



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MONITORAMENTO DE ETE E AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE
ANAERÓBIA DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

Lucas Romeiro da Silva

GARANHUNS

2018

Lucas Romeiro da Silva

**MONITORAMENTO DE ETE E AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE
ANAERÓBIA DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito do Curso de Engenharia de Alimentos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. André Felipe de Melo Sales Santos

GARANHUNS

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Ariano Suassuna, Garanhuns-PE, Brasil

S586m Silva, Lucas Romeiro da

Monitoramento de ETE e avaliação da tratabilidade anaeróbia
do efluente de uma indústria de bebidas / Lucas Romero da
Silva. – 2018.

72 f. : il.

Orientador: André Felipe de Melo Sales Santos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Engenharia
de Alimentos)–Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Departamento de Engenharia de Alimentos, Garanhuns, BR -
PE, 2018.

Inclui referências e apêndices

1. Resíduos industriais
2. Bebidas alcoólicas – indústria
3. Águas residuais - purificação. I. Santos, André Felipe de Melo Sales, orient. II. Título

CDD 628.1

LUCAS ROMEIRO DA SILVA

**MONITORAMENTO DE ETE E AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE
ANAERÓBIA DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

Aprovado em: 22/08/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Felipe de Melo Sales Santos
Unidade Acadêmica de Garanhuns - UFRPE
(Orientador)

Prof. M.e Francisco Resende de Albuquerque
Unidade Federal de Pernambuco – UFRPE
(Examinador)

Profa. Dra. Vilma Barbosa da Silva Araújo
Unidade Acadêmica do Garanhuns - UFRPE
(Examinador)

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que conquistei.

Ao Professor André Felipe de Melo Sales Santos pela orientação deste trabalho e pela ajuda, suporte, compreensão e empenho que sempre demonstrou sem o qual a conclusão trabalho não teria sido possível.

A Indústria de Bebidas Garanhuns – Produtos Jatobá pelos fornecimentos de dados e amostras de efluentes, o que possibilitou a realização deste trabalho, em especial a pessoa do Químico Industrial Leandro Santos, que tornou possível esse vínculo.

Aos meus pais Luiz Carlos e Rosângela Romeiro pelo amor, conselhos, apoio incondicional, por serem a base fundamental para o meu desenvolvimento.

As minhas tias Graça Oliveira e Roberta Romeiro, minha vó Maria de Lourdes, meus primos Pâmela e José Gutierry, por me apoiarem durante minha trajetória, me incentivando a sempre continuar perseguindo os meus objetivos.

Aos parceiros de laboratório Juliana, Gustavo, Venâncio, Anderson, Vinicius e Maria Carolina pela ajuda e contribuições dadas a este trabalho.

As companheiras de sala Elizane, Fernanda, Mariana, Raiane e Vitória que me acompanharam durante essa jornada, pessoas com um futuro brilhante as quais me orgulho de telas como amigas.

Aos professores do curso de Engenharia de Alimentos da UFRPE/UAG pelo conhecimento e ensinamentos compartilhados.

A todos que fizeram, direta ou indiretamente, parte da minha formação, o meu muito obrigado.

DEDICATORIA

Dedico este trabalho a toda minha família e amigos que me apoiaram e me incentivaram durante o decorrer do curso.

RESUMO

A água é um recurso utilizado de forma abundante nos processos de obtenção de alimentos, desde a lavoura até mesa do consumidor final. Contudo, o rápido crescimento populacional e o aumento do padrão de consumo da sociedade nas últimas décadas fez-se aumentar o consumo de alimentos que demandam de muita água para sua produção, acentuando os problemas relacionados à geração de efluentes. As indústrias de bebidas desatacam-se nesse sentido, sendo considerada uma das tipologias industriais com maior coeficiente de extração de água da indústria alimentícia. Os efluentes gerados por setor apresentam, em geral, alta concentração de matéria orgânica oriunda dos processos de produtivos, conferindo assim uma alta biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia a esse efluente. Diante disso, este trabalho objetivou avaliar os dados históricos do monitoramento de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de bebidas, bem como avaliar a tratabilidade anaeróbia do efluente real de uma indústria de bebidas utilizando um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB). Para isso foi realizada uma pesquisa de campo em uma indústria de bebidas, a fim de caracterizar o seu processo produtivo e fontes de gerações de efluentes. A avaliação do monitoramento da ETE ocorreu através da análise dos dados de cinco anos de monitoramento cedidos pela própria indústria de bebidas estudada, sendo avaliados os parâmetros de DQO, DBO, pH, temperatura, SSS, SST e óleos e graxas quanto ao enquadramento as legislações ambientais aplicáveis. A tratabilidade anaeróbia foi avaliada a partir da construção de um sistema experimental constituído de um reator UASB utilizado no tratamento do efluente real da indústria de bebidas durante 20 dias. Foram analisados os parâmetros de DQO, pH, SDT, temperatura, condutividade, alcalinidade e AGV. Para realização das análises estatísticas, elaboração de gráficos (Boxplot e dispersão) e tabelas foi utilizado o programa EXCEL®. A pesquisa de campo realizada constatou a presença de compostos bioativos no efluente produzido pela indústria de bebidas, sendo obtidos a partir da produção de bebidas alcoólicas de gengibre e jurubeba. A avaliação do monitoramento da ETE mostrou que a tecnologia aeróbia utilizada na estação foi escolhida corretamente, apresentando eficiência média de remoção de matéria orgânica de 84,20 % de DBO e 73,20% de DQO, com a produção de efluentes em especificação com as legislações aplicáveis. Já a tratabilidade anaeróbia do efluente, mostrou-se inviável, devido à presença de compostos antibióticos e recalcitrantes presentes nos efluentes provenientes dos processos de fabricação de bebida alcoólicas de Jurubeba e Gengibre, observando-se uma remoção média de 16,38% de DQO durante o processo.

Palavras chaves: Estação de Tratamento de Efluentes, Indústria de bebidas, Tratamento de efluentes, Tratamento anaeróbio, Reator UASB.

Abstract

Water is a resource largely used by the process of food production from farming to final consumer's table. However, rapid population growth and an increase in the consumption pattern of society in last decades increased the consumption of foods that require a lot of water for their production, accentuating the problems related to effluents generation. The beverage industries stand out in this sense, being considered the industry with greater levels of water extraction in the food and drinking industry. The effluents generated by this sector have, in general, high concentration of organic matter from the productive processes, which gives a high aerobic and anaerobic biodegradability to this effluent. Considering this scenario, this work aimed to evaluate the historical data of the monitoring of a Wastewater Treatment Plant (WTP) of a beverage industry, as well as to evaluate the anaerobic treatability of the actual effluent of a beverage industry using an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor. For this, a field research was conducted in a beverage industry in order to characterize its production process and sources of generation of effluents. The evaluation of the monitoring of the WTP occurred through the analysis of the data of five years of monitoring provided by the beverage industry studied, and the parameters of COD, BOD, pH, temperature, SSS, SST and oils and greases were evaluated in relation to the legislation applicable. The anaerobic treatability was evaluated by the construction of an experimental system consisting of a UASB reactor used to treat the actual effluent from the beverage industry for 20 days. Statistical analyzes, graphs (Boxplot and dispersion) and tables were elaborated with the help of the EXCEL® program. The field research carried out verified the presence of bioactive compounds in the effluent produced by the beverage industry obtained from the production of alcoholic beverages of ginger and jurubeba. The evaluation of the WTP monitoring showed that the aerobic technology used at the station was correctly chosen, presenting average organic matter removal efficiency of 84.20% BOD and 73.20% COD, with the production of effluents in specification with the applicable laws. The anaerobic treatability of the effluent was not feasible due to the presence of antibiotic and recalcitrant compounds present in the effluents from the liquor production processes of Jurubeba and Ginger, with an average removal of 16.38% of COD during the process.

Keywords: Wastewater treatment plant, Beverage industry, Effluent treatment, Anaerobic treatment, UASB reactor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processos envolvidos no tratamento de efluentes.....	19
Figura 2 - Processos da digestão anaeróbia de macro moléculas.....	23
Figura 3 - Representação esquemática do UASB.....	27
Figura 4 - Fluxograma de tratamento da ETE da Indústria de Bebidas Garanhuns – Jatobá...33	
Figura 5 - Sistema reator UASB experimental.....	35
Figura 6 - Desenho do reator de manta de lodo UASB em centímetros.	36
Figura 7 - Lodo anaeróbio granular de alta atividade metânogénica utilizado na inoculação do reator UASB.	37
Figura 8 - Vista aérea da Indústria de Bebidas Garanhuns - Produtos Jatobá.....	39
Figura 9 - Fluxograma simplificado do processo de produção de refrigerantes.	40
Figura 10 - Fluxograma simplificado do processo de produção de bebidas mistas.	41
Figura 11 - Comportamento da DQO durante o monitoramento da ETE.	43
Figura 12 - Comportamento da DBO durante o monitoramento da ETE.....	43
Figura 13 - <i>Boxplot</i> para a DQO do afluente e efluente da ETE.	44
Figura 14 - <i>Boxplot</i> para a DBO do afluente e efluente da ETE.	44
Figura 15 – <i>Boxplot</i> para a eficiência de remoção de DQO e DBO do afluente e efluente da ETE.....	45
Figura 16 – Comportamento do pH durante o monitoramento da ETE.	45
Figura 17 - <i>Boxplot</i> para o pH do afluente e efluente da ETE.....	46
Figura 18 - Comportamento da temperatura durante o monitoramento da ETE.....	47
Figura 19 - Comportamento dos SSS durante o monitoramento da ETE.....	47
Figura 20 - Comportamento dos SST durante o monitoramento da ETE.	48
Figura 21 - Comportamento dos óleos e graxas durante o monitoramento da ETE.....	49
Figura 22 - DQO do afluente e efluente do reator UASB.	51
Figura 23 - Temperatura do afluente e efluente do reator UASB.	52
Figura 24 - Temperaturas máximas e mínimas do laboratório.....	52
Figura 25 - Alcalinidade do afluente e efluente do reator UASB.	53
Figura 26 - AGV do afluente e efluente do reator UASB.	53
Figura 27 - pH do afluente e efluente do reator UASB.....	54
Figura 28 - Condutividade do afluente e efluente do reator UASB.	54
Figura 29 - STD do afluente e efluente do reator UASB.	55
Figura 30 - Turbidez do afluente e efluente do reator UASB.	55
Figura 31 – <i>Boxplot</i> da relação alcalinidade/AGV do efluente do reator UASB.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização de efluentes.....	18
Tabela 2 - Principais parâmetros operacionais de projeto do reator UASB.....	28
Tabela 3 - Classificação e categorias de bebidas.....	29
Tabela 4 - Análises de rotina do monitoramento do reator UASB.....	38
Tabela 5 - Composição média do efluente e afluente da ETE em relação aos parâmetros estudados.....	50
Tabela 6 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variância (C.V.) dos parâmetros analisados para o afluente e efluente do reator UASB.....	57
Tabela 7 - Alguns compostos presentes na Jurubeba e Gengibre e seus efeitos na digestão anaeróbia.....	58
Tabela 8 - Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte – Grupo 1 (DQO, DBO, pH).....	65
Tabela 9 - Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte – Grupo 2 (Temperatura e SST).....	67
Tabela 10 - Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte – Grupo 2 (SSS e Óleos e gorduras).....	68
Tabela 11 - Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas (DQO, Temperatura, pH e Condutividade).....	69
Tabela 12 - Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas (Turbidez, SDT, Alcalinidade e AGV).....	70
Tabela 13 - Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas (Vazão, TDH, Eficiência e Temperaturas máximas e mínimas).....	71

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

AF	Afluente
AGV	Ácidos graxos voláteis
C.V.	Coefficiente de variância
CHV	Carga hidráulica volumétrica
CIP	<i>Clean in Place</i> , Limpeza em local
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Carga orgânica volumétrica
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DS	Decantador secundário
EF	Efluente
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FAB	Filtro biológico aerado de fluxo ascendente
OD	Oxigênio Dissolvido
°GL	Graus Gay-Lussac
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Parte por milhão
PVC	Cloreto de polivinil
Q	Vazão
S	Concentração de substrato
SD	Sólidos decantáveis
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SSF	Sólidos solúveis fixos
SSS	Sólidos suspensos sedimentáveis
SST	Sólidos solúveis totais
SSV	Sólidos solúveis voláteis
ST	Sólidos totais
ST/L	Sólidos totais por litro
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico
UASB	<i>Upflow anaerobic sludge blanket reactor</i> , Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo
UFRPE/UAG	Universidade de Federal Rural Pernambuco Unidade Acadêmica de Garanhuns
v	Velocidade ascensional do fluxo
V	Volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CARACTERIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE EFLUENTES	16
2.2 TRATAMENTOS DE EFLUENTES: ETAPAS E CONCEPÇÕES	19
2.2.1 Tratamentos biológicos	20
2.2.1.1 Tratamentos aeróbios	21
2.2.1.2 Tratamentos anaeróbios	21
2.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA	22
2.3.1 Hidrólise	23
2.3.2 Acidogênese	23
2.3.3 Acetogênese	24
2.3.4. Metanogênese	24
2.3.5 Fatores interferentes a digestão anaeróbia	25
2.3.5.1 Temperatura	25
2.3.5.2 pH, alcalinidade e AGV	25
2.3.5.3 Nutrientes	26
2.3.5.4 Carga tóxica	26
2.4 REATOR UASB	26
2.4.1 Parâmetros operacionais	27
2.4.2 Inoculação e partida	28
2.4.3 Monitoramento do reator	28
2.5 INDÚSTRIA DE BEBIDAS	28
2.5.1 Geração de efluentes	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 LOCALIZAÇÃO DOS TRABALHOS	32
3.2 PESQUISA DE CAMPO	32
3.2 MONITORAMENTO DA ETE	33

3.2.1 Descrição da ETE _____	33
3.2.2 Levantamento de dados _____	34
3.3 AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE ANAERÓBIA DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS ____	34
3.3.1 Coleta do Efluente _____	34
3.3.2 Análises físico-químicas _____	34
3.3.3 Reator UASB experimental _____	35
3.3.4 Monitoramento _____	37
3.4 TRATAMENTO DOS DADOS _____	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO _____	39
4.1 PROCESSO PRODUTIVO _____	39
4.1.1 Produção de refrigerantes _____	39
4.1.2 Bebida alcoólica de gengibre e jurubeba _____	41
4.2 MONITORAMENTO DA ETE _____	42
4.2.1 DBO, DQO e pH – Grupo I _____	42
4.2.2 Temperatura, SST, SSS e óleos e graxas – Grupo II _____	46
4.2.3 Desempenho da ETE existente _____	49
4.3 TRATABILIDADE ANAERÓBIA DO EFLUENTE _____	50
4.3.1 DQO _____	50
4.3.3 Temperatura _____	51
4.3.4 Alcalinidade, AGV, pH, Condutividade, STD e Turbidez _____	52
4.3.4 Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente _____	56
5 CONCLUSÃO _____	59
6 REFERÊNCIAS _____	60
APÊNDICE A – Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte _____	65
APÊNDICE B – Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas _____	69

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos requer o fornecido de uma quantidade enorme de água, desde sua produção agrícola até a chegada do produto a mesa do consumidor final quantidades significativas desse recurso são utilizadas nos processos envolvidos. Todavia, grande parte do volume utilizado é devolvido ao meio ambiente como águas residuais, na forma de efluentes industriais e água de drenagem agrícola. A gestão inadequada das águas residuais geradas pode provocar grandes impactos aos ecossistemas e aos serviços de indústrias e outros setores, em função da contaminação de corpos hídricos, o que reduz a água disponível, tornando necessário seu tratamento e disposição adequada frente a crescente escassez de água (KONCAGÜL et al., 2017).

Diversas atividades indústrias relacionadas à produção de alimentos e bebidas tem vivenciado desafios quanto à utilização dos recursos hídricos disponíveis. No Brasil, a indústria de alimentos e bebidas é responsável por 45,9% de toda água retirada de corpos hídricos, superficiais e subterrâneos, para uso industrial (processos de fabricação e operações unitárias, bem como ingrediente). Contudo, cerca de 70% de toda água utilizada por essas indústrias é geralmente descartada na forma de efluentes, que se não tratados de maneira adequada produzem grandes prejuízos ao meio ambiente. Por consequente, a redução da utilização de água em seus processos produtivos e a aplicação de tratamentos de efluentes avançados para obtenção de águas de reuso tem sido adotada pelos principais setores alimentícios, na busca da redução do volume geral de água utilizada pela indústria da alimentação (ANA, 2017; BENNETT, 2014; CNI, 2017).

Dentre os setores que constituem a indústria alimentícia, as indústrias de bebidas apresentam o maior coeficiente de retirada de água, devido ao grande volume de produção e, sobretudo, as características dos seus produtos. Em geral, essas indústrias produzem efluentes com elevadas cargas orgânicas, principalmente as indústrias de refrigerantes, sucos e cervejas. Isso torna necessário o seu tratamento, em função da possibilidade da oxidação dos corpos receptores, o que ocasiona impactos ambientais severos. Contudo, a simplicidade do processo produtivo de alguns tipos de bebidas, pode fazer desse processo uma das etapas com maior participação nos custos totais de produção (ANA, 2017; CNI, 2017; CRUZ, 2007; HSINE; BENHAMMOU; PONS, 2005, PEIXOTO, 2008; SANTOS; RIBEIRO, 2005; WEBER, 2006).

A utilização de processos biológicos, aeróbios e anaeróbios, constitui o método de aplicação mais comum ao tratamento dos efluentes da indústria de bebidas, obtendo-se níveis elevados de remoção de compostos orgânicos, em termos de Demanda Biológica de Oxigênio

(DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Esses processos tem como principio a utilização de microrganismos para a estabilização da matéria orgânica dissolvida ou em suspensão nos efluentes, gerando uma biomassa (lodo) formada a partir da sedimentação de sólidos (flocos biológicos) no fundo dos reatores (CHEN; SENG; HUNG, 2005; GIORDANO, 2004).

