DBO_{5,20} - EFQ
 Fonte: Autoria própria, 2020.

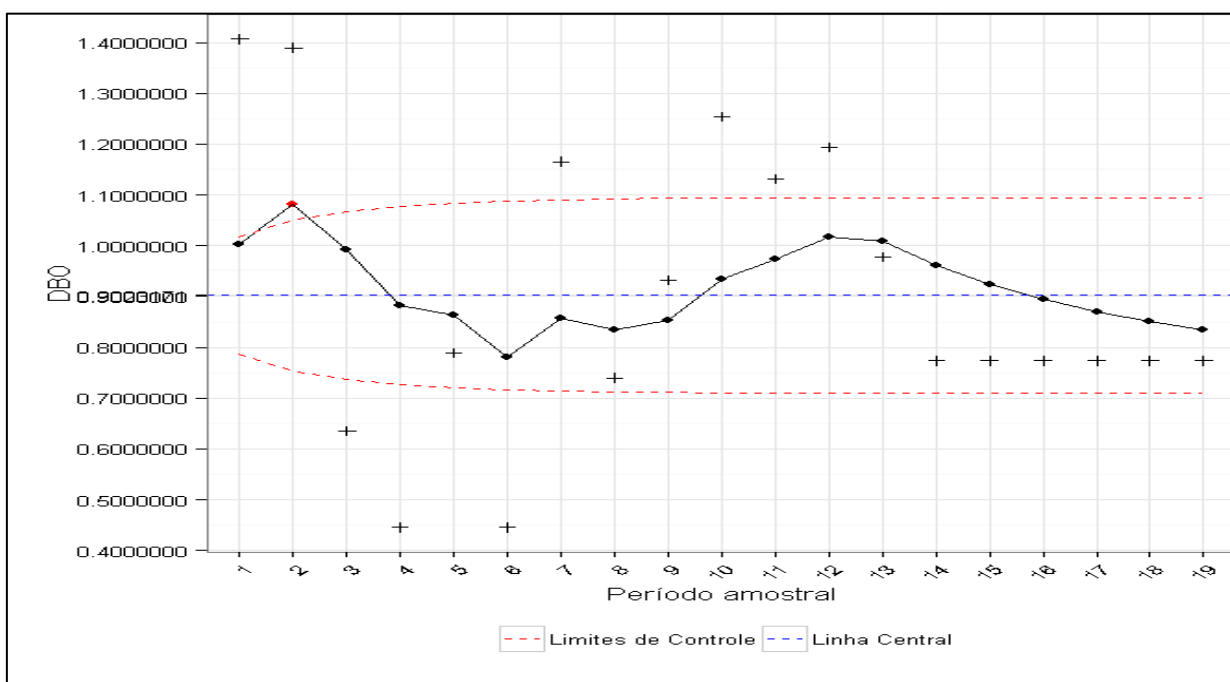


Figura 28 - Gráfico MMEP - DBO_{5,20} - EF
 Fonte: Autoria própria, 2020.

Os sinais positivos (+) presentes nos gráficos de MMEP representam os pontos do gráfico de medida individual de Shewhart. Os gráficos de medida

individual de Shewhart detectam grandes variações, em contraste, o gráfico de média móvel exponencial ponderada (MMEP) é uma ferramenta de grande sensibilidade na rápida detecção de pequenas e médias mudanças (MONTGOMERY,2004). São mais fáceis de interpretar, pois a única regra é verificar se os pontos estão dentro dos limites de controle.

Observa-se na Figura 26 e 27 que os pontos EB e EFQ para o parâmetro $DBO_{5,20}$ estão sob controle estatístico de processo, pois não há nenhum ponto além dos limites de controle, conforme foi já observado nas Figura 23 e 24 de medida individual de Shewhart. Portanto a variável $DBO_{5,20}$ do EB e EFQ está sob controle estatístico de processo, ou seja, apresenta uma variabilidade normal para o processo industrial.

Segundo o gráfico de MMEP representado pela Figura 28, a $DBO_{5,20}$ no EF está fora de controle estatístico de processo, pois o ponto 2 ultrapassou o limite superior de controle. Este refere-se a uma $DBO_{5,20}$ elevada de $75,6 \text{ mg.L}^{-1}$, que é um valor incomum de ser encontrado no processo. Mesmo sendo uma concentração alta, a $DBO_{5,20}$ atendeu o exigido pela legislação CONAMA 430/11 e SEMA 021/2009, um valor inferior a 90 mg.L^{-1} .

5.3.2 Demanda química de oxigênio – DQO

A estabilidade da variável DQO foi avaliada nos pontos EB, EFQ e EF pelos gráficos de controle estatístico de processo.

5.3.2.1 Gráficos de medida individual de Shewhart - DQO

Os gráficos de medida individual de Shewhart para os pontos EB, EFQ e EF estão dispostos nas Figuras 29, 30 e 31 respectivamente.

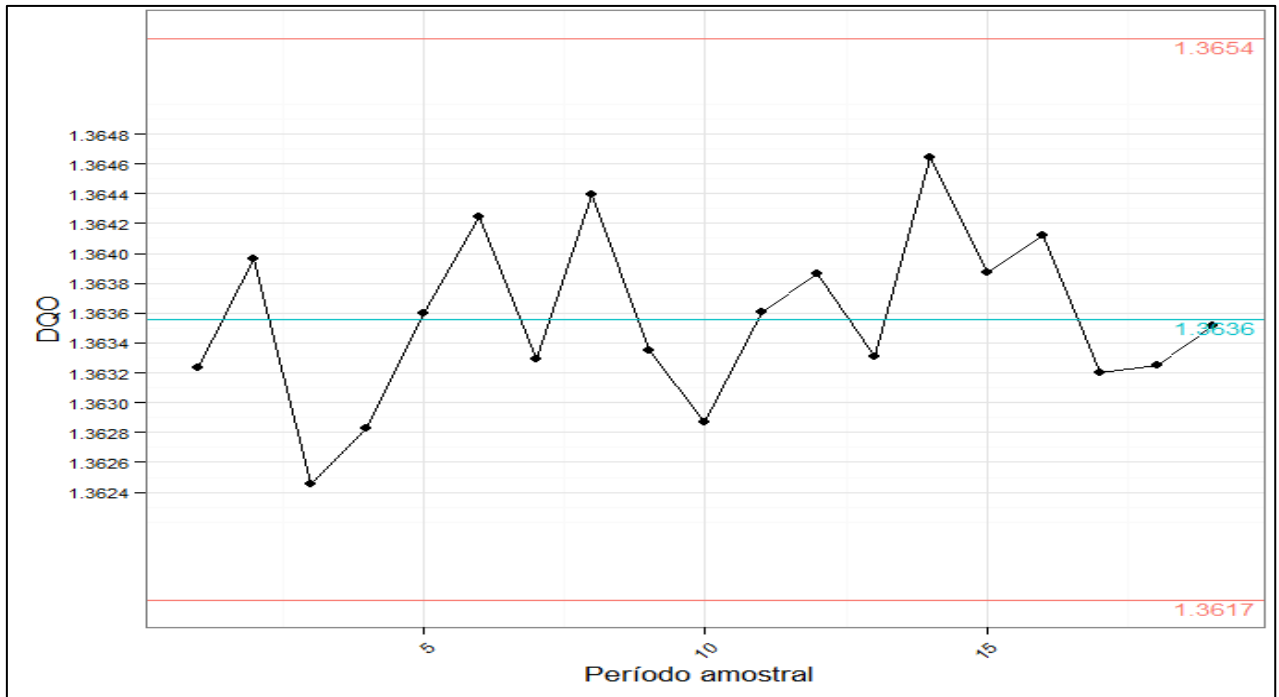


Figura 29 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DQO - EB
 Fonte: Autoria própria, 2020.

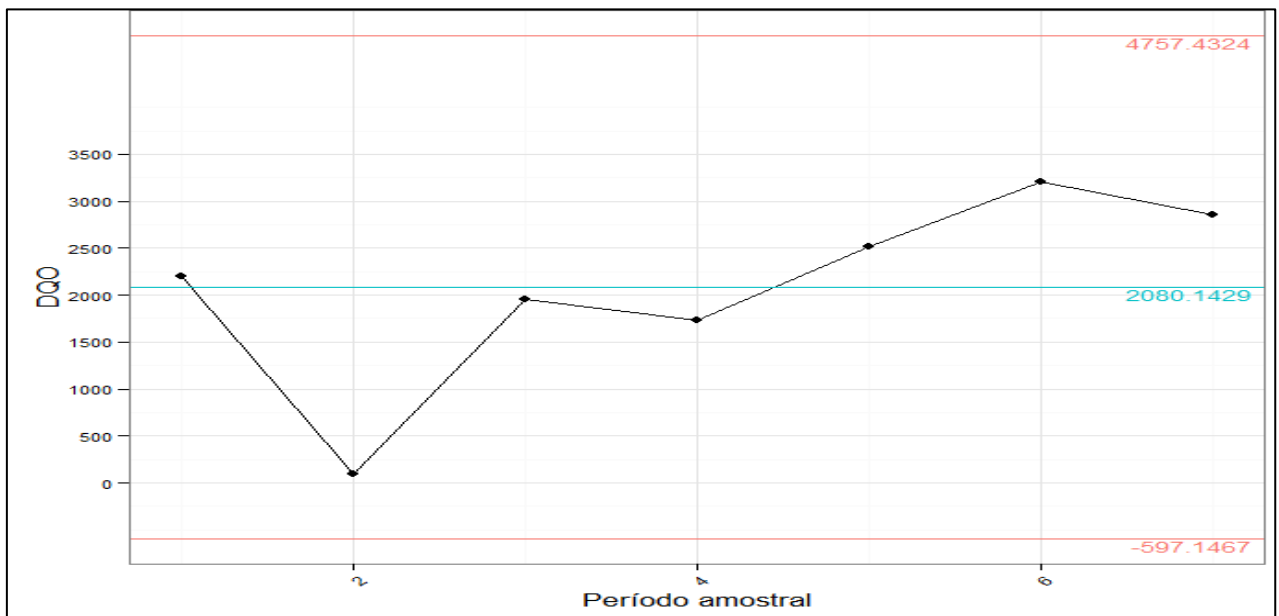


Figura 30 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DQO - EFQ
 Fonte: Autoria própria, 2020.

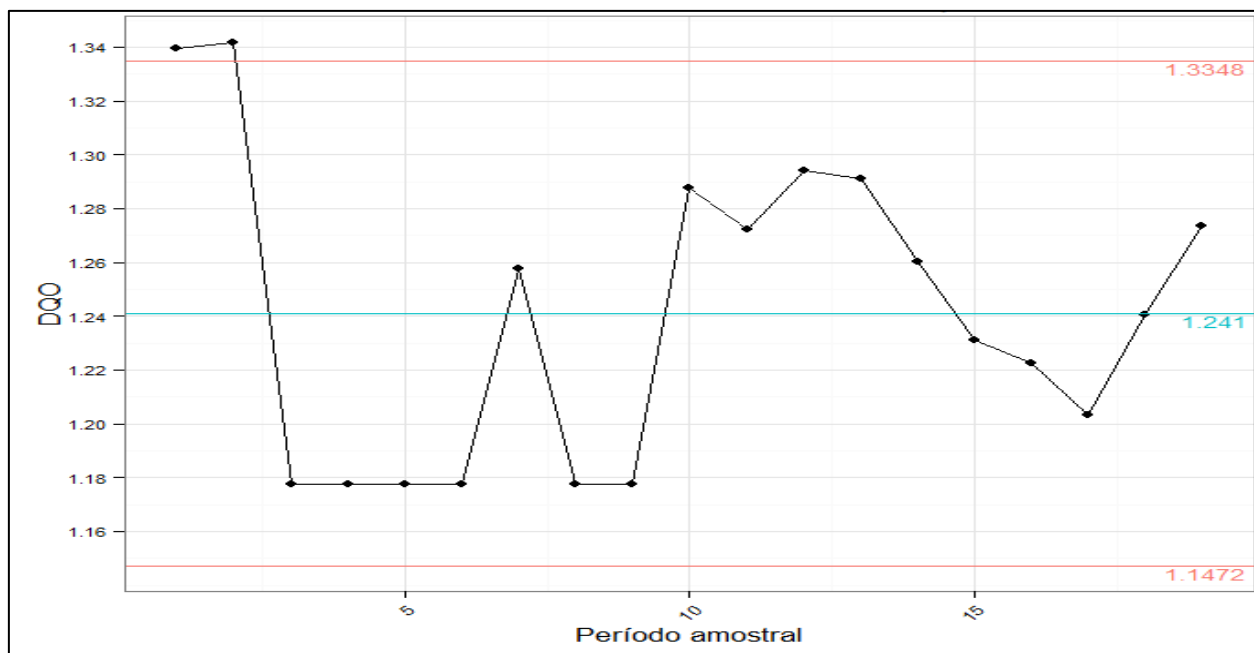


Figura 31 - Gráfico de medida individual de Shewhart - DQO – EF

Fonte: Autoria própria, 2020.