Os processos aeróbios são empregados no tratamento de efluentes com espectro de carga orgânica variável, suportando certos níveis de mudança na carga orgânica aplicada durante o processo de tratamento. Todavia, a necessidade de fornecimento constante de energia e disposição final da grande quantidade de biomassa não estabilizada produzida aumenta os custos operacionais, representando uma desvantagem desses processos (CHEN; SENG; HUNG, 2005).

Os processos anaeróbios apresentam várias vantagens em relação aos aeróbios, como custo operacional menor, não é necessário suprimento de oxigênio, produção de biomassa estabilizada e biogás com valor comercial, menor produção de lodo, etc. O tratamento anaeróbio é um processo que ocorre na ausência de oxigênio livre, cuja ação de microrganismos de forma simbiótica estabiliza a matéria orgânica disponível produzindo um biogás formado de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Entretanto, esse tipo de tratamento geralmente não produz efluentes em acordo com a legislação, sendo necessário pós-tratamento (CHERNICHARO et al., 1999; LETTINGA, 1995).

Uma configuração que tem ganhado força vem ganhando força no tratamento de efluentes da indústria de bebidas, consiste na utilização de reatores anaeróbios seguido de pós-tratamento aeróbio. Esse tipo de configuração atinge aos padrões especificados nas legislações ambientais, com possibilidade de reuso, em certos casos quando em ausência de microrganismos patogênicos. Os reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) são comumente empregados nesse tipo de configuração, em razão do baixo custo de implantação, baixo consumo de energia, apresentando níveis satisfatórios de remoção de matéria orgânica em DBO e DQO (65-75%) (CHERNICHARO et al., 1999; SILVEIRA; PENAFORT; ALVES, 2007)

Diante do exposto, este trabalho pretende avaliar dados históricos do monitoramento da ETE de uma indústria de bebidas de pequeno porte, de concepção aeróbia, bem como, estudar a possibilidade do tratamento do efluente real de uma indústria de bebidas utilizando reator de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), em escala de laboratório.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar os dados históricos do monitoramento de efluente de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de bebidas, bem como, avaliar a possibilidade de tratamento do efluente industrial proveniente da produção de bebidas em um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), em escala de laboratório.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterização do processo produtivo da empresa (uso da água e geração de efluentes);
- Avaliar os dados históricos do monitoramento da qualidade do efluente da ETE;
- Analisar as características da ETE existente em adequação a qualidade do efluente;
- Avaliar a tratabilidade do efluente real da indústria em um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) em escala de laboratório.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterização e monitoramento de efluentes

O termo efluente¹ é usado para caracterizar os despejos provenientes de diversas atividades ou processos, possuindo cargas poluidoras² variáveis. Esses despejos devem receber tratamento adequado antes do lançamento em corpos receptores³, a fim de evitar prejuízos ao meio ambiente. Posto isso, as fontes geradoras de efluentes devem atender as condições e padrões de lançamento expressos nas legislações ambientais aplicáveis aos efluentes, de modo a não exceder a capacidade dos corpos receptores, sob as sanções previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 2011).

No Brasil, as Resoluções nº 357 de 17 de março de 2005 e nº 430, de 13 de maio de 2011, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), compõem as legislações aplicáveis aos efluentes, dispondo da classificação dos corpos de água, condições e padrões de lançamento de efluentes.

Os efluentes são constituídos por uma mistura complexa de poluentes orgânicos e inorgânicos, que podem estar presentes em diversas formas (matéria em estado de solução, coloidal e/ou suspensão). A determinação da composição dessa mistura através de métodos químicos convencionais, quantitativa e qualitativamente, demandaria muito tempo e teria um custo elevado. Dessa maneira, estipularam-se indicadores de poluição, determinados através de parâmetros globais, que possam servir como grandezas básicas para a medição do grau de poluição (DEZOTTI, 2008). Assim, o monitoramento de efluentes constará da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos, sendo possível a partir da avaliação de alguns parâmetros escolherem-se os tratamentos mais adequados a uma determinada situação, com vista a atender aos padrões exigidos pela legislação (VON SPERLING, 1996).

Os principais parâmetros físicos utilizados na análise dos efluentes são: temperatura (intensidade de calor), cor (causada por sólidos dissolvidos), odor (sensação olfativa) e turbidez (causada por sólidos suspensos). Já os parâmetros químicos, podem ser divididos em orgânicos e inorgânicos (VON SPERLING, 1996).

A avaliação da poluição orgânica dos efluentes pode ser determinada com base em indicadores de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda

¹Os termos águas residuais, águas residuárias ou esgotos, podem ser utilizados como sinônimos de efluentes.

²Quantidade de determinado poluente transportado ou lançado em um corpo de água receptor, expressa em unidade de massa por tempo (BRASIL, 2005).

³Corpo hídrico que recebe o lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

química de oxigênio (DQO), expressas em termos de mgO_2/L . Segundo Jordão e Pessoa (2009) esses indicadores podem ser definidos como:

- *Oxigênio dissolvido (OD)*: consiste na quantidade de oxigênio dissolvido na água, sendo vital para realização de processos de tratamento aeróbios;
- *Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)*: indica a quantidade de matéria orgânica presente em corpos d'água baseado na sua estabilização por via biológica. O método padrão para sua determinação consiste da comparação do OD do efluente coletado com o OD após a estabilização biológica da matéria orgânica passados 5 dias a 20°C , sendo expressa na forma de DBO_5 ;
- *Demanda química de oxigênio (DQO)*: indica a quantidade de matéria orgânica presente em corpos d'água baseada na sua estabilização química. A determinação da DQO é comumente utilizada frente à DBO_5 , em função da praticidade para sua determinação, obtendo-se resultados em poucas horas.

A relação DQO/DBO é utilizada na predição da biodegradabilidade da fração orgânica dos efluentes. Os valores típicos para essa relação situam-se entre 0,3 a 0,8 para esgotos brutos, sendo facilmente tratáveis por processos biológicos quando apresentam valores entre $0,5 < \text{DQO}/\text{DBO} < 2,5$. Valores abaixo de 0,3 podem indicar presença de compostos tóxicos, podendo ser necessário à utilização de microrganismos aclimatados para sua estabilização (METCALF; EDDY, 2015). Uma relação com valores entre $2,5 < \text{DQO}/\text{DBO} < 5$ indica um efluente moderadamente biodegradável (deve-se escolher atentamente o melhor processo com vista a atingir níveis de remoção expressos na legislação). Já um efluente com uma relação $\text{DQO}/\text{DBO} > 5$ não é indicado para tratamento utilizando processos biológicos, dever ser tratado por processos físico-químicos (JARDIM; CANELA, 2004).

Outros parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização de efluentes são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização de efluentes.

Parâmetros	Definição	Referências
Sólidos totais (ST)	Resíduo que remanesce após secagem total da amostra a temperatura determinada (103 a 105°C). Parte dos ST retidos em um filtro após ter secado a temperatura determinada (105°C). Os sólidos suspensos podem ainda se referir aos Sólidos	(METCALF; EDDY, 2015)
Sólidos suspensos totais (SST)	Suspensos Voláteis (SSV), sólidos que se volatilizam após os SST serem incinerados a 500°C, e Sólidos Suspensos Fixos, fração remanescente após os SST serem incinerados a 500°C.	(METCALF; EDDY, 2015)
Sólidos decantáveis (SD)	Sólidos separáveis através da decantação em cone de Imhoff no prazo de 60 ou 120 minutos.	(LEMOS; GOMES, 2008);
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	Sólidos, coloidais ou dissolvidos, contidos no filtrado que passam através de um filtro de poros $\leq 1,2 \mu\text{m}$.	(METCALF; EDDY, 2015)
Condutividade	Utilizado na determinação de troca iônica, expressa a quantidade total de sais. É uma medida de condutibilidade de corrente elétrica, relaciona-se com os SDT.	(METCALF; EDDY, 2015)
pH	Indicador de caráter ácido ou básico dos efluentes. Este parâmetro influencia diretamente nos processos de tratamento, no equilíbrio físico-químico e microbiológico do meio reacional.	(GIORDANO, 2004),
Alcalinidade	Capacidade da água em neutralizar os ácidos, sendo constituída, principalmente, por íons carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e hidróxido (OH^-).	(DEZOTTI, 2008)
Óleos e graxas	Matéria orgânica solúvel em hexanos.	(VON SPERLING, 1996)
Cor	Alteração na cor provocada por sólidos dissolvidos provenientes da decomposição de matéria orgânica e/ou ferro e manganês.	(VON SPERLING, 1996)
Turbidez	Medida que indica a intensidade de luz refletida de uma solução contendo partículas suspensas e coloidais.	(METCALF; EDDY, 2015)
Odor	Sensação olfativa proveniente de sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e gases dissolvidos, oriundos da decomposição de matéria orgânica pela ação de microrganismos.	(VON SPERLING, 1996)

Fonte: Autor, 2018.

A presença de poluentes inorgânicos em efluentes, como nitrogênio e fósforo, é um parâmetro a ser monitorado, em virtude do risco aos ecossistemas aquáticos. A presença em excesso desses macronutrientes resulta na eutrofização dos corpos receptores, processo caracterizado pelo grande desequilíbrio ecológico em corpos hídricos, reduzindo a quantidade de espécies aquáticas e favorecendo o desenvolvimento de organismos autotróficos, em especial macrófitas e fitoplânctons (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997). Esse processo provoca problemas estéticos, produção de toxinas (cianotoxinas excretadas por

cianobactérias), condições anaeróbias no fundo de cursos d'água e eleva os custos de tratamento, além de modificar a quantidade e qualidade dos peixes disponíveis (MOTA; VON SPERLING, 2009).

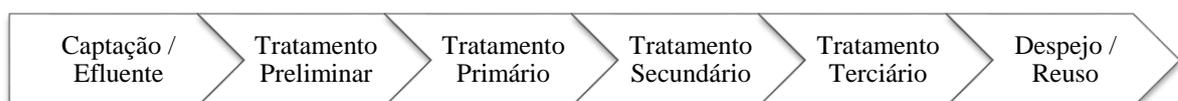
Os parâmetros biológicos estão relacionados à presença de microrganismos. Os microrganismos são responsáveis pela conversão da matéria orgânica e inorgânica nos processos de tratamento biológicos, entretanto, a presença de microrganismos patogênicos pode apresentar grandes riscos à saúde pública. Sendo assim, os microrganismos de interesse na análise de efluentes são bactérias, algas, fungos, protozoários, vírus e helmintos (VON SPERLING, 1996).

Outro ponto de extrema importância no monitoramento de efluentes está relacionado à coleta de amostras representativas. Em função da variabilidade dos efluentes, é importante coletar e conservar as amostras de maneira adequada. No caso de efluentes industriais, o conhecimento do processo é fundamental no planejamento da amostragem. Os tipos de amostragem mais comum são: amostras individuais, ou discretas, coletadas em um dado instante, refletindo assim as condições do momento; e as amostras compostas, várias amostras discretas coletadas em intervalos de tempo (DEZOTTI, 2008).

2.2 Tratamentos de efluentes: Etapas e concepções

Diversas operações unitárias são aplicadas no tratamento de efluentes objetivando reduzir a concentração de poluentes, adequando e possibilitando a sua disposição final sem riscos ao meio ambiente (FERREIRA, 2014). Os processos a serem empregados dependerão da natureza e características dos poluentes a serem removidos, bem como, custo financeiro e qualidade final desejada. De maneira geral, a estação de tratamento de efluentes é tradicionalmente composta de tratamento preliminar (ou pré-tratamento), tratamento primário, tratamento secundário e/ou tratamento terciário (ou avançado, polimento) (Figura 1), sendo os processos utilizados divididos em físicos, químicos e biológicos (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

Figura 1 - Processos envolvidos no tratamento de efluentes.



Fonte: Adaptado de CARMANATI (2016).

O pré-tratamento consiste na retirada de sólidos grosseiros, sendo composto por processos físicos como, por exemplo, gradeamento, desarenadores (remoção de areia) e caixas de gordura comum (remoção de gorduras em estado líquido) (MACHADO; SILVA; FREIRE, 2001). Essa etapa é realizada com o intuito de proteger o conjunto de bombas e tubulações, facilitando o transporte do líquido para as etapas seguintes. O tratamento primário é similar ao pré-tratamento, contudo este visa à remoção de matéria orgânica em suspensão, sólidos sedimentáveis em suspensão (SSS), óleos e graxas, removendo cerca de 30% da DBO. Os principais processos físico-químicos utilizados nessa etapa são: decantação primária, precipitação química, flotação e neutralização (FERREIRA, 2007; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

O tratamento secundário é a etapa principal do processo de tratamento, removendo a matéria orgânica dissolvida através de sua oxidação (o que reduz a DBO a aproximadamente 10% da concentração do efluente bruto), bem como, possível remoção de nutrientes (matéria inorgânica). Essa etapa usualmente envolve o emprego de processos biológicos, devido a grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável e aos altos custos dos processos físico-químicos (CARMANATI, 2016; MACHADO; SILVA; FREIRE, 2001; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

A remoção de metais pesados, patógenos, compostos recalcitrantes ou nutrientes (remanescentes da etapa anterior) acontece no tratamento terciário, e é aplicado quando se deseja alcançar níveis de pureza mais elevados (CARMANATI, 2016). Os processos utilizados nessa etapa envolvem a utilização de adsorção de carvão ativo, osmose inversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química, remoção de organismos patogênicos, entre outros processos existentes (FERREIRA, 2007).

Em geral, os processos biológicos constituem os principais tratamentos utilizados pelas indústrias de bebidas em função do grande volume de efluente produzido altamente biodegradável (CRUZ, 2007; WEBER, 2006).

2.2.1 Tratamentos biológicos

O lançamento de material orgânico em corpos d'água ocasiona a redução do oxigênio dissolvido na água, através de processos oxidativos, provocando a morte por asfixia de espécies aquáticas, além de gerar odores e problemas estéticos (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

A retirada dessa matéria orgânica envolve processos biológicos de ocorrência natural em corpos hídricos, cuja intensidade depende da disponibilidade de energia, microbiota e

substrato. A degradação da matéria orgânica é consequência dos processos metabólicos, anabolismo (crescimento) e catabolismo (obtenção de energia), dos microrganismos, que transformam matéria carbonácea, nutrientes e composto essenciais em biomassa e composto inorgânicos (H_2O , CO_2 e N_2). A remoção biológica ocorre por via oxidativa, através de um agente oxidante, ou acceptor de elétrons (Ex.: oxigênio, nitrato ou nitrito), sendo selecionado em virtude da maior energia produzida (rendimento celular). Sendo assim, em meios onde há oxigênio dissolvido (meio aeróbio), este é consumido preferencialmente em detrimento dos compostos nitrogenados e outros aceptores de elétrons. A ausência de oxigênio dissolvido caracteriza o meio anaeróbio, cuja remoção de matéria orgânica não requer fornecimento de oxigênio molecular (CARMANATI, 2016).

Na indústria de bebidas os processos aeróbios são utilizados em combinação com os anaeróbios, como pós-tratamento, possuindo melhor desempenho no tratamento de efluentes com moderada concentração de matéria orgânica ($<2000mgO_2/L$ de DQO), eliminando nutrientes remanescentes de tratamentos anteriores. Já os tratamentos anaeróbios são utilizados no tratamento de efluentes mais concentrados em termos de matéria orgânica ($>2000mgO_2/L$ de DQO), necessitando, via de regra, de pós-tratamento aeróbio (RODRIGUES et al., 2006).

2.2.1.1 Tratamentos aeróbios

O processo do tratamento aeróbio baseia-se na utilização de microrganismos (bactérias, fungos, protozoários, etc.) que necessitam de oxigênio molecular na conversão de compostos indesejáveis em biomassa. Os principais tipos de tratamentos aeróbios utilizados no tratamento de efluentes pela indústria de bebidas são as lagoas aeradas e sistemas de lodos ativados. Contudo, o alto custo de implantação e a grande quantidade de lodo gerado constituem um inconveniente associado a esse tipo de tratamento (FREIRE et al., 2000). Em contra partida, os sistemas aeróbios apresentam elevada estabilidade operacional, eficiência satisfatória na remoção de nitrogênio (N) e fósforo (P), além das bactérias aeróbias poderem suportar uma vasta gama de compostos tóxicos, quando comparadas as anaeróbias (CHERNICHARO et al., 1999; VERSIANI, 2005).

2.2.1.2 Tratamentos anaeróbios

O tratamento anaeróbio é o processo realizado por microrganismos que degradam a matéria orgânica do efluente na ausência de oxigênio molecular. Esse processo é realizado em sua grande maioria por bactérias, que constituem a maioria na microfauna anaeróbia. Entre os

principais sistemas utilizados estão às lagoas anaeróbias, filtros anaeróbios, reatores de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), reatores compartimentados e reatores de leito expandido ou fluidizado (CRUZ, 2007).

Entre as vantagens desse tipo de tratamento estão o baixo custo de implantação e operação; produção de biogás; necessidade de pequena área para implantação e baixa geração de lodo (5-20% menor, quando comparado com processos aeróbios). Dessa forma, este tipo de tratamento é ideal para pequenas e médias indústrias (OLMI et al., 2015).

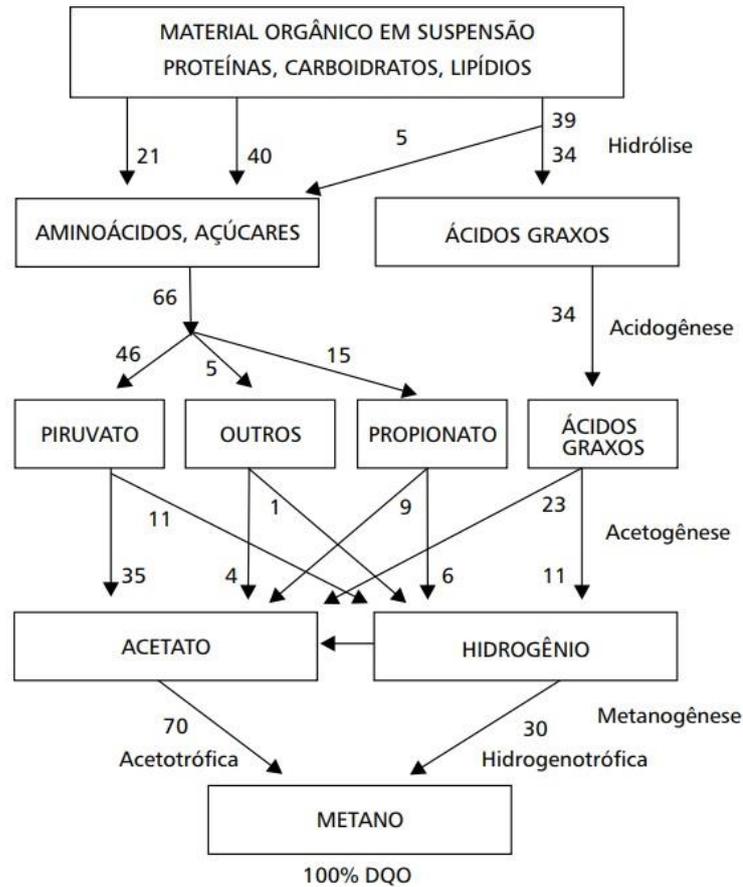
Algumas desvantagens dos tratamentos anaeróbios estão associadas à alta sensibilidade algumas condições ambientais (principalmente pH, compostos tóxicos, temperatura), e longo período de partida do sistema (iniciação) (OLMI et al., 2015).

Apesar das várias vantagens dos processos anaeróbios dificilmente consegue-se produzir efluentes em adequação com os limites exigidos pelas legislações, sendo necessário pós-tratamentos para remoção de matéria orgânica e outros constituintes, como N, P e microrganismos patogênicos. A associação de tratamentos aeróbios e anaeróbios é uma alternativa em potencial, a fim de satisfazer os padrões de lançamento de efluentes (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015).

2.3 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia da matéria orgânica é realizada por um consórcio de bactérias e segue uma rede complexa de reações bioquímicas (Figura 2), sendo dividida em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. O consórcio microbiano é formado, majoritariamente, por bactérias anaeróbias obrigatórias, existindo também bactérias facultativas e *Archeas* metanogênicas. De maneira geral, as principais microrganismos encontrados são: bactérias fermentativas, bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio, bactérias acetogênicas consumidoras de hidrogênio, *Archeas* metanogênicas redutoras de dióxido de carbono e *Archeas* metanogênicas acetoclasticas (VAN LIER; MAHMOUD; ZEEMAN, 2008).

Figura 2 - Processos da digestão anaeróbia de macro moléculas.



Fonte: FORESTI *et al.* (1999).

2.3.1 Hidrólise

O primeiro passo para assimilação da matéria orgânica pelas bactérias é a sua hidrólise. Durante esse processo exo-enzimas, excretadas pelas bactérias fermentativas, degradam a matéria orgânica complexa (proteínas, carboidratos e lipídeos), convertendo-a a compostos simples (aminoácidos, açúcares e ácidos graxos) (VAN LIER; MAHMOUD; ZEEMAN, 2008).

A manutenção de condições ambientais adequadas é vital para o que o processo ocorra adequadamente. Dessa forma, a temperatura e as variações de temperatura irão interferir diretamente na velocidade da hidrólise do substrato, podendo, assim, limitar a produção de biogás (CHERNICHARO *et al.*, 1999).

2.3.2 Acidogênese

Nesta etapa os compostos hidrolisados (dissolvidos) são absorvidos nas células bacterianas e fermentados, ou oxidados, anaeróbiamente. Os produtos da acidificação são

propionato, piruvato, butirato, ácido lático, etanol, NH_3 , CO_2 , H_2 , etc. (VAN LIER; MAHMOUD; ZEEMAN, 2008).

Um grupo diverso de bactérias é responsável pela fermentação acidogênica, sendo em sua maioria anaeróbias estritas. Contudo, cerca 1% das bactérias é facultativa, que realizam a oxidação aeróbia da matéria orgânica, protegendo as bactérias anaeróbias do contato com oxigênio dissolvido (CHERNICHARO et al., 1999).

2.3.3 Acetogênese

A formação de substratos para as *Archeas* metanogênicas acontece na acetogênese, que converte os produtos da acidogênese a acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Esse processo converte em torno de 70% da DQO em ácido acético, sendo o restante concentrado no hidrogênio (CHERNICHARO et al., 1999).

2.3.4. Metanogênese

A conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono é realizada por um grupo de *Archeas* metanogênicas que reduz o dióxido de carbono utilizando o hidrogênio como doador de elétron e acetato descarboxilado para forma metano. As *Archeas* são anaeróbias obrigatórias e possuem um espectro estreito de substratos, podendo serem divididas em dois grupos: *Archeas* metanogênicas acetotróficas e *Archeas* metanogênicas hidrogenotróficas (CHERNICHARO et al., 1999).

Cerca de 70% do metano produzido é originário do acetato, sendo o restante produzido através de percussores como H_2 ou CO_2 . Contudo, as acetotróficas apresenta uma baixa taxa de crescimento (alguns dias) (Equação 1), enquanto as hidrogenotróficas apresentam uma taxa de crescimento muito maior (4 a 12 horas) (Equação 2), limitando, dessa maneira, a velocidade de transformação da matéria orgânica (CHERNICHARO et al., 1999; VAN LIER; MAHMOUD; ZEEMAN, 2008).

Metanogênese acetotrófica:



Metanogênese hidrogenotrófica:



A presença de oxidantes alternativos possibilita o desenvolvimento de bactérias oxidativas que utilizam nitrato e o sulfato, produzindo nitrogênio molecular e sulfeto, respectivamente. O sulfato presente em reatores anaeróbios é tido como indesejável, uma vez que oxidada a matéria orgânica e impossibilita sua transformação em metano. Todavia, em

condições especiais, em presença de metais pesados, ele contribui para a estabilidade do reator, reduzindo o teor de metais pesados e sua toxicidade para as *Archaeas* metanogênicas (CHERNICHARO et al., 1999).

2.3.5 Fatores interferentes a digestão anaeróbia

2.3.5.1 Temperatura

A temperatura é fator extrema importância para o desenvolvimento das bactérias anaeróbias. De maneira geral, as bactérias podem ser agrupadas em faixas de temperaturas na qual possuem desenvolvimento ótimo, sendo classificadas em: psicrófilas, temperatura ótima de 10°C; mesófilas, temperatura ótima entre 25 e 40°C e termófilas, temperatura ótima entre 50 e 60°C (WEBER, 2006).

Em reatores anaeróbios de alta taxa deve-se procurar manter temperaturas superiores a 20°C, sendo recomendados para locais onde o aquecimento do reator for dispensável (com temperaturas médias elevadas). As baixas temperaturas podem provocar a desestabilização do reator, em função das alterações na velocidade do metabolismo bacteriano, equilíbrio iônico e na solubilidade de alguns dos substratos (lipídios) (CHERNICHARO et al., 1999).

2.3.5.2 pH, alcalinidade e AGV

O pH é um parâmetro importante, sendo utilizado no controle da acidez e basicidade de reatores anaeróbios. A faixa de pH ótimo situa-se próxima da neutralidade, entre 6,3 e 7,8; no qual um pH fora dessa faixa provocará a diminuição da taxa metanogênica (VERSIANI, 2005).

A capacidade do sistema em manter o pH próximo da neutralidade esta relacionada com a alcalinidade e os ácidos graxos voláteis (AGV). Os cátions geradores de alcalinidade tende a aumentar o pH, enquanto que os ácidos voláteis e CO₂ tendem a baixar. Em um reator estável, o sistema carbônico (H_2CO_3 ; $HCOO_3^-$; CO_3^{2-}) contribui para a correção natural do pH, mesmo que o afluente esteja abaixo da pH ótimo, devido a degradação de açúcares e amido. A degradação lenta de alguns compostos (proteínas, lipídios e celulose) ocorre dentro do reator e contribuem para a manutenção do pH (CHERNICHARO et al., 1999).

Quando o reator encontra-se operando em condições que provoquem estresse, pode haver o acúmulo de AGVs (acetato, butirato e proprinato), o que ocasiona a instabilidade no sistema. Esse processo deve-se a limitações metabólicas provenientes das etapas de transformação da matéria orgânica realizada pelo consórcio de bactérias (AQUINO, CHERNICHARO, 2005).

2.3.5.3 Nutrientes

A presença de nutrientes em proporções adequadas é vital para o desenvolvimento microbiológico. Alguns nutrientes são considerados essências para todos os processos, como os macronutrientes nitrogênio (N) e o fósforo (P), aceitando-se com ideal uma relação DQO:N:P de 500:5:1. Há ainda nutrientes essenciais para processos específicos, como o enxofre (S) para a metanogênese, sendo aceito em concentrações similares ao P. Já o ferro (Fe), zinco (Zn), níquel (Ni) e o cobalto (Co) são considerados micronutrientes essenciais, e sua presença podem estimular os processos anaeróbios (CHERNICHARO et al., 1999).

2.3.5.4 Carga tóxica

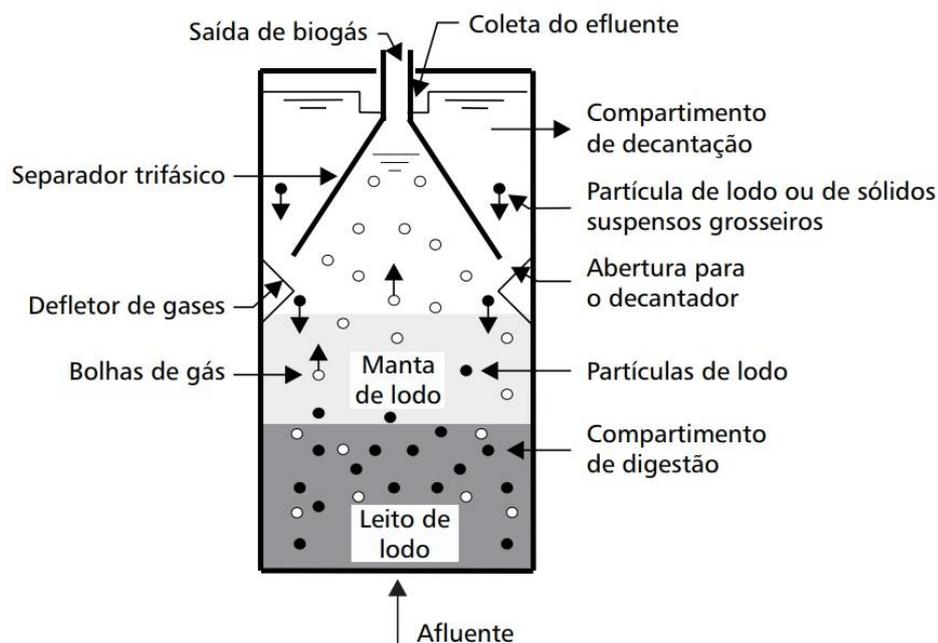
Alguns compostos e substâncias químicas são considerados tóxicos mesmo em baixas concentrações, como metais pesados e compostos organoclorados. A presença de compostos inibidores, como oxigênio e sulfetos, também é considerada tóxica. O tempo de detenção celular, ou idade do lodo, impacta diretamente na capacidade de reatores anaeróbios assimilarem cargas tóxicas, aumentando conforme se aumenta a idade do lodo. A concentração do material tóxico irá determinar a intensidade do efeito produzido, podendo em certos casos inibir o metabolismo das *Archeas* metanogênicas, provocando um acúmulo de ácidos voláteis (AGVs) (CHERNICHARO et al., 1999; VERSIANI, 2005; WEBER, 2006).

2.4 Reator UASB

Uma opção de tratamento anaeróbio com custo relativamente baixo e remoção ponderada de DBO são os reatores do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) (SOBRINHO, JORDÃO, 2000). Seu funcionamento consiste no movimento ascendente do afluente através de um leito de lodo, formado por pequenos grânulos de lodo ativado anaeróbio (1 a 5 mm). As bactérias anaeróbias do leito atuam sobre a matéria orgânica do afluente, removendo o substrato e produzindo o biogás (mistura de metano e gás carbônico). O movimento ascendente suave das bolhas e o fluxo do afluente forma uma manta de lodo acima do leito de lodo, completando o compartimento de digestão, atuando de forma menos pronunciada na remoção de substrato. Um separador trifásico (gases, sólidos e líquidos) é instalado na parte superior do reator, o que permite a manutenção da quantidade de biomassa devido à retenção e retorno do lodo carregado. A câmara de sedimentação, acima do separador trifásico, é responsável pela remoção e retorno ao compartimento de digestão do lodo denso, com exceção das partículas leve que são perdidas com o efluente (Figura 3) (CHERNICHARO et al., 1999).

Algumas condições devem ser atendidas nos reatores UASB para seu perfeito funcionamento, como: separação do gás, sólido e líquido de forma efetiva; alimentação ascendente (no fundo do reator) de maneira uniforme, de forma a maximizar o contanto entre biomassa e substrato e evitar curto-circuitos; e produção de lodo assentável, preferencialmente granulado (BORGES; SANTOS, 2017).

Figura 3 - Representação esquemática do UASB.



Fonte: (CHERNICHARO et al., 1999).

2.4.1 Parâmetros operacionais

A concepção do reator UASB baseia-se no contato direto entre o líquido (efluente) e microrganismos (biomassa). Em função disso, alguns parâmetros devem ser apropriadamente determinados em seu projeto, a fim garantir a realização de um projeto bem feito, com manutenção da biomassa e eficiência de remoção de matéria orgânica satisfatória (VERSIANI, 2005). Alguns parâmetros utilizados no projeto de reatores UASB são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais parâmetros operacionais de projeto do reator UASB.

Parâmetros	Equações	Definição
Carga hidráulica volumétrica - (CHV)	$CHV = \frac{Q}{V}$ (3)	Volume de efluente aplicado diariamente por unidade de volume do reator.
Tempo de detenção hidráulica - (TDH)	$TDH = \frac{V}{Q}$ (4)	Tempo em que o efluente fica retido no reator
Carga orgânica volumétrica - (COV)	$COV = \frac{Q \cdot S}{V}$ (5)	Quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator por unidade de volume
Velocidade ascensional do fluxo - (v)	$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q \cdot H}{V}$ (6)	Relação entre vazão do afluente e a seção transversal do reator

Legenda: CHV ($m^3/m^3.d$); TDH (d); COV ($KgDQO/m^3.d$); v (m/h); Q (m^3/d); V (m^3); S ($Kg DQO/m^3$); A (m^2); H (m).

Fonte: (CHERNICHARO et al., 1999).

2.4.2 Inoculação e partida

A partida do sistema é a fase operacional mais importante do reator, iniciando-se com a inoculação do reator e seguindo com alimentação em baixa taxa. O aumento progressivo da taxa da alimentação deve ocorrer ao logo de alguns meses de operação, de acordo com a resposta do sistema, leito de lodo concentrado junto ao fundo do reator (40 a 100 ST/L) (BORGES; SANTOS, 2017). A inoculação pode ser realizada com o reator cheio ou vazio, sendo preferível com o reator vazio, o que evita perda de parte do lodo (CHERNICHARO et al., 1999).

2.4.3 Monitoramento do reator

A avaliação das condições operacionais é realizada através do monitoramento de alguns parâmetros. Esses parâmetros são escolhidos de maneira que possam avaliar a estabilidade do processo tais como: concentração de matéria orgânica (DQO, DBO); estabilidade do pH, alcalinidade, AGV e sólidos presentes (Sólidos totais e suspensos). O monitoramento deve ser realizado desde a partida até a estabilização do reator, garantindo o controle das condições de funcionamento (NASCIMENTO, 1996).

2.5 Indústria de bebidas

O setor de bebidas é um dos principais setores da indústria de transformação brasileira, destacando-se por sua importância econômica, sendo responsável, sozinho, por um quinto do faturamento total da indústria de alimentos e bebidas (CNI, 2017). A ampla difusividade das bebidas faz com que esse setor encontre-se distribuído por todo território nacional, instalando suas plantas industriais próximas aos seus mercados consumidores e a

fontes de água. Isso contribui para a dinamização de economias regionais, que se beneficiam em função da cadeia produtiva envolvida (JÚNIOR et al., 2014).

Do ponto de vista legal, as bebidas são definidas, segundo o Decreto nº 6.871 de junho de 2009⁴, como o produto de origem vegetal industrializado, destinado à ingestão humana em estado líquido, sem finalidade medicamentosa ou terapêutica. Esse decreto também regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994 que dispõe da padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas.

Quanto à classificação, as bebidas podem ser organizadas em duas classes: bebidas não alcoólicas, graduação alcoólica de até 0,5% em volume, a 20°C, de álcool etílico potável; e bebidas alcoólicas, graduação alcoólica entre 0,5% e 54% em volume, a 20°C (Tabela 3) (BRASIL, 2009).

Tabela 3 - Classificação e categorias de bebidas.