Segundo as regras adotadas neste trabalho a variável DQO nos pontos EB e EFQ representados pelas Figuras 29 e 30 foram considerados sob controle estatístico de processo.

No gráfico *boxplot* da DQO EFQ (Figura 14) observa-se um ponto discrepante referente a concentração 93 mg.L^{-1} (associado provavelmente a um erro de medição ou amostragem), na Figura 30 este é representado pelo segundo ponto do gráfico. Os gráficos de medida individual de Shewhart detectam grandes variações, e no período amostral 2 identifica-se um deslocamento no gráfico, porém este ponto ainda permaneceu dentro dos limites de controle. Como existem poucos dados de EFQ os limites ficaram largos, no entanto, é possível que com um maior número de dados no período amostral o valor discrepante fique fora de controle.

O gráfico de DQO EF representado pela Figura 31 está fora de controle estatístico de processo, pois os pontos 1 e 2 ultrapassaram o limite superior de controle. Fazendo uma análise dos dados não transformados, observa-se que os valores são referentes a DQO elevada de 221 e 250 mg.L^{-1} , ou seja, a ETE estava operando com baixa eficiência, devido à falta de uma bomba de recirculação. Este fato fez com que os dois pontos ultrapassassem os limites estabelecidos pela

outorga e o segundo ponto apresentou um valor de DQO superior ao exigido pela legislação SEMA 021/09.

Nos períodos amostrais de 11 ao 17 da Figura 31, também há evidências de que o processo está fora de controle, pois existem 7 pontos consecutivos descendo, (critério c) da ISO 8258/1991). Estes pontos estão relacionados com a redução da concentração da DQO, que foi de 53,1 a 18,3 mg.L⁻¹. Nesta mesma Figura 31 detectou-se que havia algo errado, pois, os valores estavam apenas decrescendo continuamente, de acordo com Montgomery, 2004 e em um processo se espera que as variáveis fiquem oscilando em torno da média. Entretanto, o decréscimo da concentração de DQO no EF, gerou uma anomalia provocada por medidas que melhoraram a eficiência do tratamento do efluente, trazendo novamente a necessidade de o analista/operador conhecer todo o processo para entender se há necessidades de realizar correções na ETE.

5.3.2.2 Gráficos de média móvel exponencial ponderada (MMEP) - DQO

Os gráficos de MMEP da variável DQO do EB, EFQ e EF estão dispostos nas Figuras 32, 33 e 34.

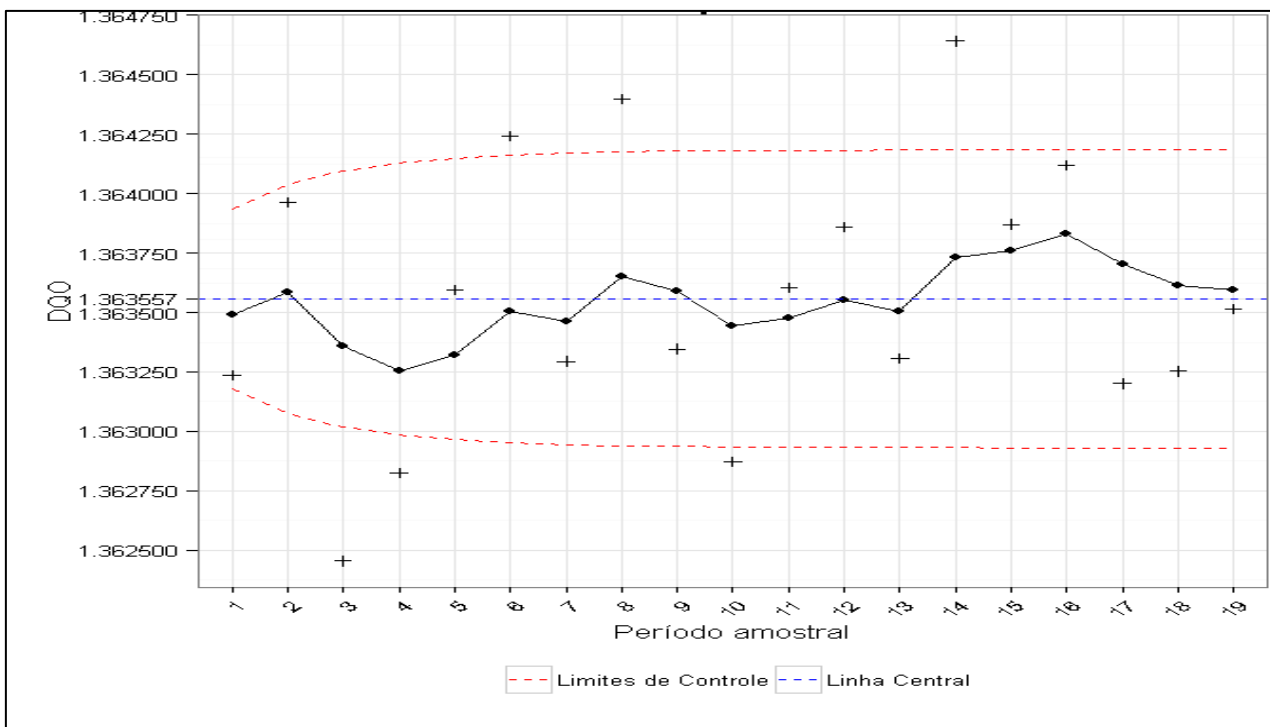


Figura 32 - Gráfico MMEP - DQO - EB

Fonte: Autoria própria, 2020.

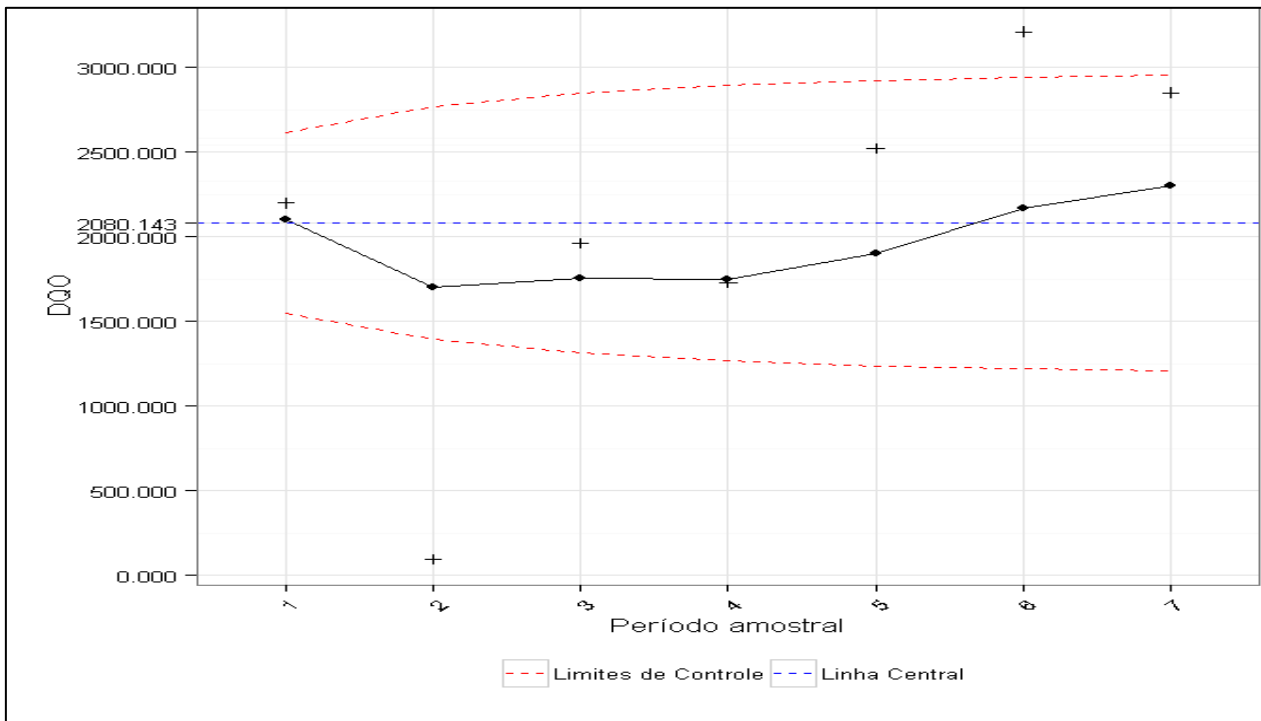


Figura 33 - Gráfico MMEP - DQO - EFQ

Fonte: Autoria própria, 2020.

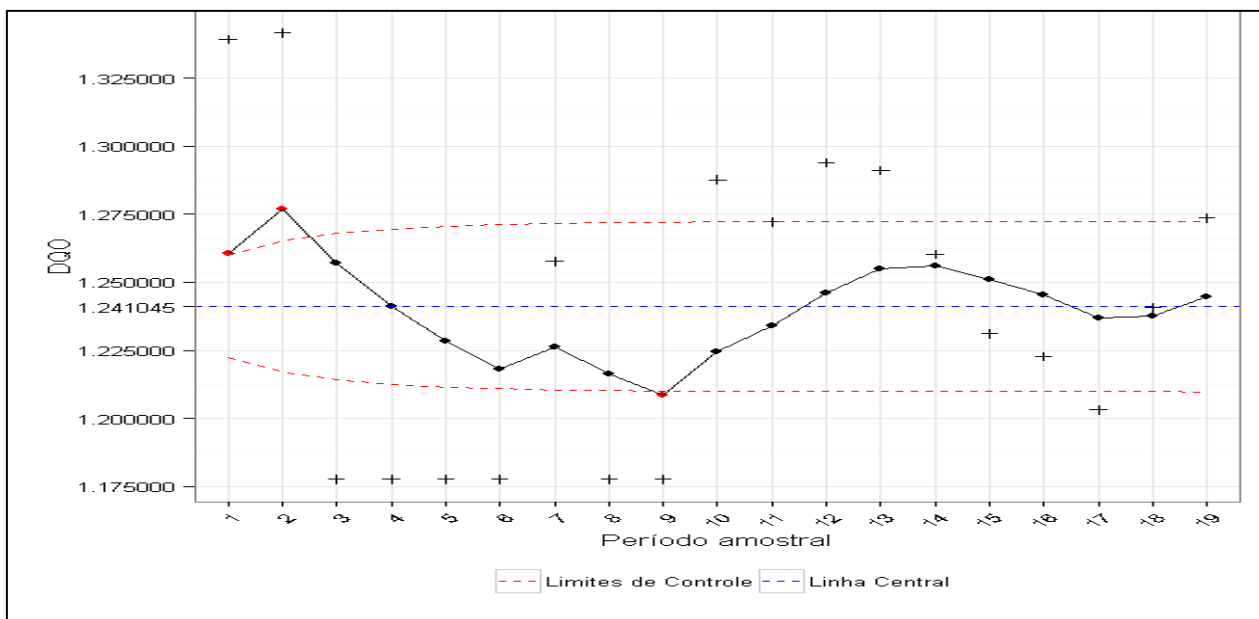


Figura 34 - Gráfico MMEP - DQO – EF
Fonte: Autoria própria, 2020.

Nos gráficos de MMEP (Figuras 32 e 33) para a variável DQO nos pontos EB e EFQ, os dados se encontram sob controle estatístico de processo, pois todos os pontos do período amostral estão dentro dos limites de controle, conforme constatado na carta de medida individual de Shewhart.

Já para o ponto EF, a Figura 34 se mostrou fora de controle estatístico de processo, pois apresentou 3 pontos fora dos limites de controle. O primeiro e segundo são os mesmos apontados na Figura 31 e justificados. Analisando os dados não transformados, observa-se que o período amostral 3 a 6 são pontos decrescentes, nos quais todos estão relacionadas com a concentração de 15 mg.L^{-1} , o ponto 7 refere-se a uma concentração de 32 mg.L^{-1} , superior a encontrada nos períodos anteriores, no entanto os próximos dois pontos voltam a cair a concentração para 15 mg.L^{-1} , sendo que o ponto 9 se encontra fora dos limites do gráfico. Segundo Montgomery (2004), como o gráfico de MMEP é um gráfico de memória, ou seja, ele leva em consideração os valores anteriores, a presença constante da concentração de 15 mg.L^{-1} demonstra que o processo estava fora de controle, pois há repetição de uma única concentração.

Utiliza-se os gráficos de controle estatístico de processo em busca de redução de variabilidade para melhorar a qualidade do processo, quando um valor se repete constantemente ele não indica que o processo está controlado, pois todos

os processos, devido as várias interferências que sofrem (operador, matéria prima, temperatura etc.), têm pequenos desvios em relação a especificação ideal do produto. Sendo assim, a repetição contínua de um valor significa que pode haver um erro de medição, pois espera-se uma pequena variação, mesmo em processos sob controle (NEWHART, 2019). Porém, como aconteceu com a variável $DBO_{5,20}$ o valor da concentração de DQO de 15 mg.L^{-1} , é o mínimo detectável na análise laboratorial, portanto a repetição desta concentração não significa que o processo está fora de controle.

5.3.3 Fósforo – P

A estabilidade de remoção do fósforo foi avaliada utilizando os gráficos de CEP.

5.3.3.1 Gráficos de medida individual de Shewhart

As Figuras 35, 36 e 37 demonstram o gráfico de medida individual de Shewhart, para a variável fósforo total do EB, EFQ e EF.

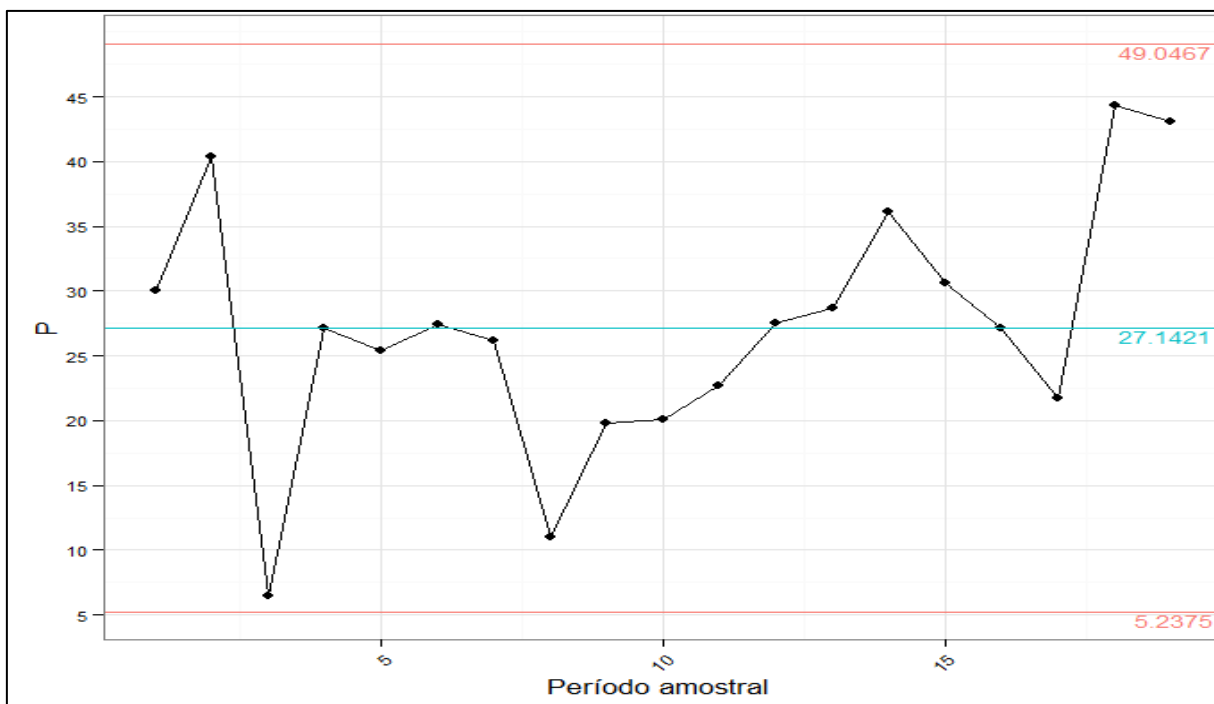


Figura 35 - Gráfico de medida individual de Shewhart - fósforo – EB
Fonte: Autoria própria, 2020.

Avaliando a Figura 35, o parâmetro fósforo para o ponto EB está fora de controle de processo, segundo o critério c) da ISO 8258/1991, pois há 7 pontos consecutivos aumentando, representados pelo período amostral 8 a 14. Os valores de concentração de fósforo nestes pontos estão crescendo e vão de 11 a 36,1 mg.L⁻¹ isso significa que o gráfico detectou que o tratamento estava perdendo a eficiência pois a concentração de fósforo aumentou de ponto a ponto. A partir do período amostral 15 a concentração de fósforo voltou a variar em torno da média, assim o processo retornou ao controle. O aumento crescente detectado pelo gráfico da Figura 35 é justificado pela espécie da batata utilizada nestes meses.

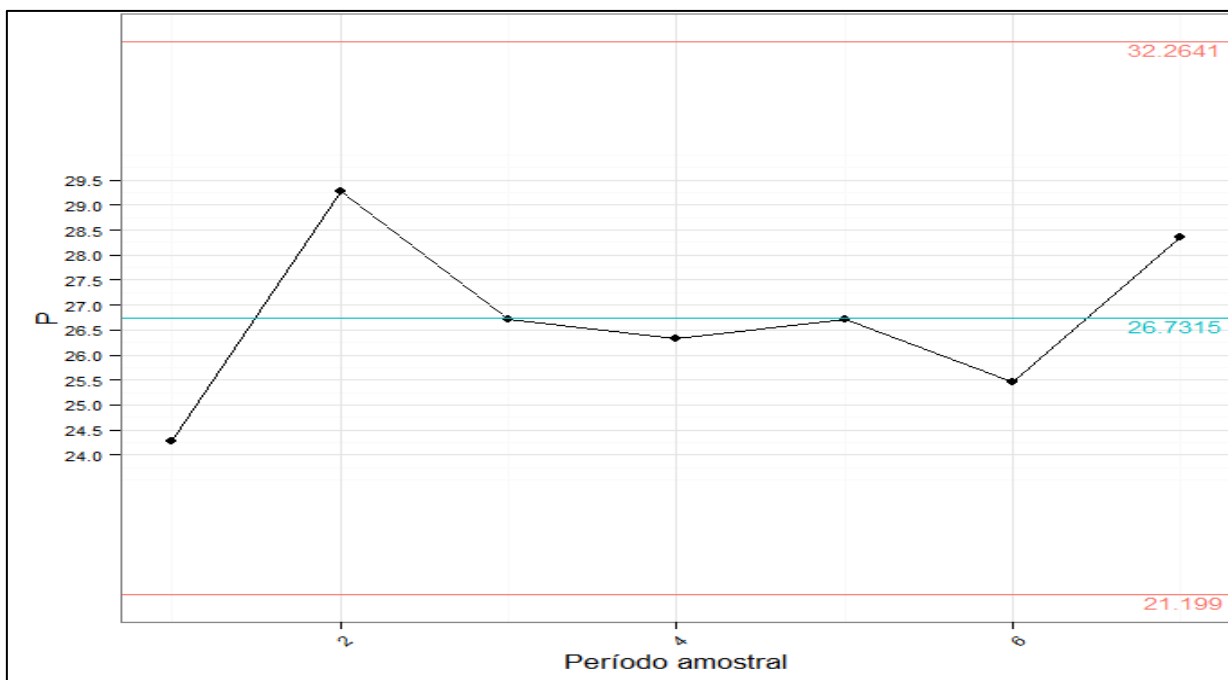


Figura 36 - Gráfico de medida individual de Shewhart - fósforo – EFQ

Fonte: Autoria própria, 2020.

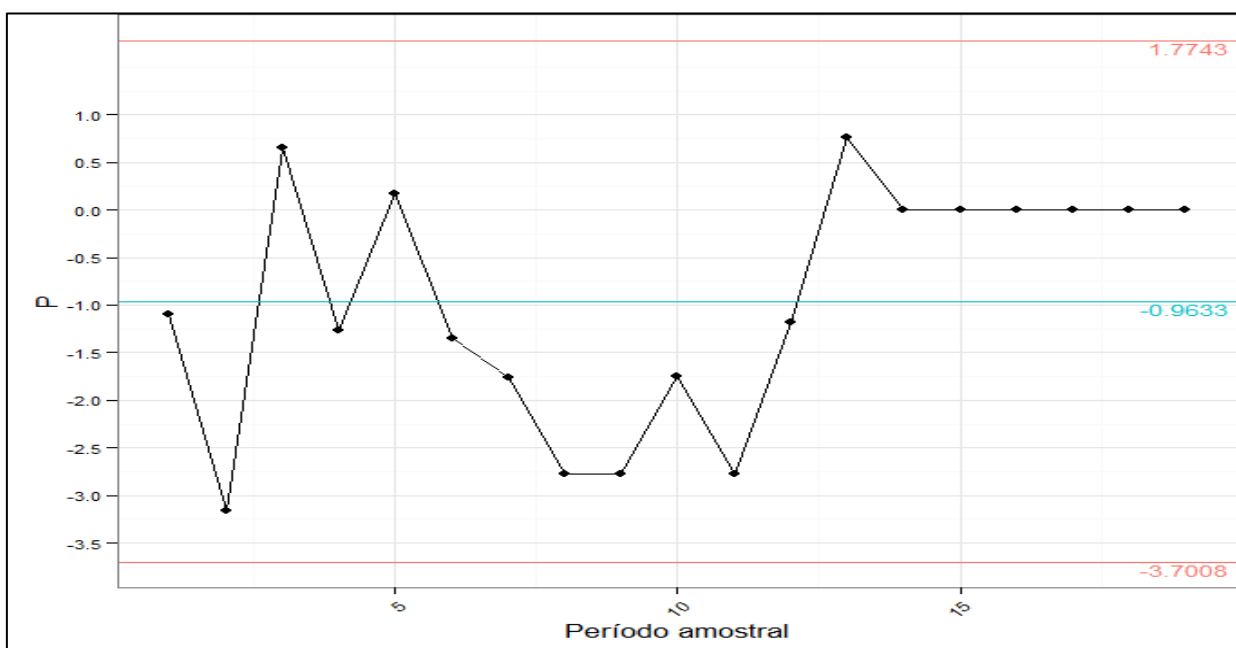


Figura 37 - Gráfico de medida individual de Shewhart - fósforo – EF

Fonte: Autoria própria, 2020.

Já para os pontos EFQ e EF (Figuras 36 e 37) a variável fósforo está sob controle estatístico de processo, pois não apresenta nenhum ponto fora de limite de controle e comportamento sistemático não aleatório.