Classificação	Categorias	Exemplos
Bebidas Não-alcoólicas	Bebida não fermentada não-alcoólica	Sucos, polpas de fruta, água de coco, néctares, refrescos, refrigerantes, xaropes, chás, entre outros.
	Bebida fermentada não-alcoólica	
Bebidas alcoólicas	Bebida alcoólica fermentada	Cerveja, fermentado de fruta (licoroso, composto, ou não), sidra, hidromel, fermentado de cana, saquê.
	Bebida alcoólica destilada	Aguardente (de cana, de fruta, ou não), cachaça, rum, uísque, tequila, tiquira, <i>sochu</i> .
	Bebida alcoólica retificada	Vodca, genebra, gim, <i>steinhaeger</i> , <i>aquavit</i> , <i>corn</i> .
	Bebida alcoólica por mistura	Licor, bebida alcoólica mista, coquetel composto, bebida alcoólica composta, aguardente composta.

Fonte: Adaptado de Brasil (2009).

Apesar da vasta gama de produtos disponíveis os refrigerantes e as cervejas despontam como os principais itens do setor, representando juntos 82% do volume produzido e 76% do volume de vendas. A produção de refrigerantes é um processo relativamente simples, quando comparado com as cervejas, sendo comuns a grandes e pequenos fabricantes (JÚNIOR et al., 2014). Apesar disso, alguns atributos, como qualidade e preferência dos consumidores, contribuem para a consolidação de marcas tradicionais no mercado, que acaba sendo dominado por *Holdings*. Os altos investimentos em propagandas e montagem de uma

⁴ Também são consideradas bebidas, segundo esse decreto, polpa de frutas, xarope sem finalidade medicamentosa ou terapêutica, preparados para bebidas (sólidos e líquidos), soda, fermentados alcoólicos e destilados alcoólicos de origem animal, e as bebidas elaboradas com a mistura de substâncias de origem vegetal e animal.

rede de distribuição, que pode chegar a três vezes o investimento de uma planta industrial, constituem barreiras à entrada de novos concorrentes. No entanto, a complexidade de distribuição para pequenas redes torna possível a pequenos fabricantes atuarem regionalmente, atendendo a mercados próximos de sua localização, realizando entregas diretamente aos pontos de vendas (ROSA; CONSEZA, LEÃO, 2006).

Atualmente o setor enfrenta alguns problemas relacionados à sustentabilidade. A grave crise hídrica, enfrentada nessa década, ampliou a consciência a cerca do consumo consciente da água. A utilização desse recurso em processos e atividades industriais, em geral, tem sido motivo de cautela nos últimos anos, uma vez que o aumento do seu uso acarreta na geração de um grande volume de efluentes. Diante disso, o setor tem direcionado sua atenção a medidas de utilização eficiente dos recursos hídricos, reduzindo a utilização da água em seus processos produtivos e investindo em sistemas de aproveitamento de efluentes (reuso) (CNI, 2017).

2.5.1 Geração de efluentes

A água é um recurso natural largamente empregado na fabricação de bebidas, sendo utilizada pelas indústrias nos processos de resfriamento, lavagem de pisos e máquinas, máquinas lavadoras de garrafas, processos de limpeza (*Clean in Place*, CIP), bem como, incorporada ao produto final. Todavia, grande parte do volume de água extraído para uso industrial é descartada em emissões atmosféricas ou como efluentes, ficando apenas 20-30% desse volume incorporado aos produtos. Os efluentes produzidos apresentam DBO elevada, podendo provocar a degradação de corpos receptores se lançados sem tratamento adequado (HSINE; BENHAMMOU; PONS, 2005).

As principais fontes poluídas da indústria de bebidas estão relacionadas ao descarte de substâncias brutas utilizadas nos processos de fabricação (açúcares, extratos vegetais, etc.) e a produtos fora de especificação. Esses despejos são os principais contribuintes para carga em DBO do efluente. Por outro lado, as águas residuárias provenientes da CIP correspondem a 70% do total dos custos de descarte dos efluentes. Esses processos conferem um pH alcalino (8-12,3) ao efluente gerado, em decorrência das soluções de limpeza (HSINE; BENHAMMOU; PONS, 2005, SANTOS, RIBEIRO, 2005).

Em uma indústria de refrigerantes, por exemplo, os efluentes são gerados na lavagem das salas de xaroparia, pisos e máquinas; linhas de enchimento de latas e garrafas (PET e vidro); descartes de produtos retornados do mercado; CIP e algumas vezes pelo esgoto sanitário. Em suma, o efluente da indústria de refrigerante é composto de carboidratos

(açúcares), pectinas, flavorizantes e corantes (CRUZ, 2007; HSINE; BENHAMMOU; PONS, 2005, PEIXOTO, 2008; SANTOS, RIBEIRO, 2005; WEBER, 2006).

Usualmente o tratamento do efluente de refrigerantes é constituído por três etapas: preliminar (remoção de areia, separação de óleos, materiais sólidos grosseiros); primário (correção do pH, remoção de sólidos decantáveis) e secundário (reatores anaeróbios seguido de lodos ativados) (CRUZ, 2007; GIORDANO, 2004; WEBER, 2006).

Devido ao processo simples e barato de fabricação do refrigerante, o tratamento de efluente representa grande parte dos custos finais de produção. Por conseqüente, o lançamento dos efluentes sem qualquer tipo de tratamento pode ser praticado por pequenos fabricantes, que costumam lançar seus efluentes no solo (PEIXOTO, 2008).

As características de alta biodegradabilidade (DBO de 940-1335 mgO₂/L e DQO de 1616-3434 mgO₂/L) conferem a esse efluente elevada tratabilidade biológica (aeróbia e anaeróbia) (PEIXOTO, 2008; WEBER, 2006). Contudo, a presença de efluentes oriundos da fabricação de outros tipos de bebidas fabricadas por essas indústrias, como, por exemplo, as bebidas alcoólicas compostas e mistas que utilizam extratos de ervas e vegetais, podem limitar o uso de processos biológicos. Os extratos e ervas utilizadas podem conferir características antibióticas e/ou recalcitrantes aos efluentes, limitando os processos metabólicos aeróbios e/ou anaeróbios utilizados no tratamento.

Pretende-se, com o presente estudo, avaliar o monitoramento de uma ETE (estação de tratamento de efluentes) e verificação da tratabilidade anaeróbia do efluente de uma indústria de bebidas de pequeno porte, contribuindo, assim, para a comparação entre o sistema existente e o tratamento proposto quanto ao enquadramento dos efluentes aos padrões de legislação ambiental brasileira vigente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização da parte metodológica deste trabalho teve como objetivo avaliar o monitoramento da estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de bebidas e a avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente real de uma indústria de bebidas, sendo composta das seguintes etapas:

- Pesquisa de campo, realizada para caracterização do processo produtivo de uma indústria de bebidas, investigando-se etapas de produção e pontos de geração de efluentes;
- Avaliação do monitoramento da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma indústria de bebidas
- Análise dos dados do monitoramento quanto ao enquadramento às legislações ambientais brasileiras vigentes.
- Operação e avaliação de um sistema experimental, composto por um reator UASB, em escala de laboratório, utilizado na avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente real de uma indústria de bebidas;

3.1 Localização dos trabalhos

A pesquisa de campo e o monitoramento da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) foram realizados na Indústria de Bebidas Garanhuns – Produtos Jatobá Ltda, situada na cidade de Garanhuns-PE. Os trabalhos experimentais desenvolvidos durante a operação do sistema experimental foram realizados no Laboratório de Meio Ambiente (LaBMam) e Laboratório de Ensino de Química (LAbQuim), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, na Unidade Acadêmica de Garanhuns.

3.2 Pesquisa de campo

Segundo Dezotti (2008) o conhecimento do processo produtivo é fundamental para o processo de amostragem de efluentes de uma indústria, auxiliando tomadas de decisões futuras. Diante disso, foi realizada uma pesquisa de campo no dia 2 de maio de 2018 na Indústria de Bebidas Garanhuns – Produtos Jatobá Ltda. Essa pesquisa teve como objetivo a caracterização do processo produtivo da indústria de bebidas, investigando-se as etapas do processo de fabricação dos seus produtos quanto aos pontos de geração de efluentes das linhas de produção.

3.2 Monitoramento da ETE

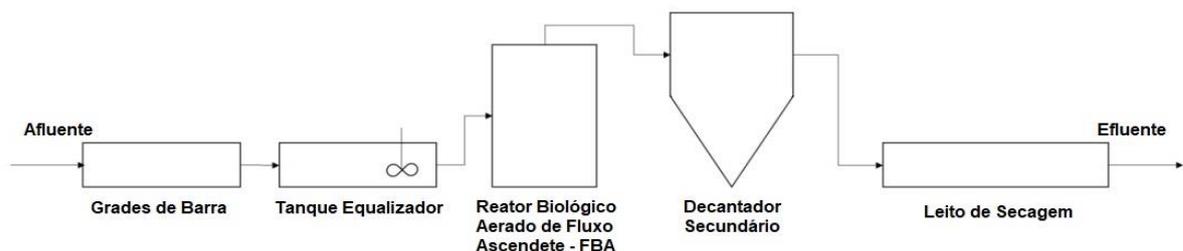
A ETE foi monitorada através de análises de pH, temperatura, SST, SSS e óleos e graxas, do seu afluente e efluente, sendo seu desempenho medido através das análises de DBO e DQO. O período de monitoramento foi de aproximadamente cinco anos, de março de 2013 a maio de 2018, sendo realizados dois grupos de análises durante esse tempo: DBO, DQO e pH (Grupo I), análises realizadas durante todo o período de monitoramento (59 determinações); e temperatura, SSV, SSS e óleos e graxas (Grupo II), realizadas a partir de janeiro de 2017 (17 determinações).

Os valores dos parâmetros avaliados durante o monitoramento da ETE, dois grupos de análises, estão apresentados no Apêndice A.

3.2.1 Descrição da ETE

O tratamento de efluentes da indústria estudada é realizado através de processos biológicos aeróbios, sendo a ETE constituída de calha com grades de barras, tanque equalizador, filtro biológico aerado de fluxo ascendente (FBA), decantador secundário e leito de secagem (Figura 4).

Figura 4 - Fluxograma de tratamento da ETE da Indústria de Bebidas Garanhuns – Jatobá.



Fonte: Autor (2018).

O efluente bruto, proveniente das áreas de processo de fabricação, passa por uma calha contendo três grades de barras em série, para a retirada de material grosseiro. O tratamento primário tem início no tanque de equalização com agitação mecânica, onde pode haver a correção do pH (neutralização) e/ou adição de flocculantes ao efluente (floculação de materiais biológicos sedimentáveis). Em seguida o líquido é bombeado, passando por um registro, para o filtro biológico aerado de fluxo ascendente (FBA). Do FBA, o efluente segue para um decantador secundário (DS), onde o material orgânico arrastado é decantado, passando em seguida por um leito de secagem de onde é despejado em rede pública.

3.2.2 Levantamento de dados

Os dados do monitoramento da ETE, utilizados neste trabalho, foram cedidos pela própria empresa, sendo obtidos através de levantamentos previamente realizados pela empresa terceirizada Bioglass Biotecnologia Ambiental Ltda.

3.3 Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente da indústria de bebidas

A avaliação da tratabilidade, ou biodegradabilidade, anaeróbia do efluente real da indústria de bebidas ocorreu durante o período de 26 de Junho á 15 julho do ano de 2018. A avaliação se deu por meio da coleta do efluente bruto, caracterização do efluente, montagem do sistema experimental e monitoramento.

3.3.1 Coleta do Efluente

A coleta do efluente foi realizada semanalmente na Indústria de Bebidas Garanhuns – Produtos Jatobá, durante o período de 26 de Junho á 15 julho do ano de 2018, em horários e dias aleatórios, dependendo da disponibilidade da indústria para recepcionar a coleta. O efluente bruto era recolhido diretamente no tanque de equalização, após o gradeamento, e entrada do filtro biológico aeróbio (FBA), sendo coletado um volume de 30L utilizando uma bombona plástica, previamente limpa. Após a coleta, o efluente foi transportado para o Laboratório de Meio Ambiente da Universidade Federal Rural de Pernambuco (LaBMam), na Unidade Acadêmica de Garanhuns, onde foi armazenado, sob refrigeração, a 4°C até sua utilização, conforme o procedimento descrito por Dezotti (2008) para conservação de amostras.

3.3.2 Análises físico-químicas

A caracterização físico-química do efluente ocorreu no Laboratório de Meio Ambiente e no Laboratório de Ensino de Química (LAbQuim) da UFRPE/UAG, durante o período no qual foi realizado o experimento.

Para realização das análises foram separadas amostras da entrada do reator UASB, afluente (P_0), e saída do reator, efluente (P_1). Após a separação, foram então realizadas análises físico-químicas dos seguintes parâmetros: pH, condutividade, SDT e DQO_{total} , seguindo as metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 1998).

A determinação da alcalinidade e AGV seguiu o método Kapp, no qual realiza-se a titulação da amostra com solução de H_2SO_4 (concentração de 0,05 mol/L), registrando-se

valor do pH inicial e os volumes gastos na titulação da amostra com a solução de H₂SO₄ para pH 5,0 e 4,3. Os cálculos foram então realizados pelas Equações (7-10):

$$AGV = \left(\frac{131340 * V_{AC(pH\ 5-4)}}{V_{AM}} \right) - (0,061 * AT) - 10,9 \quad (7)$$

$$AVV = 0,6 * AVG * \frac{50}{60} = 0,5 * AVG \quad (8)$$

$$AVV = \frac{V_{AC(4,3)} * 50000 * N_{AC}}{V_{AM}} \quad (9)$$

$$AB = AT - AAV \quad (10)$$

Onde:

- AGV é expresso em mg CH₃COOH/L
- AAV, AT e AB são expressas em mg CaCO₃ /L;
- V_{ác} (5-4) – volume de solução de ácido usada para titular de pH 5,0 a 4,0;
- V_{ác} (4,3) – volume usado para titular a amostra do pH inicial até pH 4,3;
- Será considerado que a AAV corresponde a 60 % da concentração de AGV

3.3.3 Reator UASB experimental

A unidade experimental utilizada nesta etapa do trabalho foi constituída por um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) cilíndrico, em escala de laboratório, bombona plástica e bomba dosadora, instalados no Laboratório de Meio Ambiente da UFRPE/UAG (LaBMam) (Figura 7).

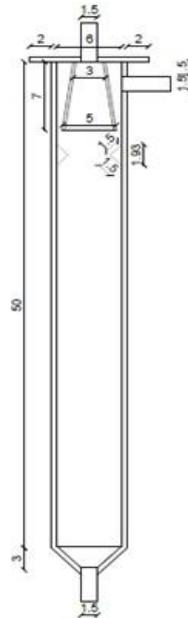
Figura 5 - Sistema reator UASB experimental.



Fonte: Autor (2018).

O dimensionamento do reator ocorreu através do estudo realizado por Queiroz et al. (2016), no qual escolheu-se a configuração que apresentou melhor distribuição de fluxo hidráulico. O reator foi construído em acrílico, apresentando diâmetro interno de 6 cm e altura de 50 cm, com volume útil de 1,3 L, possuindo um separador trifásico na parte superior e alimentação pela base cônica (Figura 6).

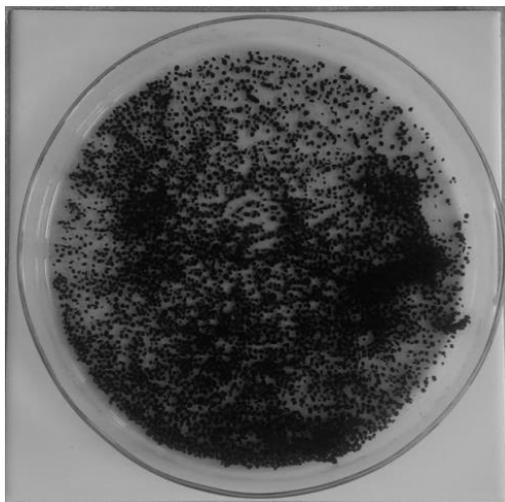
Figura 6 - Desenho do reator de manta de lodo UASB em centímetros.



Fonte: Autor (2018).

Para inoculação do reator utilizou-se lodo granular anaeróbico de alta atividade metanogênica proveniente de um reator UASB real instalado em uma estação de tratamento de vinhaça de uma usina de açúcar e álcool localizada no município de Vitória de Santo Antão – PE (Figura 7). O processo ocorreu preenchendo-se inicialmente 1/3 do volume do reator com lodo granular anaeróbico de alta atividade metanogênica, realizando-se a partida do sistema logo em seguida a inoculação. A vazão do afluente foi ajustada para que o reator para que esse operasse com um tempo de detenção hidráulica (TDH) entre 6-9h, conforme recomendação de Chernicharo et al. (1999) para temperaturas entre 20-26°C.

Figura 7 - Lodo anaeróbio granular de alta atividade metânogênica utilizado na inoculação do reator UASB.



Fonte: Autor (2018).

O reator foi alimentado continuamente durante 20 dias, sendo utilizada para isso uma bomba dosadora da marca MIXTURA modelo MIX15, com vazão nominal máxima de 1,8L/h. O processo consistiu do bombeamento do afluente armazenado em uma bombona, com capacidade para 10L, armazenada a temperatura ambiente, para o reator UASB, sendo o afluente e efluente tratados coletados em um béquer para análises posteriormente (Figura 5).

Antes da alimentação do reator, o efluente bruto foi peneirado para retirar sólidos remanescentes. Segundo Metcalf e Eddy (2015), os efluentes de natureza indústrias podem apresentar a necessidade da correção de seu pH para próximo na neutralidade (7,0). Dessa maneira, realizou-se a correção do pH com solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 30%, nos primeiros 9 dias, e bicarbonato de sódio (NaHCO_3), 1,5g/L, nos últimos 11 dias. O bicarbonato foi utilizado com estratégia a aumentar a alcalinidade do reator, devido ao efeito de possíveis compostos tóxicos na estabilidade do reator.