O ponto EF representado pela Figura 37 apresentou o mesmo comportamento observado na DQO (Figura 31), o fósforo expôs uma linha com seis pontos consecutivos, na qual também pode gerar problemas de interpretação. À primeira vista pode ser interpretado como fora de controle por se assimilar ao critério c) da ISO 8258/1991, porém também representa uma concentração única associada ao limite mínimo de quantificação das análises laboratoriais. Portanto, a variável fósforo encontra-se sob controle estatístico de processo, mostrando que o sistema é eficiente e previsível quanto a remoção do macronutriente fósforo.

5.3.3.2 Média Móvel exponencial ponderada – fósforo

O gráfico de média móvel exponencial ponderada (MMEP) para o parâmetro fósforo pode ser observado por meio da Figura 38.

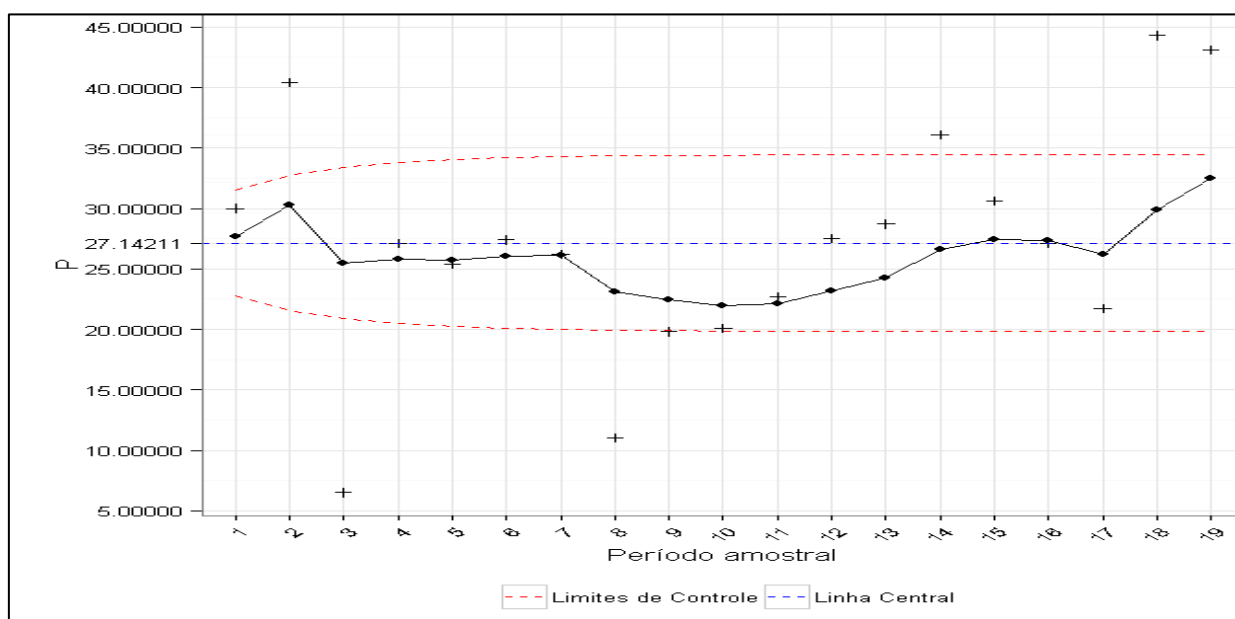


Figura 38 - Gráfico MMEP - P – EB
Fonte: Autoria própria, 2020.

A Figura 38 representa o parâmetro fósforo para o EB, ele está sob controle estatístico de processo, pois curva não apresenta nenhum ponto que ultrapasse os limites de controle. Para os mesmos dados utilizando o gráfico de Shewhart (Figura 35) encontra-se um processo fora de controle, pois houve grandes mudanças de concentração, portanto exigem uma resposta rápida a mudanças bruscas, sendo o gráfico de Shewhart o mais indicado para analisar este comportamento (MONTGOMERY, 2004).

O gráfico de MMEP para o EFQ está representado na Figura 39.

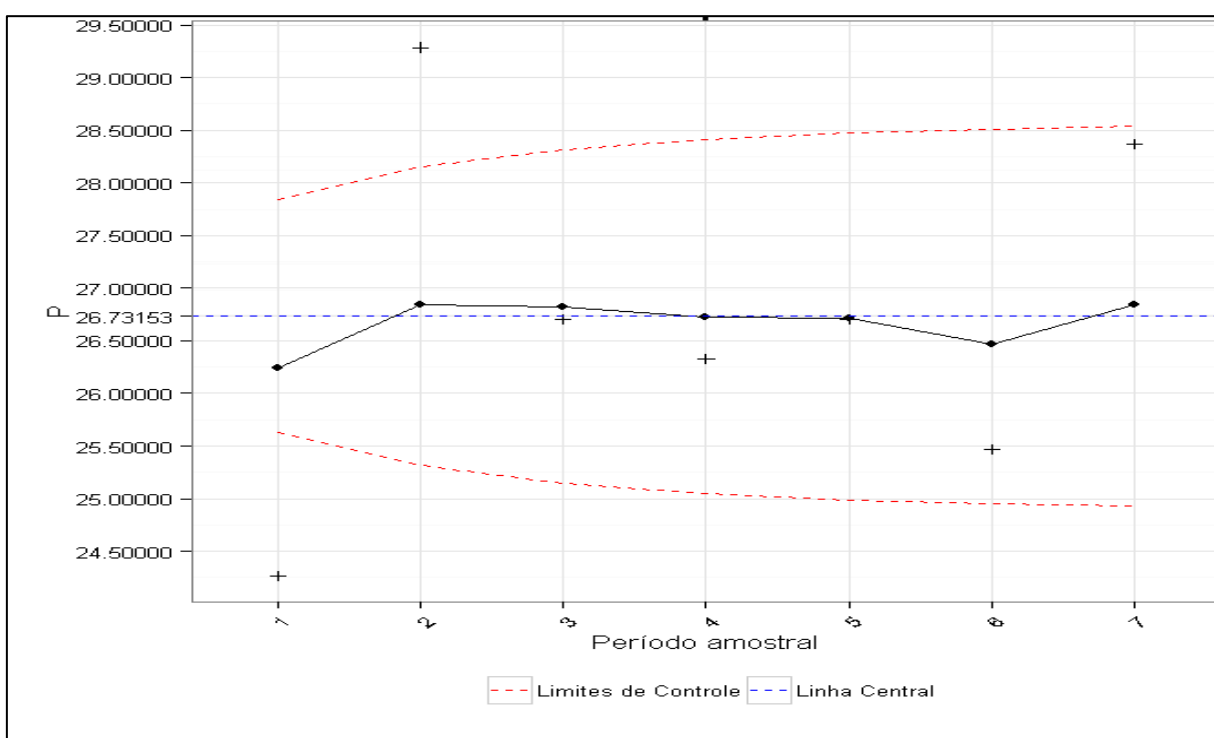


Figura 39 - Gráfico MMEP - P- EFQ

Fonte: Autoria própria, 2020.

Os dados amostrados do fósforo para o EFQ (Figura 39) estão sob controle estatístico de processo, todos os pontos permaneceram dentro dos limites. Na Figura 40 encontra-se o MMEP para o ponto EF.

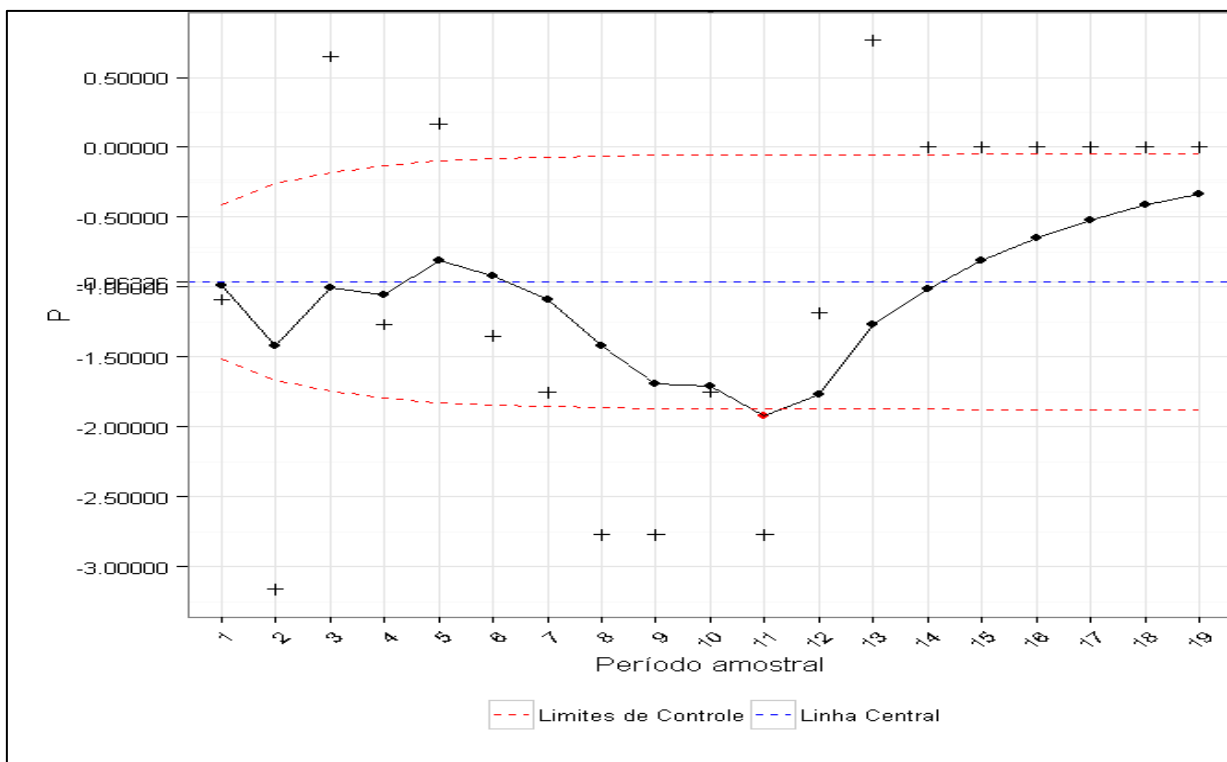


Figura 40 - Gráfico MMEP - P – EF
Fonte: Autoria própria, 2020.

No ponto de lançamento EF a Figura 40 apresentou um gráfico de MMEP fora de controle estatístico de processo, pois o período amostral 11 encontra-se além dos limites de controle. Este ponto pertence ao dado não transformado de fósforo de concentração $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$. O gráfico de MMEP detecta pequenas variações sendo mais adequado para analisar a variável fósforo no ponto EF, devido a sua pequena variação na concentração. Os nutrientes como fósforo, são removidos por processos biológicos. No entanto, a fauna microbiológica é difícil de manter em um controle estatístico, devido a sua complexidade. Pois, são dependentes de condições ambientais variáveis, sendo mais instáveis e difíceis de controlar (FILHO, MARGUTI, PIVELI, 2009). Sendo assim, a falta de controle estatístico está associada a este fator.

5.3.4 Potencial hidrogeniônico – pH

Os gráficos de MMEP foram construídos para a variável P, e analisados nos pontos EB, EFQ e EF.

5.3.4.1 – Gráficos de medida individual de Shewhart - pH

A Figura 41 representa o gráfico de medidas individuais de Shewhart para a variável pH do EB.

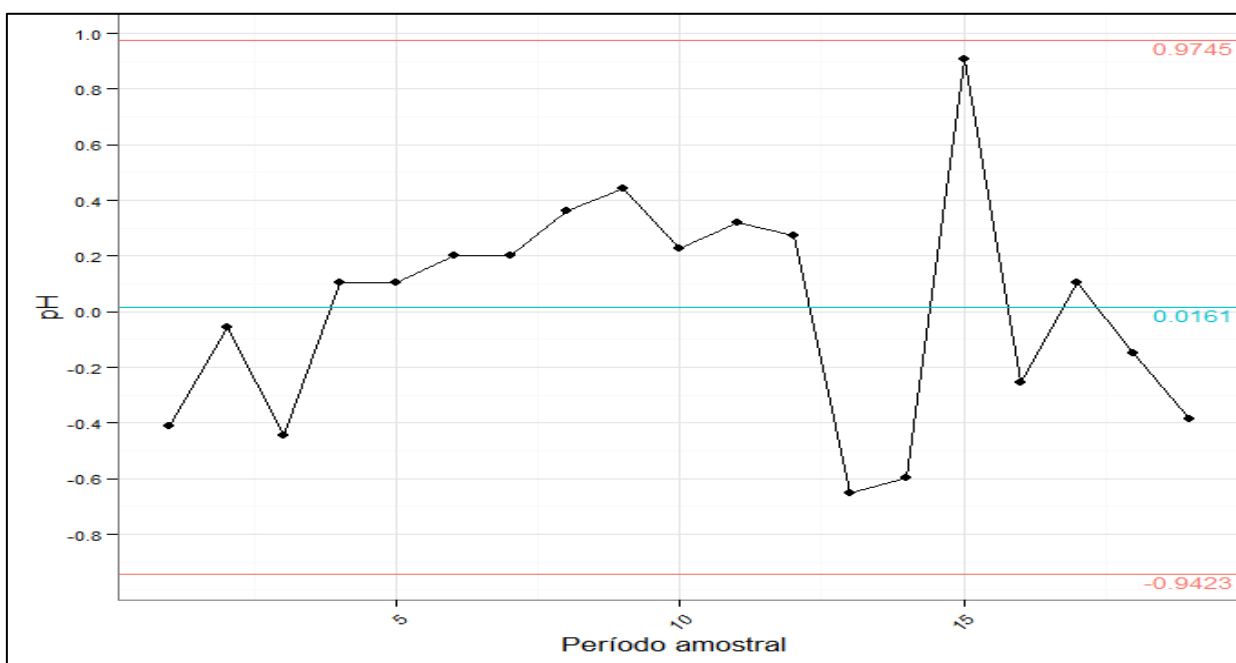


Figura 41 - Gráfico de medida individual de Shewhart - pH – EB
Fonte: Autoria própria, 2020.

Observa-se no gráfico da Figura 41, que o processo está fora de controle de acordo com o critério c), pois existem seis pontos consecutivos aumentando, referentes ao período amostral 4 a 9. Segundo os dados não transformados, os valores de pH para este período amostral foi de 7,1 até 8,0 todos os pontos crescendo. A variação deste parâmetro ocorreu devido a possibilidade de o EB apresentar uma diversidade quanto ao recebimento de efluente relativo ao tipo de

produto produzido e se a indústria está realizando algum procedimento de limpeza, estes fatores elevam a variabilidade do pH, detectados pelo gráfico de Shewhart.

Os gráficos dos pontos EFQ e EF são dispostos nas Figuras 42 e 43 respectivamente.

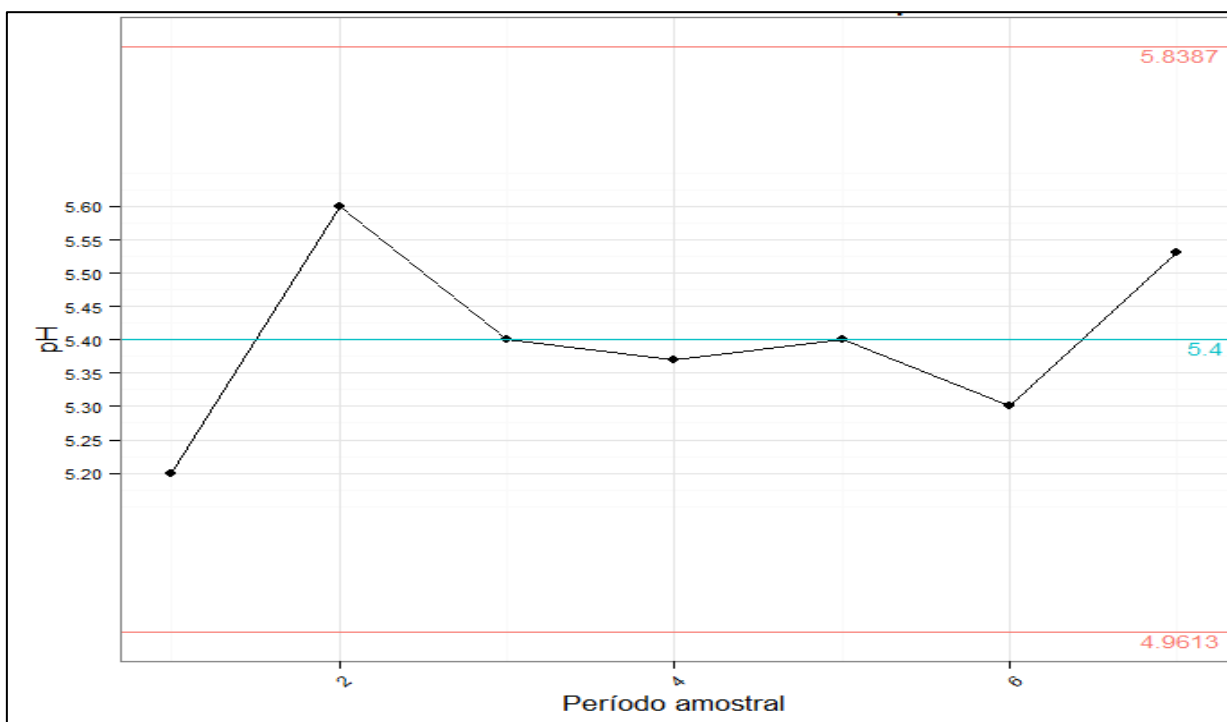


Figura 42 - Gráfico de medida individual de Shewhart - pH - EFQ
Fonte: Autoria própria, 2020.

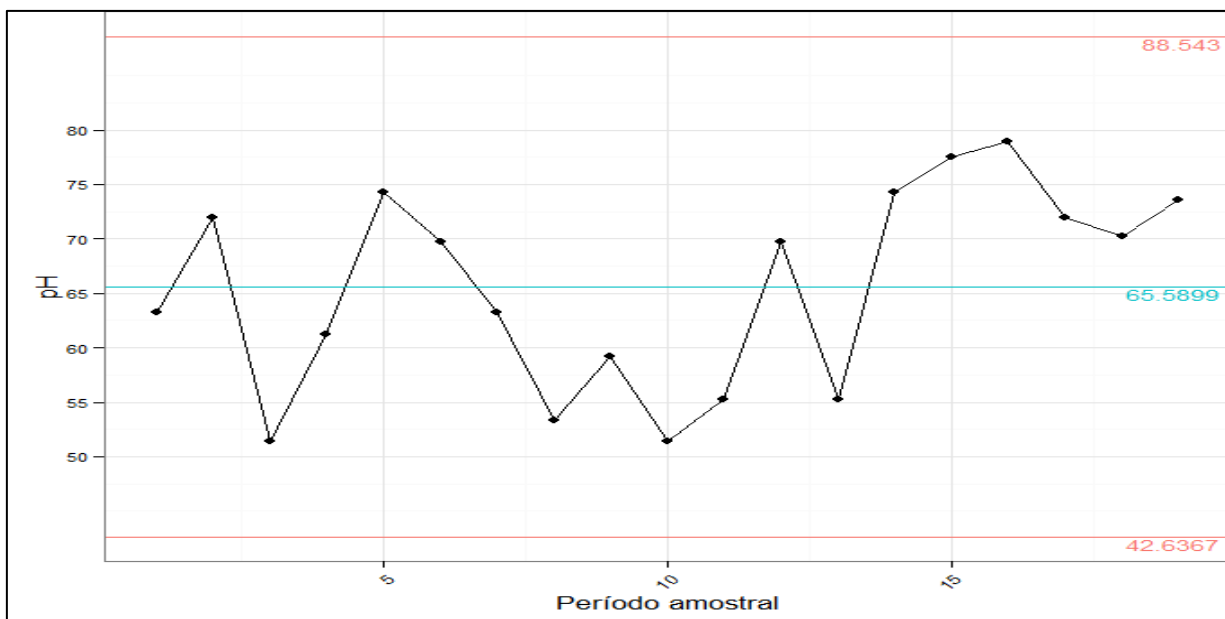


Figura 43 - Gráfico de medida individual de Shewhart - pH - EF
 Fonte: Autoria própria, 2020.

O pH para os pontos EFQ e EF (Figuras 42 e 43) encontram-se em controle estatístico de processo, pois não apresentam nenhum ponto fora de controle e comportamento descrito pelas regras adotadas neste trabalho. Os pontos de tratamento EFQ e EF precisam ter os pH controlados. O tratamento físico-químico exige uma faixa de pH para eficiência do processo de coagulação, quando o efluente entra com valores diferentes do desejado é necessário realizar uma correção até a faixa adequada para a efetivação do coagulante. No EF a coleta é precedida de um tratamento biológico, cujo pH é um parâmetro importante para a saúde da fauna microbológica. Portanto é um parâmetro que necessita de um acompanhamento para regular para gerir com confiabilidade o processo de tratamento de efluentes, como o CEP, já que nos pontos EFQ e EF é uma variável essencial na qual assegura a qualidade da ETE.

5.3.4.2 2 Média Móvel exponencial ponderada – pH

As Figuras 44,45 e 46 representam os pontos EB, EFQ e EF para o parâmetro pH.

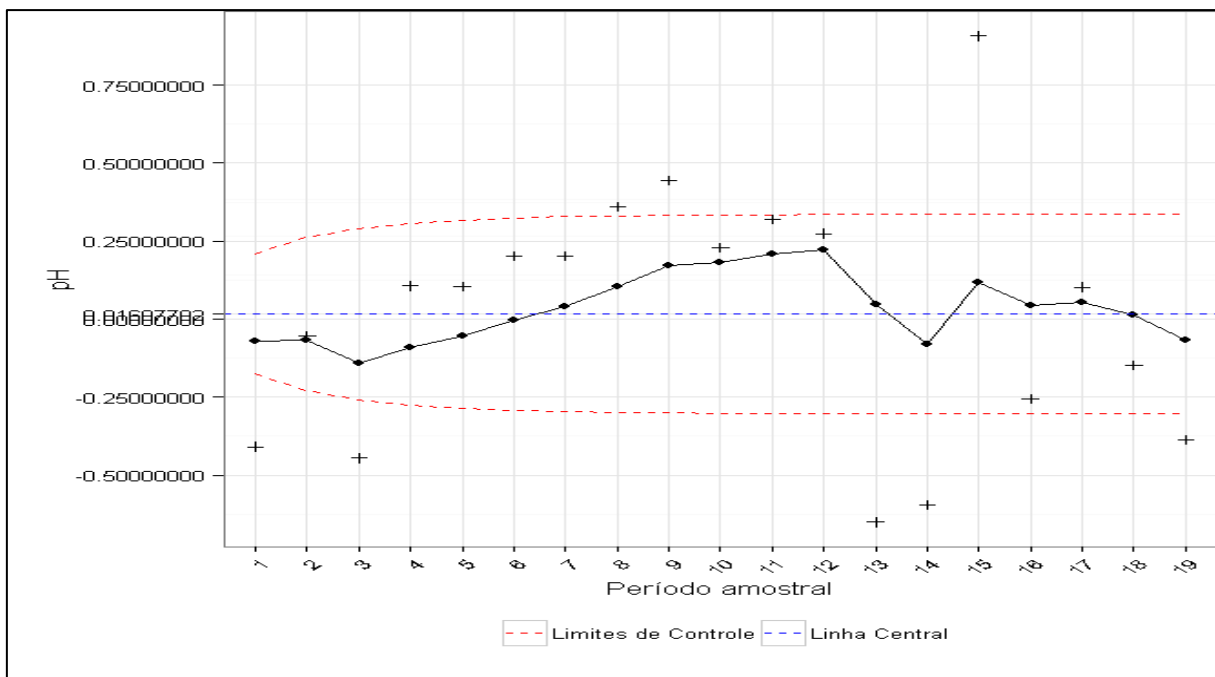


Figura 44 - Gráfico MMEP - pH - EB

Fonte: Autoria própria, 2020.