Por fim, revestiu-se o reator com papel alumínio, a fim de evitar a proliferação de algas nas paredes internas decorrente da incidência de luz, prejudicial ao desenvolvimento das bactérias anaeróbias.

Não foi realizada análise do biogás produzido. No entanto, houve o biogás na parte superior do reator, utilizando-se saco coletor em PVC.

3.3.4 Monitoramento

O monitoramento do reator ocorreu por meio da coleta diária de duas amostras, P_0 (afluente do reator) e P_1 (efluente do reator). Uma exceção à rotina diária de análises se deu para a determinação de alcalinidade e AGV, que por motivos de problemas operacionais no

Laboratório de Meio Ambiente da UFRPE/UAG só podem ser iniciadas após o 5º dia de monitoramento, sendo interrompidas parcialmente no 12º dia, com interrupção total no 13º dia, e retomada no 14º.

A eficiência do reator foi acompanhada através da análise de DQO, sendo sua estabilidade avaliada por meio das análises de pH, condutividade, STD, turbidez, alcalinidade e AGV. A rotina de análises foi realizada conforme a Tabela 1.

Tabela 4 - Análises de rotina do monitoramento do reator UASB.

Parâmetros	Método Utilizado	Equipamentos Utilizados	Frequência	
			P ₀	P ₁
DQO	Colorimétrico, refluxo fechado.	Espectrofotômetro WeblaborSP UV-M51	Diariamente	Diariamente
pH	Potenciométrico, leitura direta.	pHmetro Tecnocon mPA-210P	Diariamente	Diariamente
Condutividade	Potenciométrico, leitura direta.	Condutivimetro Tecnocon mCA-100	Diariamente	Diariamente
STD	Potenciométrico, leitura direta.	Condutivimetro Tecnocon mCA-100	Diariamente	Diariamente
Turbidez	Nefelométrico, leitura direta.	Turbidímetro Hach 2100P	Diariamente	Diariamente
Alcalinidade e AGV	Titulométrico	–	Diariamente*	Diariamente*

* As análises de alcalinidade e AGV começaram a partir do 5ª dia de monitoramento, em função de problemas operacionais do Laboratório de Meio Ambiente da UFRPE/UAG.

Fonte: Autor (2018).

Os valores dos parâmetros utilizados do acompanhamento diário do monitoramento do reator UASB estão apresentados no Apêndice B.

3.4 Tratamento dos dados

Os dados obtidos, no monitoramento da ETE e da avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente, foram compilados em planilhas no programa Excel®. Com o auxílio desse programa, foram elaborados gráficos (dispersão e *Boxplot*) e tabelas, sendo os dados submetidos a análises estatísticas de média, amplitude (máximo e mínimo), desvio padrão e coeficiente de variação (C.V.).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Processo produtivo

A Indústria de bebidas estudada nesse trabalho dispõe de duas linhas de produção, uma para produção de refrigerantes, com sete sabores disponíveis, e outra para produção de bebidas alcoólicas compostas (gengibre e jurubeba). A Figura 8 apresenta uma vista aérea da planta industrial.

Figura 8 - Vista aérea da Indústria de Bebidas Garanhuns - Produtos Jatobá.



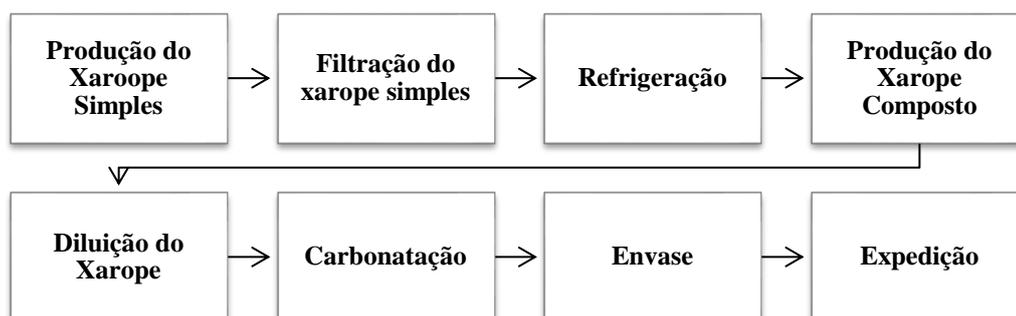
Fonte: GOOGLEMAPS (2018).

Legenda: 1 – Prédio de produção de refrigerantes em embalagens PET; 2 – Prédio de produção de bebidas em garrafas de vidro (bebidas alcoólicas mistas, refrigerantes e cerveja artesanal); 3 – Estação de Tratamento de Efluentes.

4.1.1 Produção de refrigerantes

O fluxograma simplificado do processo de fabricação de refrigerantes utilizado pela indústria de bebidas estudada é apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma simplificado do processo de produção de refrigerantes.



Fonte: Autor (2018).

A produção de refrigerantes tem início com a elaboração do xarope simples, obtido pela diluição de açúcar em água, sendo utilizado para isso um tanque inox com agitação mecânica e aquecimento (80-90°C). O uso de temperaturas elevadas facilita a diluição do açúcar e reduz o risco de contaminação microbiológica (eliminação de esporos). Em seguida o xarope simples é filtrado, utilizando-se carvão ativado (ou terras diatomáceas), para remoção de impurezas que possam alterar as características do produto. Em função da presença de compostos termossensíveis, o xarope é então resfriado até atingir 20°C.

Após o resfriamento ocorre a elaboração do xarope composto. Esse xarope é obtido pela adição de alguns ingredientes (extrato de fruta, aromatizante, corante, acidulante e conservante) ao xarope simples, sendo realizado em tanques inox com agitação. O xarope composto elaborado é em seguida transportado, em tubulação de aço inox, para um proporcionador, equipamento responsável pela diluição de 1:5 do xarope composto em água declorada e desaerada. A carbonatação do líquido ocorre em um Carbo-cooler até a concentração desejada, sendo o processo realizado a 8-11°C, facilitando a dissolução do gás carbônico (Lei de Henry). O refrigerante pronto será encaminhado para enchedora, onde será envasado em garrafas com diferentes volumes.

Os principais pontos de geração de efluentes encontrados nesse processo produtivo estão relacionados à lavagem da sala de xaroparia e pisos, processos de limpeza (CIP), envase e despejo do xarope e bebidas, diluídas entre as produções de refrigerantes com sabores diferentes. O efluente desse processo pode apresentar característica ácida, em função do despejo de xarope e bebidas diluídas, sendo necessária correção do pH. Entretanto, apresenta, em geral, alta biodegradabilidade, sendo tratável através de processos biológicos (CRUZ, 2007; HSINE; BENHAMMOU; PONS, 2005; PEIXOTO, 2008; SANTOS, RIBEIRO, 2005; WEBER, 2006).

4.1.2 Bebida alcoólica de gengibre e jurubeba

Os processos produtivos das bebidas alcoólicas de gengibre e jurubeba são similares, sendo o fluxograma simplificado dos processos de fabricação utilizados pela indústria estudada apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma simplificado do processo de produção de bebidas mistas.



* Etapas exclusivas do processo de produção de bebida alcoólica de gengibre.

Fonte: Autor (2018).

O processo de elaboração da bebida alcoólica de gengibre inicia-se com a recepção e limpeza das raízes, selecionando-se manualmente as raízes de melhor qualidade para secagem natural ao sol. Em seguida, o gengibre é triturado e posto em um tanque com revestimento cerâmico, onde é adicionado álcool hidratado (92°GL). A mistura do gengibre com álcool é posta em repouso por sete dias para extração alcoólica. Ao fim da extração alcoólica a mistura sofre uma prensagem em uma prensa manual, sendo obtido o “suco de gengibre”. O suco é então bombeado e armazenado em uma pipa de madeira, sendo, à medida que a demanda de produção solicita, transferido para um tanque de inox com misturador mecânico onde é adicionado alguns ingredientes (água, açúcar e caramelo) em conformidade com as proporções da receita utilizada pela indústria. Após a adição e mistura dos ingredientes, o líquido pode ser armazenado em pipas de madeira, novamente, ou envasado em garrafas de vidro (600 mL) ou PET (900 mL).

A produção da bebida alcoólica de jurubeba é similar à fabricação da bebida alcoólica de gengibre, excetuando-se pelas etapas de secagem e prensagem, que não são necessárias. O processo tem início com a recepção, limpeza e seleção manual da jurubeba,

sendo em seguida triturada para exposição da polpa. A polpa com bagaço é disposta em uma pipa de madeira, onde sofre a adição de álcool hidratado (92° GL) para extração alcoólica durante uma semana. Após o período de uma semana, retira-se o sobrenadante da mistura alcoólica, o “suco de jurubeba”, seguindo com o processo conforme fora descrito para fabricação da bebida alcoólica de gengibre.

A geração de efluentes no processo de fabricação de bebidas alcoólicas compostas ocorre durante a lavagem de pisos, tanques, pipas e garrafas, processos de limpeza (CIP) e descarte de bebidas diluídas e resíduos de gengibre e jurubeba (pré e pós-extração alcoólica). A utilização de soda cáustica para a lavagem de garrafas retornáveis pode conferir um caráter alcalino para o efluente desse processo produtivo, sendo necessária correção do pH. Quanto aos resíduos de gengibre e jurubeba, estes podem constituir um problema a utilização de processos biológicos no tratamento desse efluente, devido à presença de compostos bioativos.

Andrade et al. (2016), ao analisar os resíduos do processo de produção do vinho composto de jurubeba, após a extração do suco de jurubeba, encontrou níveis significativos de flavonoides, compostos fenólicos e atividade antioxidante. Esses compostos podem conferir, em certos níveis, características recalcitrantes e/ou antibióticas ao efluente, o que dificulta seu tratamento utilizando processos biológicos (CHEN; CHENG; CREAMER, 2008).

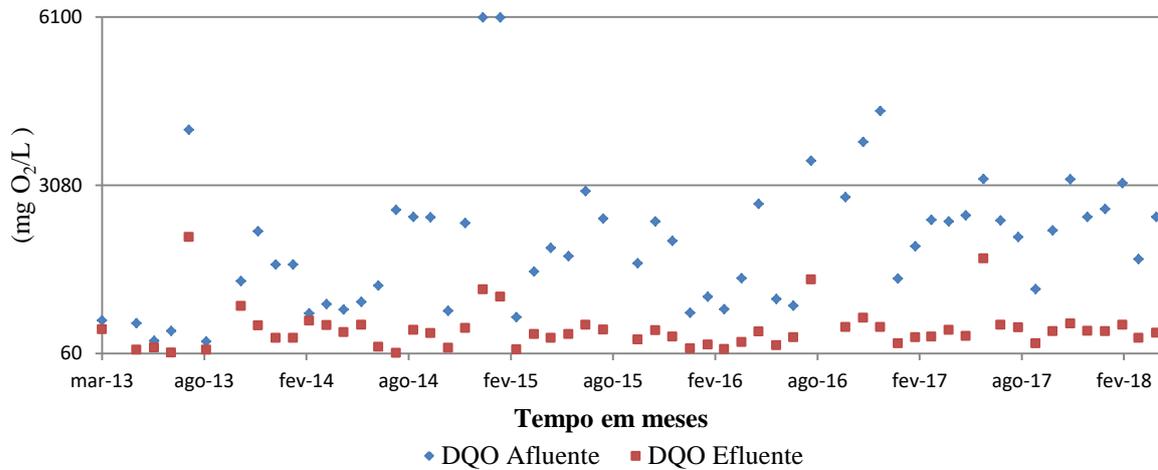
4.2 Monitoramento da ETE

4.2.1 DBO, DQO e pH – Grupo I

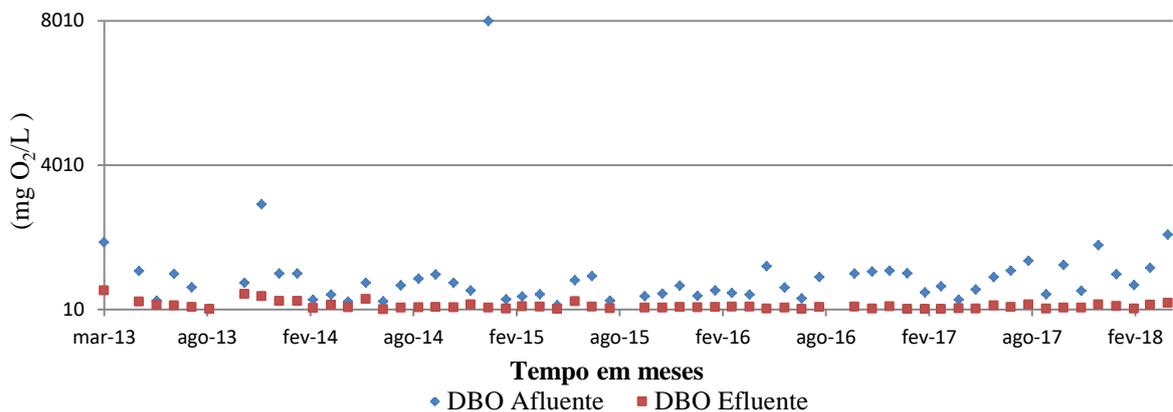
A análise dos dados do monitoramento mostrou valores médio de DQO de 2.072,94 mgO₂/L, para o afluente, e 484,92 mgO₂/L, para o efluente, com uma eficiência média de remoção de 73,70%. Já a DBO apresentou médias de 903,61 mgO₂/L e 103,88 mgO₂/L para o afluente e efluente, respectivamente, exibindo uma eficiência média de remoção de DBO do sistema de 84,20%.

As legislações brasileiras vigentes estabelecem uma remoção mínima de 60% da carga em DBO para o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora em corpos receptores (BRASIL, 2005, 2011). Sendo assim, a ETE estudada apresenta desempenho satisfatório, em relação remoção de DBO, produzindo efluentes em conformidade com a legislação vigente.

O comportamento dos parâmetros de DQO e DBO durante o monitoramento da ETE pode ser observado nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Comportamento da DQO durante o monitoramento da ETE.

Fonte: Autor (2018).

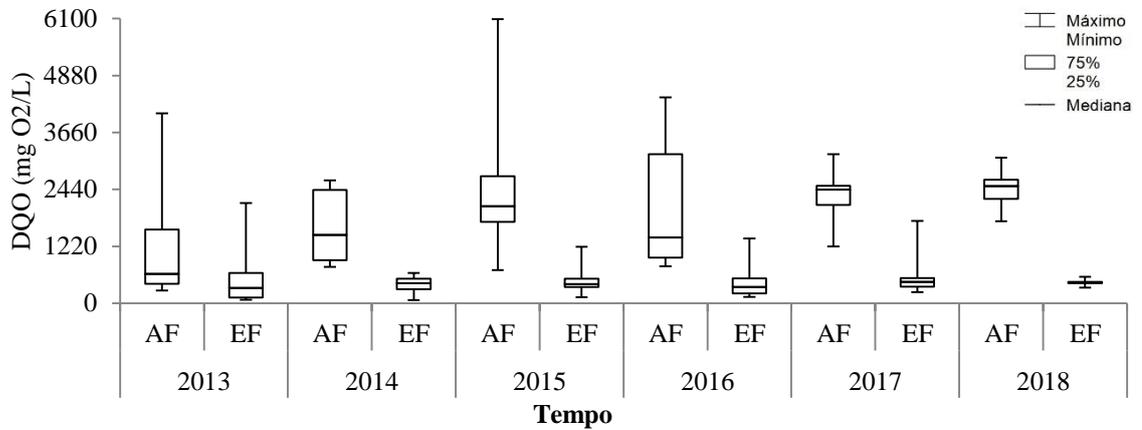
Figura 12 - Comportamento da DBO durante o monitoramento da ETE.

Fonte: Autor (2018).

Os parâmetros de DQO e DBO mostraram uma não homogeneidade quanto a distribuição dos seus dados, apresentando coeficiente de variância (C.V.) de 44,83% e 47,09%, para DQO, e 56,96% e 67,39% para DBO. Esse tipo de comportamento reflete a variação da carga orgânica aplicada ao sistema, em razão da produção intermitente da fábrica. A variabilidade de produção no decorrer do ano, pode ter contribuído para um maior ou menor volume do efluente do processo produtivo de um dos tipos de bebidas produzidas pela indústria estudada. Sendo assim, em certos meses, quando da coleta de amostras, o efluente coletado pode apresentar maior carga orgânica em DBO, em função do maior volume dos efluentes de refrigerantes, que apresentam carga elevada de açúcares.

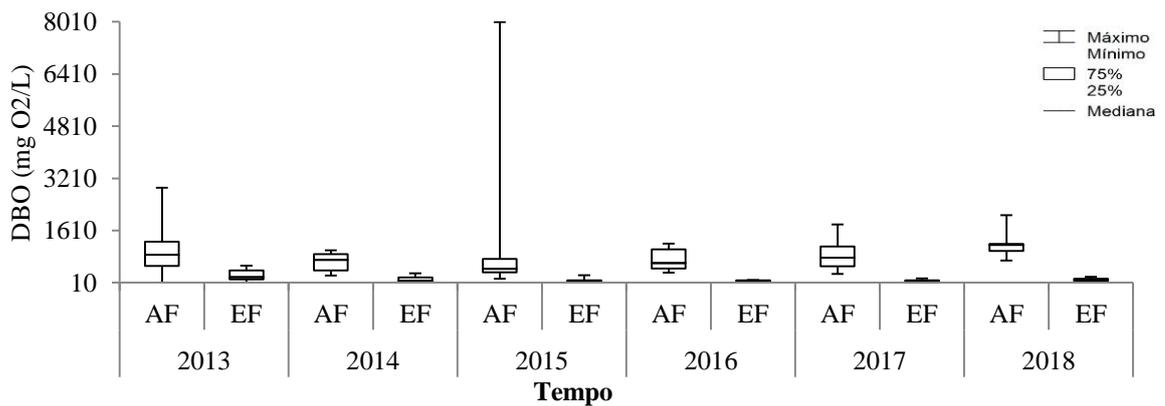
Para uma melhor compreensão da dispersão dos dados, os comportamentos anuais dos parâmetros de DQO e DBO podem ser observados nos gráficos *Boxplot* (Figura 13-14).