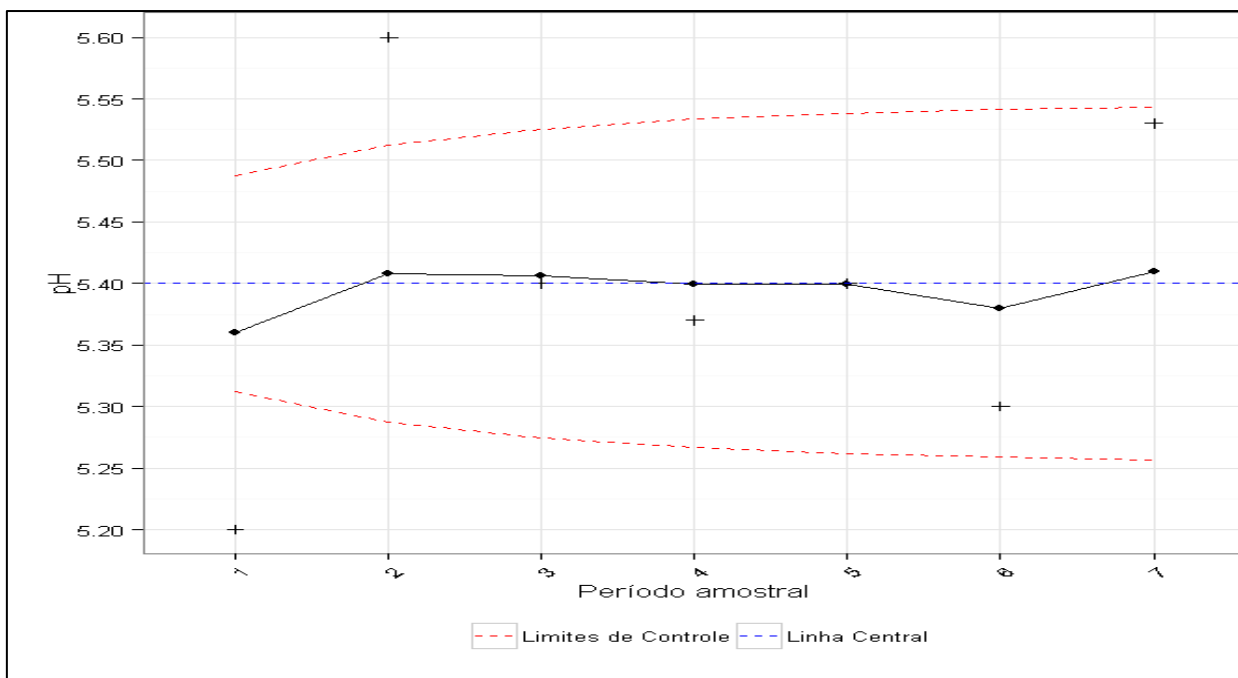


Figura 45 - Gráfico MMEP - pH - EFQ

Fonte: Autoria própria, 2020.

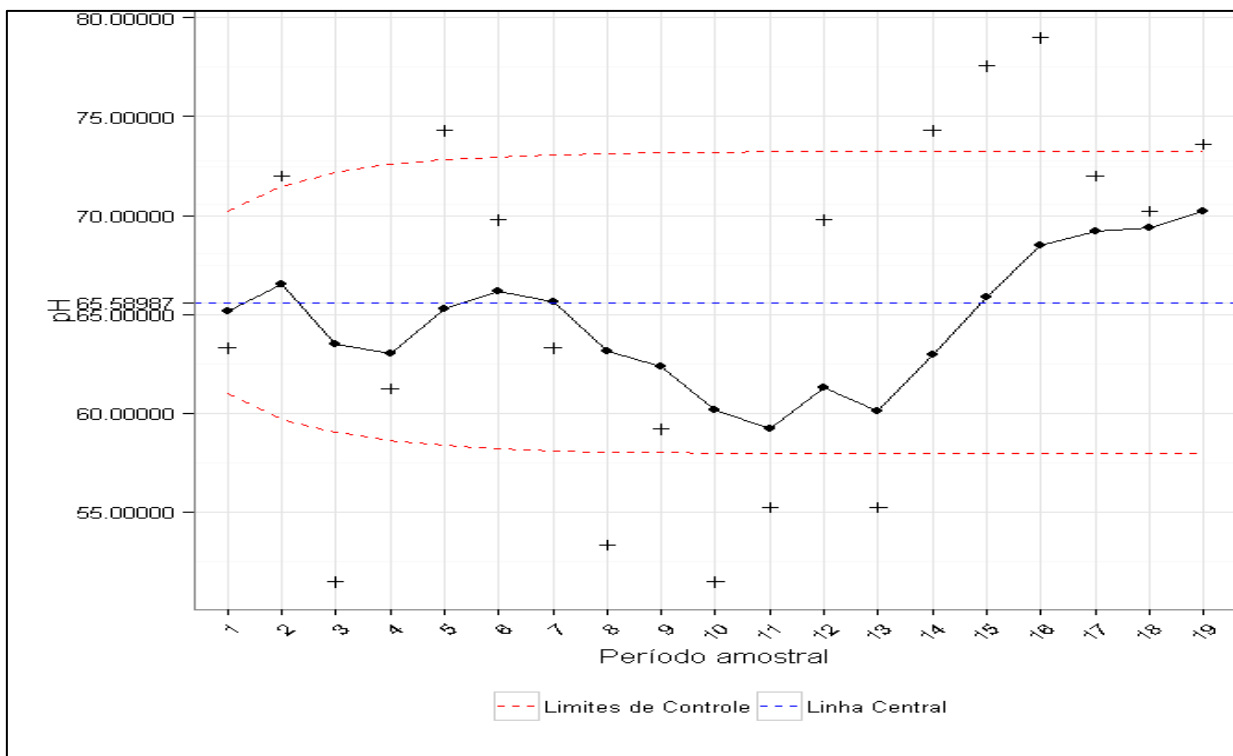


Figura 46 - Gráfico MMEP- pH – EF
Fonte: Autoria própria, 2020.

Os gráficos de MMEP (Figuras 44, 45 e 46) para a variável pH estão sob controle estatístico de processo nos três pontos analisados EB, EFQ e EF, pois todos os períodos amostrais encontram-se dentro da área delimitada pelo gráfico.

O ponto EB demonstrado pela Figura 44 apresenta uma tendência de subida, do período amostral 3 a 8, o que pode indicar uma futura falta de controle no processo. Ao verificar esta tendência, o analista deve verificar e tomar ações corretivas antes que o processo tenha se comprometido e traga danos a ETE. Como já justificado para o gráfico de Shewhart, esta tendência é relacionada a variação das características do efluente recebido.

O ponto EF nos dois tipos de gráficos (Figuras 43 e 46) apresentou uma variável estável e previsível em todos os meses analisados que se enquadraram dentro dos limites estabelecidos pela legislação federal, estadual e a outorga de lançamento.

5.3.5 Resumo dos resultados dos gráficos de controle.

Na Tabela 10 encontra-se o resumo dos resultados obtidos nas Figuras 23, 24, 25, 29, 30,31, 35, 36, 37, 41, 42, 43 de medida individual de Shewhart, para os três pontos avaliados EB, EFQ e EF.

Tabela 10 - Resumo dos resultados obtidos nas Figuras 23, 24, 25, 29, 30,31, 35, 36, 37, 41, 42, 43 de medida individual de Shewhart.

Variável	EB	EFQ	EF
DBO _{5,20}	C	C	C
DQO	C	C	F
P	F	C	C
Ph	F	C	C

C – Sob controle estatístico F – fora de controle estatístico

Fonte: Aatoria própria, 2020.

A Tabela 11 apresenta o resumo dos resultados obtidos nas Figuras 26, 27, 28, 32, 33, 34, 38, 39, 40, 44, 45 e 46 de média móvel exponencial ponderada, para os três pontos avaliados.

Tabela 11 – Resumo dos resultados obtidos nas Figuras 26, 27, 28, 32, 33, 34, 38, 39, 40, 44, 45 e 46 de MMEP

Variável	EB	EFQ	EF
DBO _{5,20}	C	C	F
DQO	C	C	F
P	C	C	F
Ph	C	C	C

C – Sob controle estatístico F – fora de controle estatístico

Fonte: Aatoria própria, 2020.

O EB é o ponto de recebimento do efluente da fábrica, sendo assim, a série histórica de dados são instáveis devido à grande variabilidade das concentrações dos parâmetros, que estão relacionadas a diversos fatores não controláveis (produção, operação, dia de limpeza, etc). Como os gráficos de Shewhart são indicados para identificar mudanças bruscas no processo o gráfico de medida individual de Shewhart se mostrou mais eficiente para avaliar as variáveis do EB.

Já o EFQ, se mostrou em controle estatístico para todas as variáveis em ambos modelos de gráfico, não sendo possível identificar qual gráfico melhor interpreta este ponto. Este fato pode ser atribuído a pequena quantidade de dados coletados (8 dados), sendo assim, não é possível utilizar com confiabilidade as regras adotadas nesta pesquisa.

Analisando as regras e a quantidade de dados do ponto EFQ, temos que para que a etapa de tratamento considerada sai fora de controle pelas regras b e d é necessário apresentar uma quantidade de pontos superior à dos dados coletados (9 e 14 respectivamente). Já pela regra b, utiliza-se 6 pontos para caracterizar fora de controle e as cartas foram confeccionadas com apenas 8 dados, portanto se torna uma margem de dados pequena para avaliar de acordo com a regra b. Sendo assim, ressalta-se a importância da quantidade de dados analisadas e das regras utilizadas para conseguir identificar com credibilidade a variação no comportamento do processo.

Assim a análise do ponto EFQ tornou-se ineficiente perante a pequena longevidade de dados utilizadas para a confecção dos gráficos de controle. Deste modo, sugere-se uma nova análise com um maior número de dados.

Já no EF, o gráfico que melhor se adapta é o de média móvel exponencial ponderada. Como no EF o efluente já passou por todo o tratamento da ETE, já está apto para disposição final, portanto as concentrações dos parâmetros avaliados devem ser baixas e pouco variáveis, sendo melhor interpretadas por um gráfico sensível como o MMEP.

O CEP apresentou uma boa alternativa para realizar a gestão da ETE. Por meio deles é possível monitorar e garantir uma maior estabilidade das etapas do processo de tratamento de efluente. No entanto, os dados utilizados são de amostras mensais, sugere-se a utilização das cartas em períodos menores de tempo, para ter uma descrição diária do processo, sendo mais fácil e confiável de tomar medidas corretivas na estação.

Orssato (2010), utilizou o CEP para avaliar uma estação de tratamento de esgoto e identificou que os gráficos de medida individual de Shewhart são uma boa alternativa para o controle estatístico de processo na estação de tratamento de esgoto. Já as MMEP se mostraram menos eficientes, devido ao longo período de coleta de dados.

5.4 Índice de capacidade de processo

Na Tabela 12 está disposto o índice de capacidade de processo para as variáveis analisadas do EF.

Tabela 12 - Valores do índice de capacidade de processo.

	DBO_{5,20}	DQO	P	pH
CP	1,39	1,07	0,27	1,27

Para a DBO_{5,20} o CP > 1,33, portanto um processo potencialmente capaz de tratar o efluente e deixa-lo com carga menor que 48 mg.L⁻¹, como já era previsto, pois quase todas as concentrações de DBO_{5,20} obtidas no período estudado, foram capazes de atender o limite de especificação.

A DQO apresentou um CP de 1,07, o que a caracteriza como um processo aceitável ou relativamente capaz, ou seja, a estação de tratamento é capaz de lançar efluentes atendendo os limites de DQO especificados.

Em relação a remoção de matéria orgânica, a estação apresentou desempenho satisfatório, pois os dois indicadores apresentaram uma CP > 1,0. Isso demonstra que a ETE é capaz de produzir efluente finais com DQO e DBO_{5,20} dentro dos limites solicitados na legislação e na outorga de lançamento.