Figura 13 - Boxplot para a DQO do afluente e efluente da ETE.



Fonte: Autor (2018).

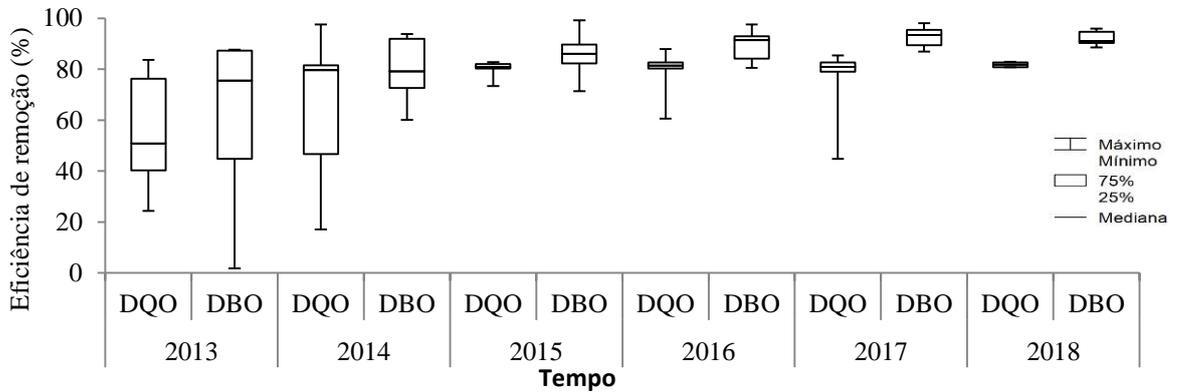
Figura 14 - Boxplot para a DBO do afluente e efluente da ETE.



Fonte: Autor (2018).

Pode-se observar um aumento da eficiência de remoção a partir de 2015, ano que se obteve-se os melhores resultados em termos de homogeneidade dos dados, com C.V. de 2,23%, para a DQO e 6,57%, para DBO. Esse fato pode ser explicado devido à adaptação da biomassa do filtro biológico aerado (lodo aeróbio) a variação da concentração de carga aplicada ao sistema e, sobretudo, a aclimatização quanto a possível presença de compostos tóxicos oriundos do processo produtivo de bebidas alcoólicas compostas. O gráfico *Boxplot* da Figura 15 mostra a distribuição anual dos dados da eficiência de remoção de DQO e DBO.

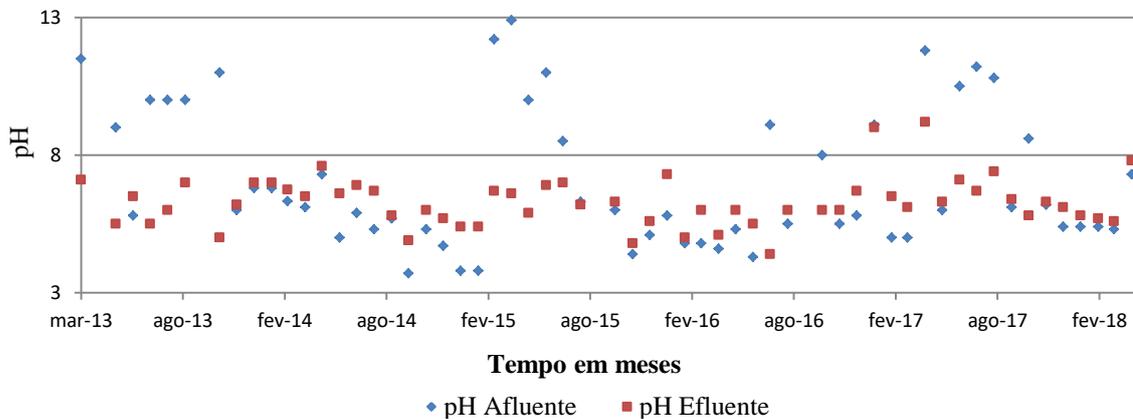
Figura 15 – *Boxplot* para a eficiência de remoção de DQO e BDO do afluente e efluente da ETE.



Fonte: Autor (2018).

Os valores de pH oscilaram entre 3,7 e 12,9, para o afluente, e entre 4,4 e 9,2, para o efluente, durante o período de monitoramento. O pH médio observado para o afluente foi de 7,02 e 6,29 para o efluente. O comportamento do pH durante o monitoramento da ETE pode ser observado na Figura 14, 15.

Figura 16 – Comportamento do pH durante o monitoramento da ETE.

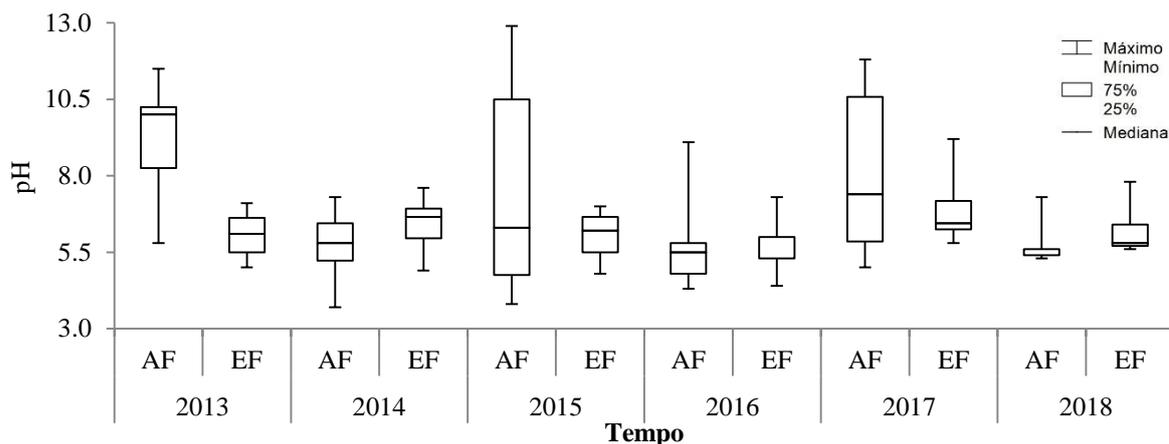


Fonte: Autor (2018).

Segundo Cruz (2007), Giordano (2004) e Weber (2006), o pH do efluente em indústria de refrigerantes varia de acordo com o tipo de embalagens produzida. A utilização de soda cáustica para lavagem de embalagens retornáveis pode conferir um pH de até 12 ao efluente, com DQO máxima de 1.000 mgO₂/L, enquanto que na produção de embalagens descartáveis gera um pH ácido, com DQO de até 5.000 mgO₂/L. Essa relação foi observada entre o afluente da ETE monitorada, conforme pode-se observa nas Figuras 11 e 16.

Em termos de variabilidade, pH apresentou a menor variabilidade entre os parâmetros analisados do grupo I do monitoramento da ETE, apresentando C.V de 30,06%, para o afluente e 10,65%, para o efluente. A distribuição dos dados do pH poder ser observada no gráfico *Boxplot* da Figura 17

Figura 17 - Boxplot para o pH do afluente e efluente da ETE



Fonte: Autor (2018).

4.2.2 Temperatura, SST, SSS e óleos e graxas – Grupo II

As temperaturas encontradas durante o monitoramento variaram entre 21 e 34°C, com valores médios de 25,55°C e 27,29°C, para o afluente e efluente da ETE, respectivamente. Isso mostra a predominância de temperaturas na faixa mesofílica (20-45°C).

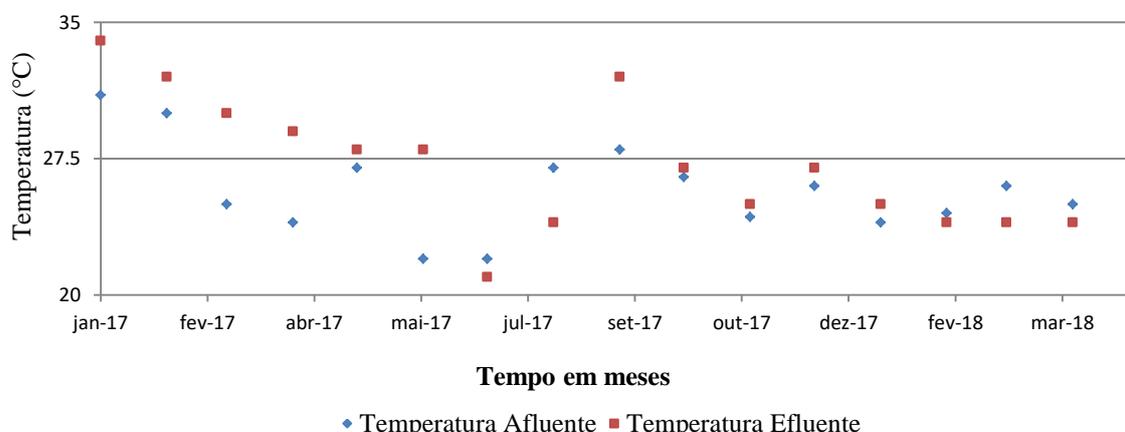
A temperatura exerce influencia direta na realização das reações bioquímicas e solubilidade do oxigênio (O₂), reduzindo a solubilidade do O₂ e aumentando as reações bioquímicas com o seu aumento. Para os processos biológicos as temperaturas ótimas estão situadas na faixa entre 25-35°C. Temperaturas demasiadamente elevadas são indesejáveis, provocando o crescimento de plantas e fungos aquáticos (METCALF; EDDY, 2015).

A legislação estabelece a temperatura máxima de 40°C para o lançamento de efluentes, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura⁵ (BRASIL, 2011).

Dessa forma, as temperaturas observadas durante o monitoramento encontraram-se dentro da faixa ótima para atividades biológicas e da legislação vigente, sendo seu comportamento durante o período de monitoramento da ETE exposto na Figura 18.

⁵ Região do corpo receptor que se estende do ponto de lançamento do efluente até atingir o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos e químicos, bem como o equilíbrio biológico do efluente e os do corpo receptor (Brasil, 2011).

Figura 18 - Comportamento da temperatura durante o monitoramento da ETE.



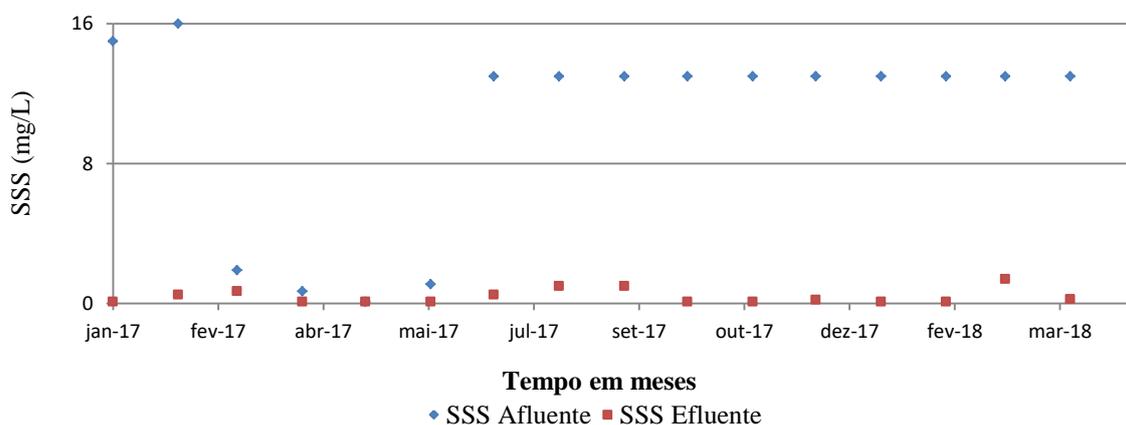
Fonte: Autor (2018).

Entre os sólidos, os sólidos solúveis sedimentáveis (SSS) apresentaram a maior eficiência de remoção 88,16%, com valores médios de 10,46 mg/L, para o afluente, e 0,38 mg/L, para o efluente da ETE. A mesma eficiência não foi observada para remoção dos sólidos solúveis totais (SST), que apresentou resultado inferior (48,73%).

As legislações aplicáveis aos efluentes, Resolução nº 357 de 03/2005 e na Resolução 430 de 05/2011, estabelecem o limite de 0,1 mg/L para os SSS. Sendo assim, a ETE apresentou níveis satisfatórios de remoção, produzindo um efluente em conformidade com a legislação vigente, com relação aos SSS. Quanto aos SST, a legislação não faz menção a esse parâmetro.

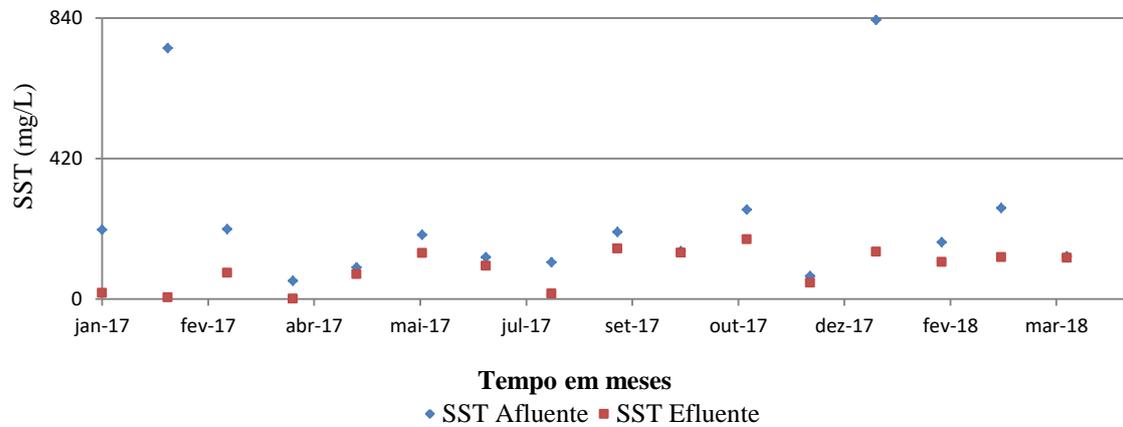
O comportamento dos SSS e SST durante o monitoramento da ETE é mostrado nas Figuras 19-20.

Figura 19 - Comportamento dos SSS durante o monitoramento da ETE.



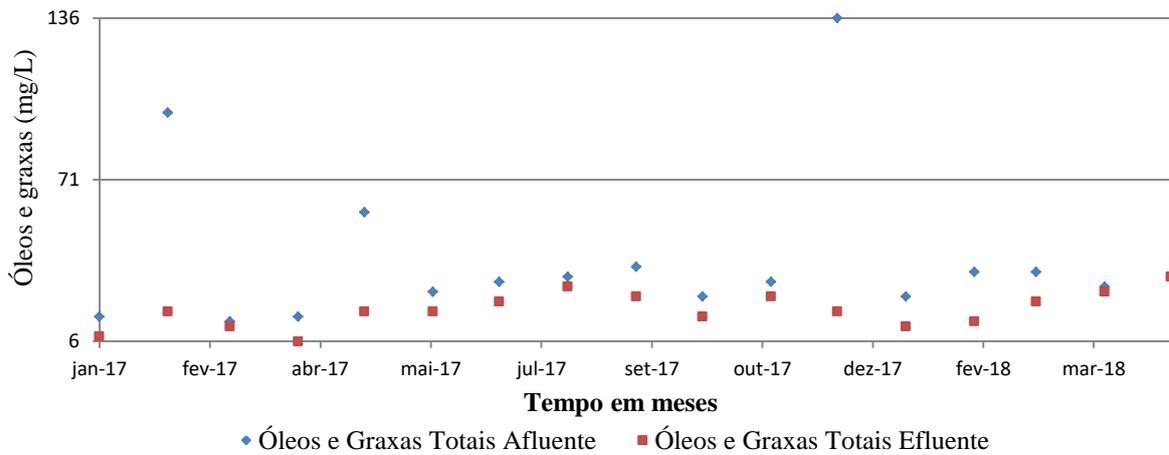
Fonte: Autor (2018).

Figura 20 - Comportamento dos SST durante o monitoramento da ETE.



Fonte: Autor (2018).

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem animal, mineral ou vegetal. A origem desses compostos no efluente gerado pela indústria de bebidas estudada está relacionada aos lubrificantes e graxas utilizados na manutenção das máquinas, bem como a utilização de extratos vegetais na fabricação de bebidas (Ex.: gengibre, jurubeba, etc.). Essas substâncias causam sérios danos ao meio ambiente em concentrações maiores que 65mg/L, impactando de forma inibitória os processos biológicos aeróbios, devido formação de uma película que impossibilita as células bacterianas de utilizarem oxigênio, intoxicando o lodo aeróbio. Além disso, durante o seu processo de decomposição os óleos e graxas reduzem o oxigênio dissolvido, o que aumentando a DQO e DBO do afluente. Diante disso, as legislações ambientais brasileiras estabelecem o limite de 50 mg/L para o lançamento de efluentes contendo óleos e gorduras (BRASIL, 2011; GIORDANO, 2004; KICH, BÖCKEL, 2017; NETO, 2012). O comportamento dos óleos e gorduras durante o monitoramento da ETE é exibido na Figura 21.

Figura 21 - Comportamento dos óleos e graxas durante o monitoramento da ETE.

Fonte: Autor (2018).