A variável fósforo, demonstrou que não é capaz de atender os limites de especificações, uma vez que a CP ficou abaixo de 1,0.

Analisando o CP do pH, conclui-se que esta variável é capaz de atender os limites de especificação, já que seu índice de capacidade de processo ficou acima de 1,0. Ou seja, a ETE tem a capacidade de produzir efluentes com um pH entre 5 e 9.

6 Conclusão

A estatística descritiva foi eficiente para a visualização da distribuição dos dados, nas quais ajudam a compreender os gráficos do CEP.

A ETE se mostrou estável quanto a remoção dos parâmetros avaliados, sendo que a DQO e DBO_{5,20} apresentaram eficiência de remoção superior a 99% e o fósforo 96%.

A série histórica dos dados do efluente bruto apresentam elevada variação, sendo assim, o gráfico mais indicado para a avaliação é o de medida individual de Shewhart, pois ele detecta variações bruscas.

A quantidade de dados coletados interferiu na análise de gráficos a etapa de EFQ, pois houve pontos em que se a série de dados fosse maior, provavelmente estariam fora de controle estatístico. É importante que o analista estipule um número de dados que melhor defina o processo para otimizar a utilização do método de CEP.

O EF apresenta uma menor variabilidade de dados, pois as concentrações dos parâmetros avaliados são menores, portanto o gráfico de MMEP apresentou uma melhor descrição do comportamento da ETE, sendo o indicado para este ponto.

Os gráficos de controle estatístico de processo são de fácil interpretação, podendo ser uma ferramenta útil na avaliação diária da estação de tratamento e pode contribuir expressivamente para o melhoramento da qualidade e estabilidade da ETE.

O índice de capacidade (CP) de processo demonstrou que a ETE possui apenas a variável fósforo incapaz de atender os limites estipulados.

REFERÊNCIAS

ABREU, G. S. **Aplicação de gráficos de controle estatístico de processo para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água**. 2018. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Programa De Pós-Graduação Em Saneamento, Meio Ambiente E Recursos Hídricos, 2005. Disponível em <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1270M.PDF>> Acesso em: 28 jul 2019.

ANA. **Minuta de resolução de enquadramento - bacias do cinzas, itararé e paranapanema 1 e 2**. Agência Nacional das águas Paraná 2011.36 p Disponível em <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/Norte_pioneiro/minuta_resolucao_e_nquadramento_cbh_nortepioneiro.pdf> Acesso em: 15 jul 2019.

ANTWI, P. et al. **Estimation of biogas and methane yields in an UASB treating potato starch processing wastewater with backpropagation artificial neural network**. Bioresource Technology Volume 228, March 2017, Pages 106-115. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416317151>> Acesso em de jun de 2020.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: APHA; American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF). 2017. 1504 p.

ARCILA, Ramírez H.; PERALTA, Jhoan. J. Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. **Revista Facultad de Ciencias Básicas** v. 11, n. 2, p. 136-153, jul 2016. Disponível em <<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/document-1.pdf>>. Acesso em: 29 jul 2019.

ARSLAN A.; *et al.* Application of O3/UV/H2O2 oxidation and process optimization for treatment of potato chips manufacturing wastewater. **Water and Environment Journal**. CIWEM V.16, 2016. Disponível em http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/sevilv/sci/sevilv27.12.2016_15.52.45sci.pdf. Acesso em 28 set 2019.

BENSADOK, K.; BELKACEM, M.; NEZZAL, G. Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation. **Desalination**, v.206,

p.440-448, 2007. Disponível em:< Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation> Acesso em: 30 jul 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) **Resolução CONAMA Nº 357**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. 2005. p. 58-63. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso: 17 ago 20.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) **Resolução CONAMA Nº 430**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. 2011. 9 p. Disponível em:< <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso: 17 ago 20.

CARDOSO, Patrícia Regina da Silva. Informações sobre o Policloreto de Alumínio. Resposta Técnica produzida pelo Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas/SBRT06 de junho 2006. Disponível em < <http://.sbrt.ibict.br>> Acesso em 04 out 20.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 3. ed. São Paulo: Engenho, 2016.

CHEN, H.; CHEG, Y. Desingning X charts for know autocorrelations and unknow marginal distribution. **European Journaul of Operation Research**. V. 198, n. 1, p. 520-529, 2009. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221708007510>> Acesso em: 5 ago 19.

CHOI, J.; CHUNG, J.; LEE, W.; KIM, J. O. Phosphorous adsorption on synthesized magnetite in wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, [s.l.], v. 34, p.198- 203, fev. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X15005171?via%3Dihub#bib0140>> Acesso em: 04 out. 20.

DAO V. H.; *et al.* Synthesis, properties and performance of organic polymers employed in flocculation applications **Polym. Chem.**, v.7, 2016, p.11-25. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343718303105#bbib0045>> Acesso em 28 set 2019.

Dabestani S., Arcot J., Chen V. Protein recovery from potato processing water: pre-treatment and membrane fouling minimization **J. Food Eng.**, 195 (2017), pp. 85-96.

Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877416303363>> Acesso em 27 de Jun de 2020.

DIAS, Karine Marinho do Nascimento; GIORDANO, Gandhi. **Proposta de ferramenta estatística para controle de estações de tratamento de efluentes industriais**. Revista internacional de ciências, {S.I.}, v.10, n.1, p 56-72, abr.2020. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/341031983_PROPOSTA_DE_FERRAMENTA_ESTADISTICA_PARA_CONTROLE_DE_ESTACOES_DE_TRATAMENTO_DE_EFLUENTES_INDUSTRIAIS> Acesso em:18 jun 2019.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela Di Bernardo. Métodos e técnicas de tratamento de água. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 11, n. 2, p. 107, June 2006 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522006000200001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 Aug. 2020.

DUMAN O.; TUNÇ S. Propriedades eletrocinéticas e reológicas da Na-bentonita em algumas soluções eletrolíticas **Microporoso Mesoporoso Mater**. V.117, n.12, 2009 , p. 331 – 338. Disponível em <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-55749098641&origin=inward&txGid=a09112667ff9a90a72ece10806278ab2>. Acesso em 28 set 2019.

EPPRECHT, E. K. *et al*. Planejamento do controle estatístico de processos com baixa fração não conforme restrito a amostras pequenas. **Prod.**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 139-150, Apr. 2007. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010365132007000100010&lng=en&nrm=iso> Acesso em:3 ago 19.

FILHO, F., S S. ; MARGUTI, A. A.; PIVELI, R. P. Produção de lodo e comportamento químico de sais de ferro empregados no pós-tratamento de esgoto sanitário por precipitação química. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 49-58, Mar. 2009 . Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000100006&lng=en&nrm=iso Acesso em 28 set 2019.

GHERNAOUT, D.; NACEUR M. W; GHERNAOUT B. A Review of Electrocoagulation as a Coagulation Promoting Process for Enhanced Removal of Organic and Inorganic Issues by Electrophoresis and Electroflotation Water

Desalination Treatment v.28, p. 287 – 320, 201. Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5004/dwt.2011.1493>. Acesso em 28 set 2019.

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

HENNING, E. *et al.* Um Estudo para a Aplicação de Gráficos de Controle Estatístico de Processo em Indicadores de Qualidade da Água Potável. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 1, p. 2-13, 2014. Disponível em: <<http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/V9N1A1>> acesso em: 1 ago 19.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

JUÁREZ, M. C. *et al.* Oxidation of N-acetyl-para-aminophenol (acetaminophen) by a galvanic Fenton and solar galvanic Fenton processes. **Solar Energy** Volume 199, 15 March 2020, Pages 731-741. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20301973>> Acesso em: 25 de jun de 2020.

KOBYA, M., et. Al. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination**, v190, p 201–211. 2006. Disponível em <http://cel.webofknowledge.com/InboundService.do?customersID=atyponcel&smartRedirect=yes&mode=FullRecord&IsProductCode=Yes&product=CEL&Init=Yes&Func=Frame&action=retrieve&SrcApp=literatum&SrcAuth=atyponcel&SID=6B2dgpwqr52jPnXxJg3&UT=WOS%3A000237169800019>. Acesso em 28 set 2019.

LANDIM, J. F. C. **Caracterização e alternativas para melhoria operacional da estação de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia**. Viçosa, MG, 2014. Disponível em < <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/3829>> Acesso em: 18 jun 2019.

LEE C.S. , ROBINSON J. , CHONG M.F. A review on application of flocculants in wastewater treatment **Process Saf. Environ.** V. 92, p 489-508, 2014. Disponível em <<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85027918751&origin=inward&txGid=3ab86a37b51f79f0c84a823e912f2d50>>. Acesso em 29 set 2019.

LIMA, G. J. de A. Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2007.

LUNET, N.; SEVERO, M.; BARROS, H.; Desvio Padrão ou Erro Padrão. **Arq Med**, v.20, p. 55-59, 2006. Disponível em <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/am/v20n1-2/v20n1-2a08.pdf>> Acesso em 25 de jun de 2020

MANGRICH, A. S. *et al.* Green chemistry in water treatment: use of coagulant derived from *Acacia mearnsii* tannin extracts. **Revista Virtual de Química**, v.6, n.1, 2014. Disponível em : https://www.researchgate.net/publication/269655033_Green_Chemistry_in_Water_Treatment_Use_of_Coagulant_Derived_from_Acacia_mearnsii_Tannin_Extracts. Acesso em: 18 jun 2020.

MAURER, M.; BOLLER, M. Modelling of phosphorus precipitation in wastewater treatment plants with enhanced biological phosphorus removal. *Water Science and Technology*, v. 39, p. 147-163. 1999.

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

MIOT, H A., Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais **J Vasc Bras**. V. 16, n. 2, p. 88-91, 2017. Disponível em < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5915855/>> Acesso em: 06 ago 19.

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

MONTGOMERY **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. Tradução Farias, A. M. L., Flores, V. R. L.F., Laurenceu, L. C. 4ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2004.

MONTGOMERY **Introduction to Statistical Quality Control**. 6th. ed. New York: John Wiley and Sons, Inc., 2009

MOUSSA, D. *et al.*, A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. **Journal of Environmental Management** Volume 186, Parte 1, 15 de janeiro de 2017, páginas 24-41. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716308106>> acesso em: 08 jun 2020.

NUNES, J. A.; **Tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. Aracajú: J. Andrade, 2012.

NARDI, I. R. *et al* . Análise de séries temporais na operação de sistema de tratamento de águas residuárias de abatedouro de frango. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 339-346, Dec. 2005. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S14134152200500040010&lng=en&nrm=iso .Acesso em 27 set 2019

ORSSATO, Fábio **Monitoramento de uma estação de esgoto por meio de técnicas estatísticas de controle de qualidade** . Dissertação de mestrado. 103 paginas unioeste 2010.

ORSSATTO, Fábio; BOAS, Márcio V.; EYNG, Eduardo. Gráfico de controle da média móvel exponencialmente ponderada: aplicação na operação e monitoramento de uma estação de tratamento de esgoto. **Eng Sanit Ambient**, v.20, n.4, out/dez 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n4/1413-4152-esa-20-04-00543.pdf>> acesso em: 22 jul 19.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo USP – 2001. Disponível em <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21012003-084719/publico/Pavanelli%2BG.pdf>> Acesso em 19 ago 19.

PEREIRA A. S. SUINAGA F. Sistema de produção da batata: Introdução e importância econômica. **Embrapa Hortaliças**, 2 ed jul 2016. Disponível em https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducao16_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=8803&p_r_p_-996514994_topicId=1301> Acesso em 06 ago 2019.

FERNANDES, Adalton M et al . Influência do fósforo na qualidade e produtividade de tubérculos de cultivares de batata de duplo propósito. **Hortic. Bras.**, Vitória da Conquista , v. 34, n. 3, p. 346-355, set. 2016 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362016000300346&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 22 ago. 2020.

SCHIMITT; D. M. F. **Tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios pelos processos combinados coagulação/floculação/ultrafiltração utilizando semente de moringa oleífera como coagulante**. 2011. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Toledo: Departamento de engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011.

SILVA, T.A. L. *et al.* Utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP) na Avaliação de uma Estação de Tratamento de Efluente Agroindustrial Silva. **Rev. Virtual Quim.**, v. 6, n. 2, 2014. Disponível em < <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/494>> Acesso em: 22 jun 19.

SOUZA, G, A. **Aplicação de gráficos de controle estatístico de processo para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água**. Dissertação de mestrado. UFMG 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-B9EK3Y>> Acesso em 20 jun 2020.

SPILLER, M. *et al.* Environmental impact of microbial protein from potato wastewater as feed ingredient: Comparative consequential life cycle assessment of three production systems and soybean meal. *Water Research* Volume 171, 15 March 2020, 115406. Disponível em< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135419311807#mmc1>> Acesso em: 27 de jun de 2020.

TANAC S.A. **Manual – TANFLOC SG**. Disponível em: <https://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT_TANFLOC_SL_PT_0.pdf> Acesso em 22 de Jul de 2019.

TORMAN, V. B. L; COSTER, R; RIBOLDI, J. Normality of variables: diagnosis methods and comparison of some nonparametric tests by simulation. **Rev HCPA**. 2012.

TRAN, P. *et al.* CUSUM control charts for the Coefficient of Variation with Measurement Errors **IFAC PapersOnLine** 52-13 (2019) 1884–1889. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319314612>> Acesso em 25 de Jun de 20.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2011.

VON SPERLING, M **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.

XU, Y. *et al.* **Method to predict key factors affecting lake eutrophication–A new approach based on Support Vector Regression model** Int. Biodeterior. Biodegradation. 2015. pp. 308-315. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830515000451>> Acesso em 28 de jun de 2020.

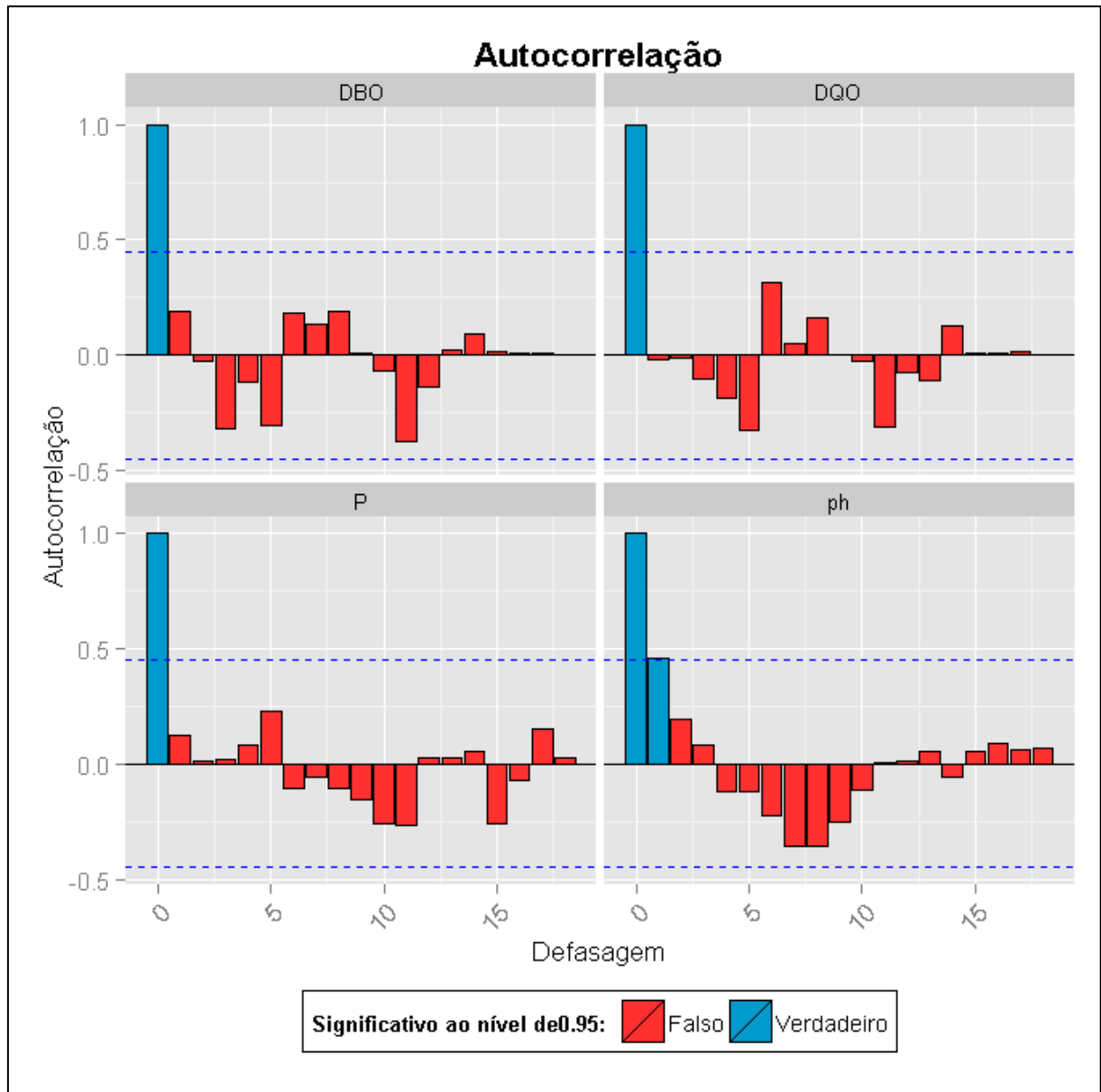
WEBER, P. D. **Aplicação de um reator anaeróbio de alta eficiência para o tratamento de efluentes de uma microdestilaria de álcool**. Tese de mestrado UFSM, Santa Maria 2012. Disponível em <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7966/WEBER%2c%20DIEGO%20POLONIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em 28 de jun 2020.

ZHOU,W.; *et al.* APPLICATION of water quality control charts to spring monitoring in karst terranes. **Environmental geology**. V53, n.6, p. 1311 – 1321, 2008. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/225663447_Application_of_water_quality> Acesso em 20 jun 2019

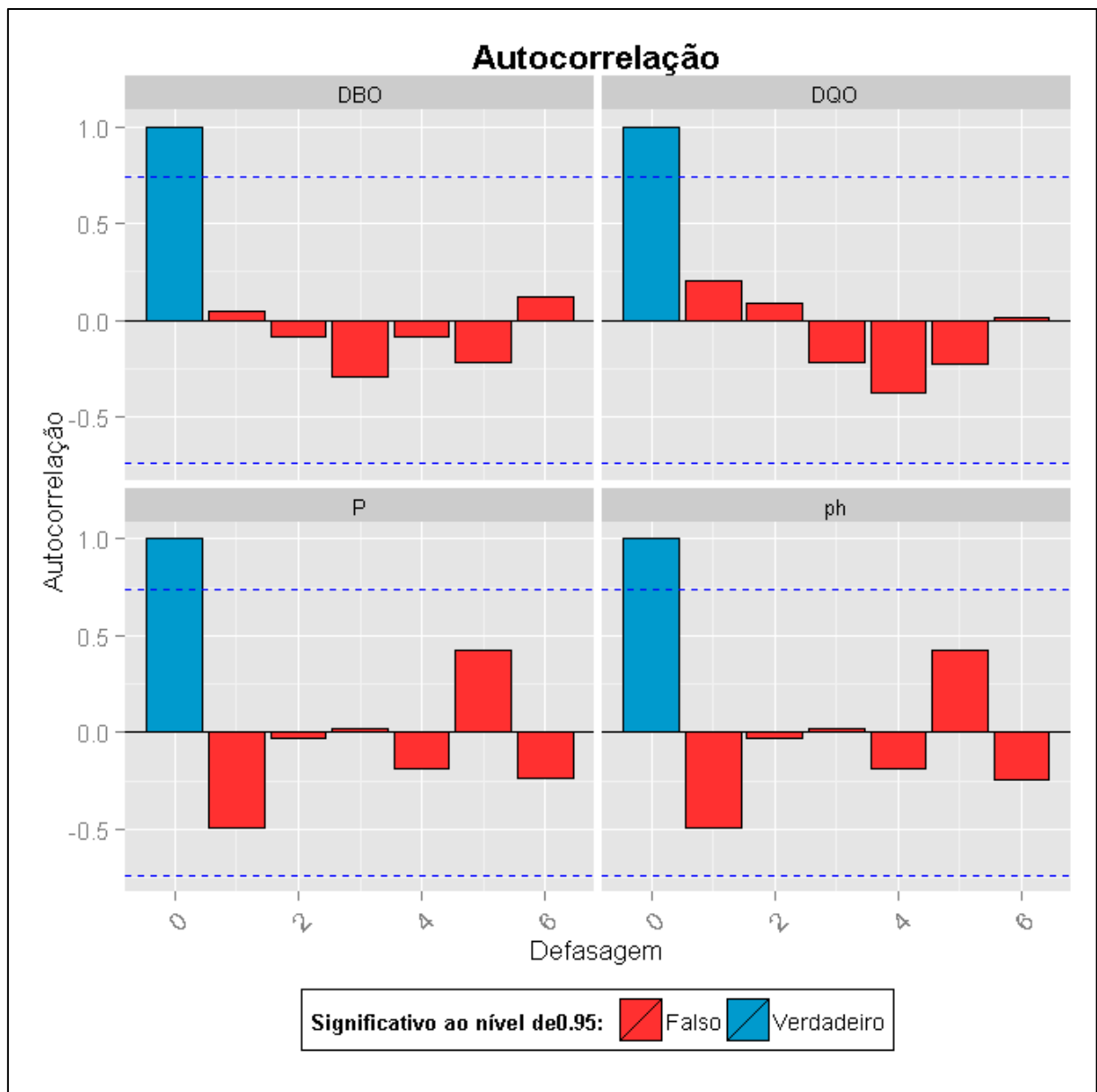
Anexo A – Dados

DBO _{5,20}			DQO			pH			pH		
EB	EFQ	EF	EB	EFQ	EF	EB	EFQ	EF	EB	EFQ	EF
2839	1233	109	6195	2198	221	30	2,74	0,272	6,82	5,2	7,6
4146	28,9	75,6	10460	93	250	40,4	42,3	0,0005	7	5,6	8
950	605	2,3	4145	1960	15	6,5	2,48	1,82	6,7	5,4	7
1950	881	1,7	4940	1730	15	27,1	2,35	0,21	7,1	5,37	7,5
3780	1190	3,1	7830	2520	15	25,4	2	1,18	7,3	5,4	8,1
10200	1190	1,7	13700	2520	15	27,4	2	0,184	7,5	5,4	7,9
3288	1020	10,2	6420	3.210	32	26,2	3,01	0,09	7,6	5,3	7,6
6264	1220	2,8	16350	2.850	15	11	4,06	0,005	7,81	5,53	7,1
4253	*	4,4	6630	*	15	19,8	*	0,005	8	*	7,4
2858	*	16,9	5060	*	50	20,1	*	0,091	7,88	*	7
2692	*	8,7	7880	*	39	22,7	*	0,005	7,91	*	7,2
4699	*	11,8	9590	*	56	27,5	*	0,237	7,88	*	7,9
3480	*	5	6470	*	53,1	28,7	*	2	6,94	*	7,2
8580	*	3	22900	*	33,1	36,1	*	1	6,52	*	8,1
6080	*	3	9670	*	23,7	30,6	*	1	7,81	*	8,24
3670	*	3	12100	*	21,8	27,1	*	1	7,3	*	8,3
2480	*	3	6070	*	18,3	21,7	*	1	7,4	*	8
3300	*	3	6260	*	26,2	44,3	*	1	7,2	*	7,92
3795	*	3	7400	*	39,8	43,1	*	1	6,86	*	8,07

ANEXO B – Teste de autocorrelação do EB



ANEXO C – Gráfico de autocorrelação do EFQ



Anexo D – Gráficos de autocorrelação do EF