Foram encontrados valores médios de óleos e gorduras de 39,29 mg/L, para o afluente, e 18,71 mg/L para o efluente da ETE (Figura 21). Esses valores estão abaixo do valor exigido pelas legislações ambientais (50 mg/L), e abaixo do valor recomendado para estabilidade dos sistemas aeróbios (65 mg/L).

4.2.3 Desempenho da ETE existente

A análise dos dados do monitoramento mostrou um bom funcionamento da ETE da indústria de bebidas estudada. O sistema aeróbio adotado no tratamento dos efluentes dessa indústria mostrou-se adequado, conseguindo níveis elevados de remoção da carga orgânica. Isso se deve a maior robustez das bactérias aeróbias em relação à variação de carga aplicada ao sistema e presença de compostos tóxicos, quando comparadas com os microrganismos anaeróbios (CHERNICHARO et al., 1999; VERSIANI, 2005).

Os demais parâmetros apresentam-se em conformidade com os padrões de lançamento de efluentes delimitados pelas legislações ambientais aplicáveis, sendo as características do afluente e efluente da ETE expostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição média do efluente e afluente da ETE em relação aos parâmetros estudados.

Parâmetros	Afluente	Efluente	Eficiência média de remoção (%)	CONAMA N° 430	
DQO (mg O ₂ /L)	2072,94	484,92	73,70	Remoção ≥ 60%	
DBO (mg O ₂ /L)	903,61	103,88	84,20		
pH	7,02	6,29			5-9
Temperatura (°C)	25,55	27,29			< 40
SST (mg/L)	228,25	86,33	48,73		
SSS (mL/L)	10,46	0,38	88,16		< 1,0
Óleos e graxas (mg/L)	39,29	18,71	39,53		50

Fonte: Autor (2018).

4.3 Tratabilidade anaeróbia do efluente

A tratabilidade anaeróbia do efluente real de uma indústria de bebidas foi avaliada por meio de análises diárias de pH, alcalinidade total, AGV, turbidez, STD e temperatura; sendo o desempenho do processo medido através da análise de DQO.

4.3.1 DQO

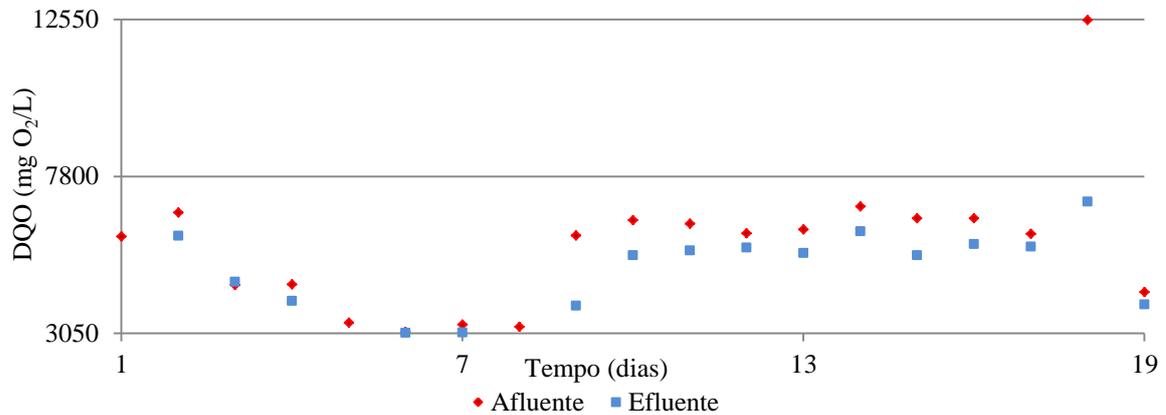
A análise do desempenho do reator UASB apresentou valores médios para DQO do afluente e efluente do reator de 5716,13 mgO₂/L e 4620,42 mgO₂/L, respectivamente. A eficiência média de remoção de DQO encontrada foi de 16,23%, muito abaixo dos valores encontrado em literatura. Segundo Chen, Seng, Hung (2006), um reator UASB em condição padrão de funcionamento é capaz de remover entre 75% a 85% da DQO. Silveira, Penafort, Alves (2007), ao avaliar o desempenho de um reator UASB, em escala industrial, utilizado no tratamento de efluentes de uma indústria de refrigerantes, encontram níveis de eficiência de remoção de DQO entre 90,08% e 98,9%, com valor médio de 95,5%. Resultados similares foram obtidos por Kalyuzhnyi, Saucedo, Martinez (1997), ao avaliar o tratamento anaeróbio do efluente de uma indústria de refrigerantes utilizando um reator UASB e um reator híbrido, conseguindo uma eficiência média de 80% nos dois processos.

Uma explicação para os resultados obtidos pode ser atribuída à presença de compostos recalcitrantes no efluente tratado. Hamdi (1992), ao estudar a toxicidade e biodegradabilidade dos efluentes da moagem de olivas constatou que a presença de compostos tóxicos nos efluentes, como compostos fenólicos simples, certos ácidos orgânicos e polifenóis, inibe a atividade das *Archeas* metanogênicas. Isso limita o processo de digestão anaeróbia, que acaba apresentado baixa eficiência na remoção da carga orgânica e produção

de metano, sendo necessária a utilização de métodos que modifiquem ou removam esses compostos inibidores naturais.

A variação da DQO durante o experimento pode ser observada na Figura 22.

Figura 22 - DQO do afluente e efluente do reator UASB.



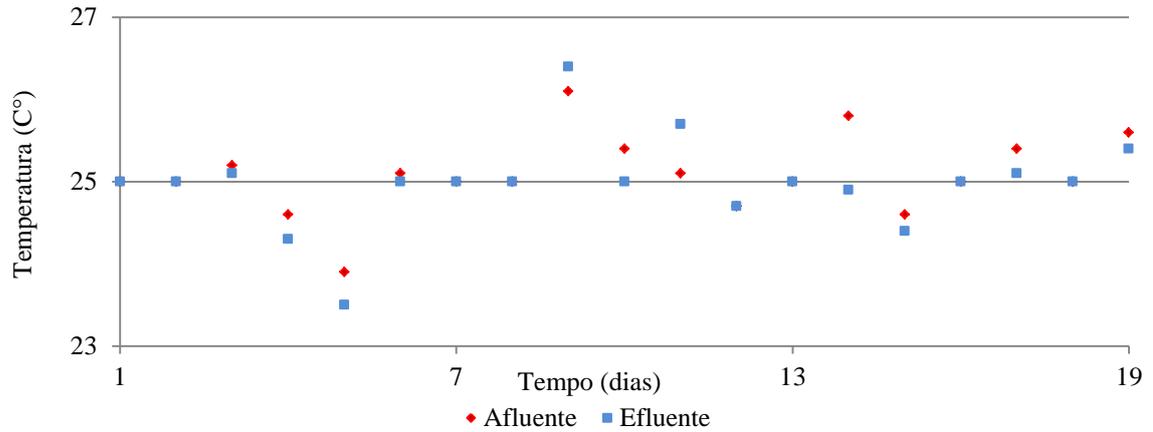
Fonte: Autor (2018).

4.3.3 Temperatura

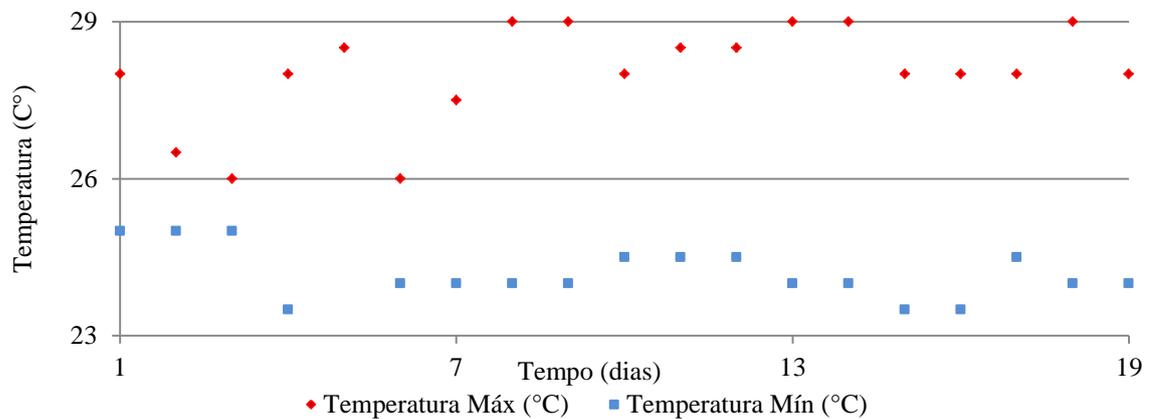
Foram observadas durante o período de experimento temperaturas médias de 25,08°C, na entrada do reator, e 24,97°C, na saída do reator. Esses resultados mostram que reator foi operado em temperaturas abaixo das temperaturas ótimas para digestão anaeróbia, contudo, dentro da faixa de temperatura recomenda para reatores anaeróbios.

Segundo Chernicharo et al. (1999), a temperatura ótima para digestão anaeróbia (30 a 35°C) é difícil de ser atingida, uma vez que a temperatura do afluente varia com a região onde se encontra. Dessa forma, é preferível a operação dos reatores anaeróbios em temperaturas entre 25-35°C, o que proporciona uma melhor degradação biológica e estabilidade de tratamento (METCALF; EDDY, 2015).

O experimento foi realizado no período de inverno, fator que, em combinação com a baixa variação de temperatura do laboratório, contribui para as temperaturas observadas, uma vez que o sistema não dispunha de controle de temperatura. As variações de temperatura do afluente e efluente do UASB e do laboratório podem ser observadas nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 - Temperatura do afluente e efluente do reator UASB.

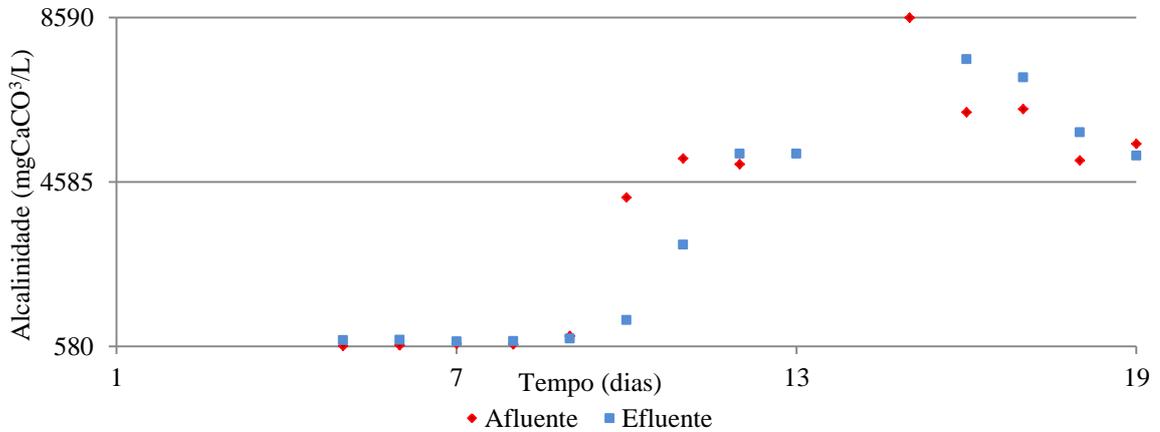
Fonte: Autor (2018).

Figura 24 - Temperaturas máximas e mínimas do laboratório.

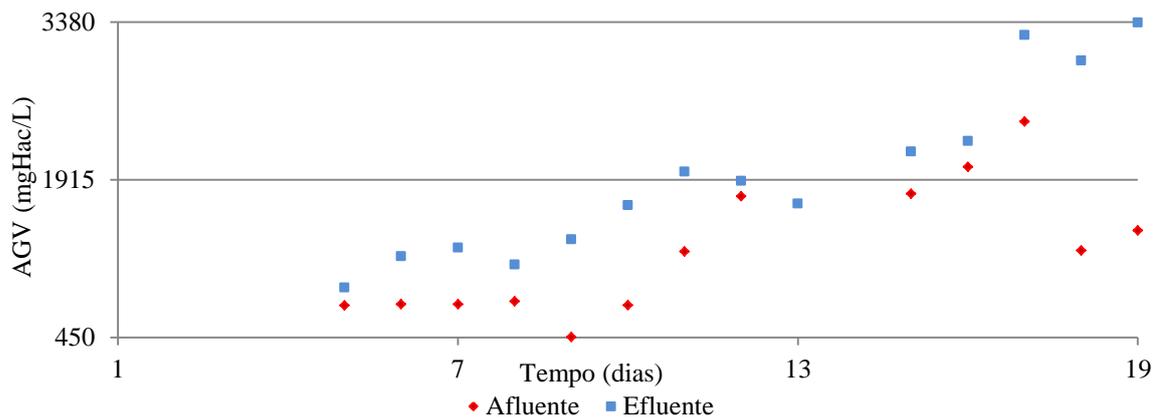
Fonte: Autor (2018).

4.3.4 Alcalinidade, AGV, pH, Condutividade, STD e Turbidez

A análise da alcalinidade total apresentou médias de 3806,75 mgCaCO₃/L e 3808,80 mgCaCO₃/L, para o afluente e efluente do reator UASB, respectivamente. Já os ácidos graxos voláteis (AGV), apresentaram valores médios de 1249,75 mgHac /L, para o afluente, e 1947,21 mgHac /L, para o efluente. O comportamento desses parâmetros durante o experimento pode ser observado nas Figuras 25 e 26, onde as descontinuidades observadas referem-se aos dias em que não houve análise.

Figura 25 - Alcalinidade do afluente e efluente do reator UASB.

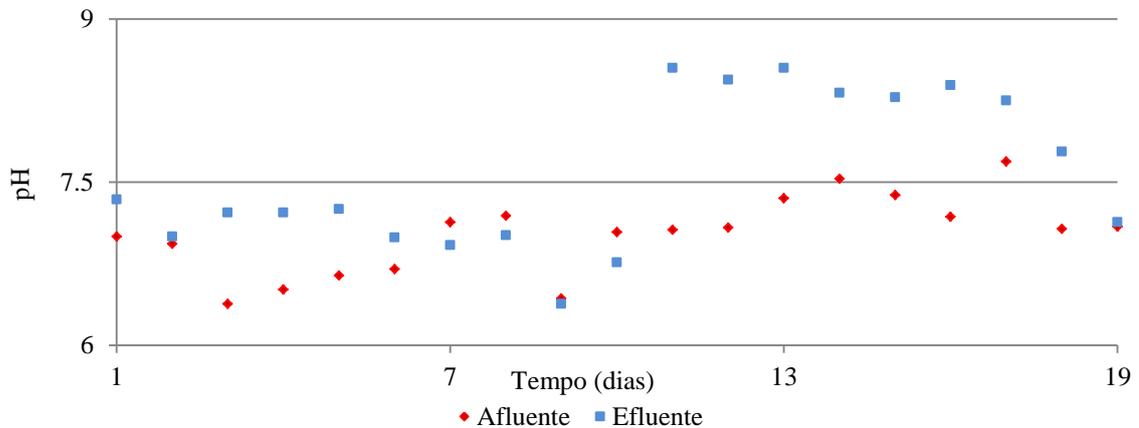
Fonte: Autor (2018).

Figura 26 - AGV do afluente e efluente do reator UASB.

Fonte: Autor (2018).

Ao analisar as Figura 25 e 26 observa-se que o sistema apresentou baixa produção de alcalinidade e acúmulo de AGV durante o processo de digestão anaeróbia. Em efluentes com baixa alcalinidade o metabolismo de proteínas e aminoácidos é suficiente para produzi-la na forma de $\text{NH}_4(\text{HCO}_3^-)$. Entretanto, quando ausente, ou em efluentes industriais contendo carbo-hidratos, é necessário suprimento para controlar o pH, geralmente pela adição de bicarbonato de sódio, cal ou carbonato de sódio (METCALF; EDDY, 2015).

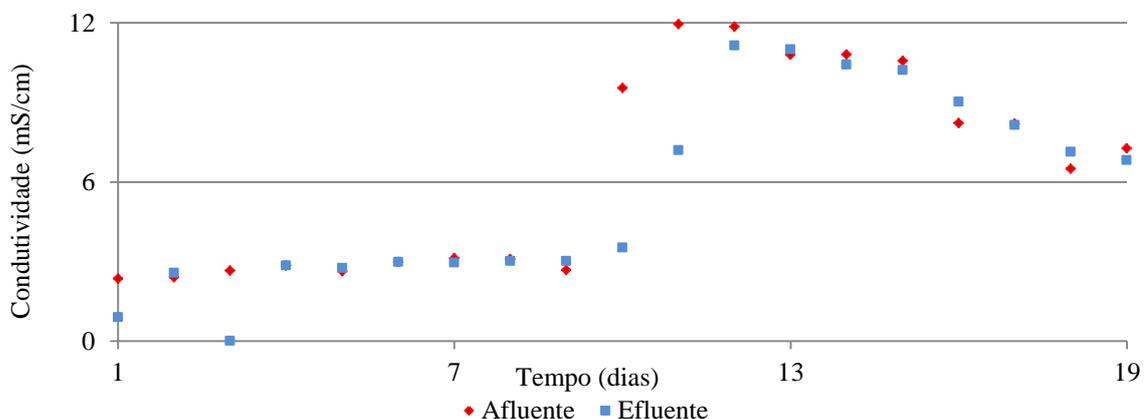
O pH do sistema variou entre 6,38 e 8,55, com valores médios de 7,02, pra o afluente, e 7,57, para efluente. A figura 27 mostra a variação dos valores do pH do sistema durante o tratamento anaeróbio da indústria de bebidas em reator UASB.

Figura 27 - pH do afluente e efluente do reator UASB.

Fonte: Autor (2018).

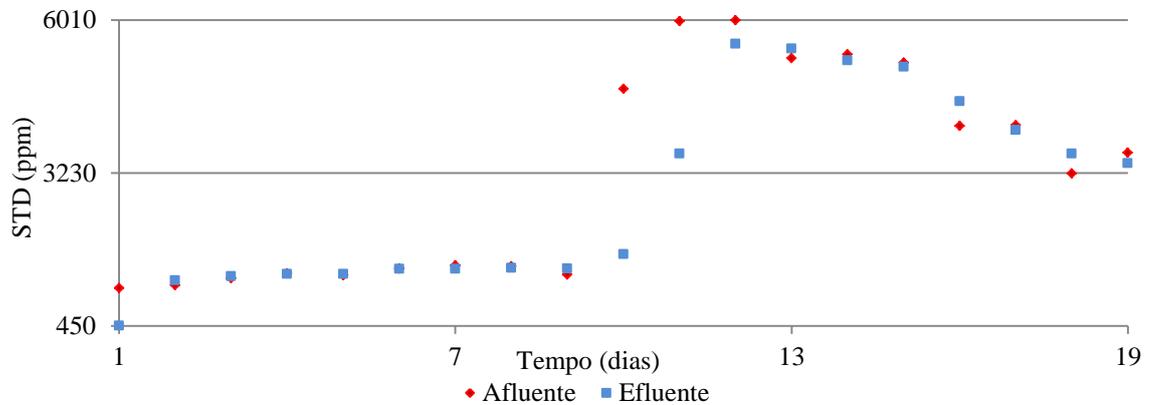
A partir da Figura 27, observa-se que o sistema apresenta queda do pH do efluente a começar do sétimo dia de análise. Essa ação continua até o 9º dia, quando inicia-se a adição de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) para correção do pH do afluente. Concomitante a esse processo é observado aumento de AGV no efluente do reator (Figura 26), o que mostra que o processo de digestão anaeróbia, antes da adição do alcalinizante NaHCO_3 , sofrera da ação de compostos inibitórios. O acúmulo de AGV está associado a estresses provocado pela ação de compostos tóxicos sobre a microbiota anaeróbia, resultando na queda de pH, consumo da alcalinidade e redução da produção de metano (AQUINO, CHERNICHARO, 2005; METCALF; EDDY, 2015).

Os parâmetros, como a condutividade e sólidos dissolvidos totais (SDT), também sofrem influencia devido a adição do NaHCO_3 como alcalinizante, apresentando aumento a partir do 11º dia (Figura 24 e 25).

Figura 28 - Condutividade do afluente e efluente do reator UASB.

Fonte: Autor (2018).

Figura 29 - STD do afluente e efluente do reator UASB.

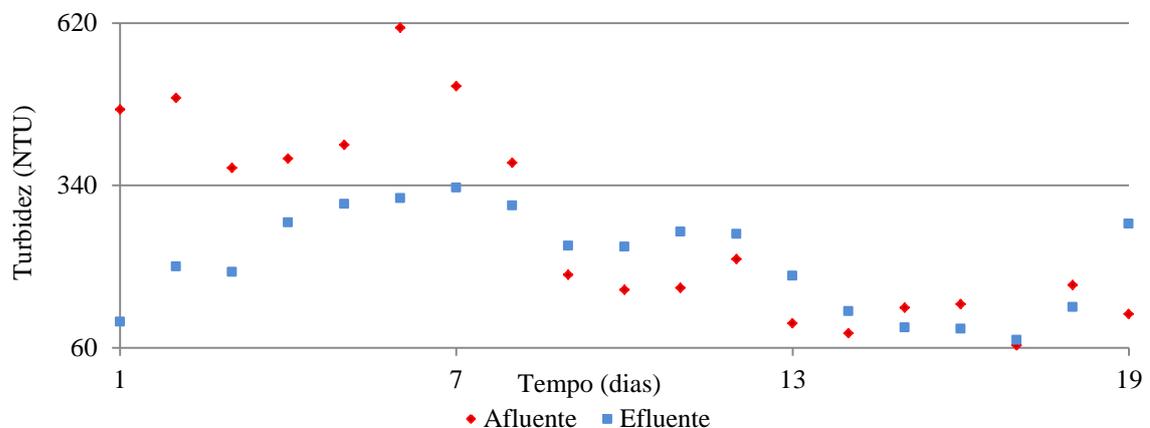


Fonte: Autor (2018).

Os valores médios da condutividade foram de 6,34 mS/cm, para o afluente, e 5,56 mS/cm, para o efluente. Já os STD apresentam valores médios de 3806,75 ppm e 3808,00 ppm para o afluente e efluente, respectivamente.

A turbidez apresentou comportamento contrário ao apresentado pelos parâmetros de condutividade e STD, apresentando redução a partir do 9º dia de operação. Os valores mínimos foram alcançados no 17º de análises, 63,9 NTU para o afluente e 73,6 NTU para o efluente. No entanto, redução média para turbidez foi baixa, cerca de 22,65%, cujo o valor médio para o afluente foi de 271,22 NTU e 210,39 NTU para o efluente. A Figura 30 exibe o comportamento da turbidez durante o período de análises.

Figura 30 - Turbidez do afluente e efluente do reator UASB.



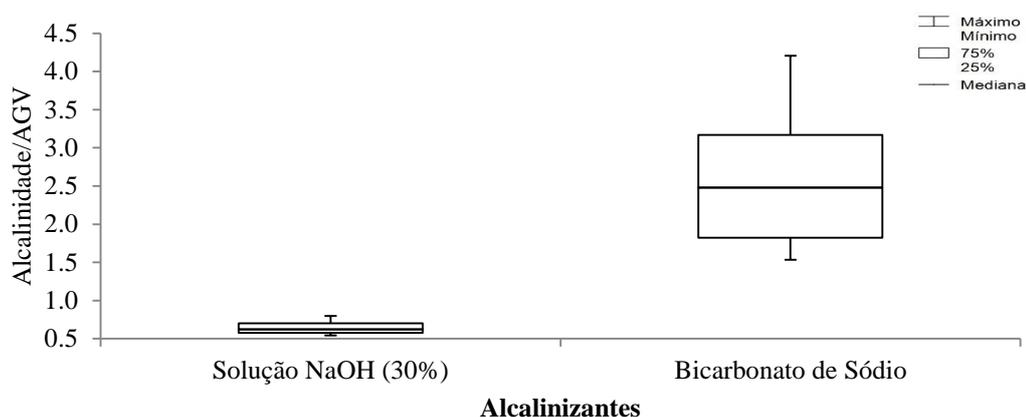
Fonte: Autor (2018).

4.3.4 Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente

Os resultados obtidos mostraram-se aquém do esperado para o tratamento de efluente da indústria de bebidas utilizando reator UASB. O sistema apresentou baixa eficiência de remoção de DQO (16,23%), baixa capacidade alcalinizante e acúmulo de AGV's, mostrando uma desestabilização do reator operado.

A relação Alcalinidade/AGV é utilizada como indicador de estabilidade de reatores tipo UASB, devendo apresentar valor mínimo de 4 para um sistema estável (CHEN; SENG; HUNG, 2006). A Figura 31 exibe o gráfico *Boxplot* da relação Alcalinidade/AGV, mostrando a variabilidade do fator com relação à substância alcalinizante utilizada para a correção do pH.

Figura 31 – *Boxplot* da relação alcalinidade/AGV do efluente do reator UASB



Fonte: Autor (2018).

Pode-se observar que apesar da utilização de dois alcalinizantes não foi possível suprir a alcalinidade necessária para estabilização do reator, obtendo-se valores abaixo do recomendado em literatura para relação alcalinidade/AGV. Os valores médios para essa relação foram de 0,65 e 2,57, para o primeiro (solução de NaOH a 30%) e o segundo alcalinizante (NaHCO_3), respectivamente.

O experimento operou dentro da faixa de temperatura indicada por Metcalf, Eddy (2015), para tratamentos anaeróbios (25-35°C). Quanto ao pH, os valores observados ficaram acima de 6,2, valor recomendado por Lettinga (1995), evitando assim a acidificação do reator. Segundo Pereira, Campos, Monetari (2009), os AGV podem estar presentes na forma tóxica (não ionizada) e não tóxica (ionizada), durante o processo de digestão anaeróbia. A redução do pH do meio reacional provoca a desassociação dos AGV, que em $\text{pH} < 6,0$ causa inibições severas as *Acheas* metanogênicas. Isso então favorecerá as bactérias fermentativas, que

apresentam atividade ótima em meio ácido (pH 4,5), acidificando a unidade de tratamento (pH 4,0-5,0) quando em condições de sobrecarregar das *Acheas* metanogênicas. Dessa forma, recomenda-se manter o pH entre 6,7 e 8,0, para processo de tratamento anaeróbio.

As características do afluente e efluente do reator UASB utilizado são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variância (C.V.) dos parâmetros analisados para o afluente e efluente do reator UASB.

Parâmetros	Afluente	Desvio padrão (Afluente)	C.V. (%) (Afluente)	Efluente	Desvio padrão (Efluente)	C.V. (%) (Efluente)
DQO (mg O ₂ /L)	5716,13	1440,56	25,20	4620,42	1244,53	26,94
pH	7,02	0,27	3,82	7,57	0,63	8,38
Temperatura (°C)	25,08	0,32	1,29	24,97	0,32	3,82
Condutividade (mS/cm)	6,34	3,40	53,65	5,56	3,27	58,77
STD (ppm)	3163,74	1692,38	53,49	2854,36	1572,40	55,09
Turbidez (NTU)	271,22	153,71	56,68	210,39	73,59	34,94
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	3806,75	2421,72	63,62	3808,80	2679,04	70,34
AGV (mgHac/L)	1249,75	498,77	39,91	1947,21	630,89	32,40

Fonte: Autor (2018).

Uma possível explicação para os resultados observados pode ser atribuída à presença de compostos antibióticos ou recalcitrantes existentes nos efluentes. Com base no estudo do processo produtivo da indústria de bebidas estuda, realizado neste trabalho, constatou-se que as águas residuárias do processo de fabricação de bebidas alcoólicas de jurubeba e gengibre podem conter compostos bioativos. O fato da realização das coletas coincidirem, na maioria das vezes, com os horários de produção desses produtos, contribuiu para uma maior quantidade do efluente desses processos produtivos nas amostras coletadas. Essas plantas possuem compostos de características tóxicas para microbiota anaeróbia, o que dificulta sua tratabilidade por processos anaeróbios.

A presença de substâncias tóxicas é frequentemente associada à falha dos reatores anaeróbios, em função do efeito inibitório exercido sobre o crescimento de microrganismos acetogênicos e metanogênicos acetoclásticos. A toxicidade dessas substâncias sofre influência da concentração da substância tóxica, tempo de exposição, idade do lodo, quantidade de biomassa presente no reator, alimentação, aclimatização e temperatura. Em geral pode observar-se redução na produção de metano, redução do pH, acúmulo de AGV's e perda de hidrogênio como efeito tóxico das substâncias (AQUINO; CHERNICHARO, 2005; CHEN; CHENG; CREAMER, 2008).

A jurubeba, ou *Solanum paniculatum L.*, é uma planta oriunda de regiões tropicais, frequentemente encontrada nas regiões norte e nordeste do país em função de sua resistência à seca. As suas raízes, folhas e frutas possuem importância medicinal, sendo esta espécie listada na Farmacopeia Brasileira como uma droga oficial (SANTOS, 2013). Alguns compostos fotoquímicos têm sido relatados em espécies do gênero *Solanum*, como flavonoides, amidas, esteroides, lignina, saponinas esteroidais e alcaloides esteroidais (JÚNIOR, *et al.*, 2015).

Já o gengibre (*Zingiber officinale Roscoe*) é uma herbácea que apresenta terpenos, compostos fenólicos, alcalóides, oleoresinas extraíveis, gorduras, ceras, carboidratos, vitaminas, minerais e enzima proteolítica (zigibain), possuindo ampla utilização como medicamento fitoterápico (NETO, 2012).

Na Tabela 4 encontram-se alguns compostos presentes na Jurubeba e no Gengibre e os respectivos efeitos a digestão anaeróbia.

Tabela 7 - Alguns compostos presentes na Jurubeba e Gengibre e seus efeitos na digestão anaeróbia

Composto	Efeito	Referência
Flavonoides	Associado a produção de ácidos aromáticos durante a digestão anaeróbia, com efeito inibitório a produção de metano.	(LANE, 1980); (WIKANDARI, <i>et al.</i> , 2017).
Saponinas	Em certas concentrações estimula a produção de AGV e inibi a produção de metano.	(PRABHUDESSAI; GANGULY; MUTNURI, 2009)
Lignina	Apresenta derivados extremamente tóxicos para as <i>Archeas</i> metanogênicas, o que reduz a produção de metano.	(CHEN; CHENG; CREAMER, 2008)
Polifenóis	Inibe a atividade das <i>Archeas</i> metanogênicas, reduzindo a eficiência de remoção de matéria orgânica e produção de metano.	(HAMDI, 1992)

Fonte: Autor (2018).

Em comparação ao Tratamento aeróbio já existente na empresa e observando nos dados do monitoramento a ETE avaliados neste trabalho, observou-se que a Tecnologia do FBA é adequada, visto que os processos aeróbios são mais robustos em aceitar cargas tóxicas eliminadas mais facilmente pelos organismos aeróbios que anaeróbios, além de aceitar mais as variações sazonais de produção em termos de carga aplicada (vazão, concentração) de poluentes (CHERNICHARO *et al.*, 1999; VERSIANI, 2005).

5 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados do monitoramento da ETE estudada neste trabalho, pode-se concluir que a unidade opera a níveis satisfatórios, conseguindo uma boa redução da carga orgânica, produzindo efluentes dentro das especificações das legislações brasileiras vigentes. Esse resultado demonstra a capacidade dos processos aeróbios em suportar variações na carga orgânica aplicada ao afluente do sistema e presença de compostos tóxicos no efluente.

A avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente real da indústria de bebidas em reator UASB mostrou-se inviável, atribuindo-se a falha do processo à presença de substâncias tóxicas provenientes dos efluentes produzidos durante a fabricação de bebidas alcoólicas compostas (gingibre e jurubeba). A presença desses compostos no efluente ocasionou acúmulo de AGV, baixa produção de alcalinidade e baixa eficiência de remoção de matéria orgânica em DQO (16,23%). Esse fato confirma a escolha de processos aeróbios como a melhor opção de tratamento para o efluente da indústria estudada.

Dessa forma recomenda-se o estudo da aclimatização do lodo anaeróbio, ou a remoção ou redução dos compostos tóxicos encontrados como possível solução a digestão anaeróbia desse tipo de efluente.

6 REFERÊNCIAS

- ANA. **Água na indústria: Uso e coeficientes técnicos**. Brasília: Agência Nacional de Águas ANA, p. 37, 2017.
- ANDRADE, R. B.; BARRETO, G. A.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, R. P. D.; COSTA, S. S.; UMSZA-GUEZ, M. A. Estudo fitoquímico do resíduo da jurubeba (*Solanum paniculatum* L.) utilizada na produção de vinho tinto composto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 25., 2016, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCTA Regional, RS, 2016. p. 102-107.
- AQUINO, A. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. **Engenharia sanitária ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, nº 2, p. 152-161, abr. 2005.
- BENNETT, Anthony. Food & drink: New technologies in feed water and effluent treatment. **Filtration Separation**, v. 51, n. 3, p. 18-22, 2014.
- BORGES, E. A. M. A.; SANTOS, A. S. P. Desenvolvimento da Aplicação dos Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB) no Brasil. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 247-264, jul. 2017.
- BRASIL. Decreto nº 6.871, de junho de 2009. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Centro de Documentação e Informação**, Brasília, DF, 4 junho de 2009.
- BRASIL. Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 de julho de 1994.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 maio 2011, p. 89.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº. 357, 17 março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005, p. 58-63.
- BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: a review on trends and advances. **Journal of environmental management**, v. 161, p. 287-302, 2015.
- CARMANATI, H. B. Modelagem e otimização de sistemas MBBR para tratamento de efluentes. Dissertação (Dissertação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 147. 2016.

CHEN, J. P.; SENG, S. S.; HUNG, Y.T. Soft drink waste treatment. In: WANG, L. K.; HUNG, Y. T.; LO, H. H.; YAPIJAKIS, C. **Wastewater Treatment**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.p.255-269.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource technology**. New York, v. 99, n. 10, p. 4044-4064, mar. 2008.

CHERNICHARO, C. A. L.;VAN HAADEL, A; AISSE, M. M.; CAVALCANTI, F. F. Reatores anaeróbios de manta de lodo. In: CAMPOS, J. R. (Org.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 155-198.

CNI. **Sustentabilidade na indústria da alimentação**. Brasília, DF, 2017. 76 p.

CRUZ, J. G. B. D. Utilização de reatores microbianos com células imobilizadas no tratamento de efluentes de uma indústria de bebidas. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 79, 2007.

DEZOTTI, M. **Processo e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 360p.

FERREIRA, A. L. T. S. Remoção biológica simultânea de fósforo e nitrogênio de esgoto sanitário em reatores sequenciais em batelada. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 165. 2014.

FERREIRA, I. C. S. Tratamento terciário da indústria de laticínios através da adsorção de lactose em argila esmectítica. Dissertação (Dissertação em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 94. 2007.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 504-511, ago. 2000.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 76, 2004.

GOOGLEMAPS. Vista aérea do Indústria de Bebidas Garanhuns – Produtos Jatobá. 2018. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/search/ind%C3%BAstria+jatob%C3%A1/@-8.9046415,-36.5020086,1123m/data=!3m1!1e3> >. Acesso em 10 de Agosto de 2018.

HAMDI, M. Toxicity and Biodegradability of olive mill wastewaters in batch anaerobic digestion. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 37, n. 2, p. 155-163, 1992.

HSINE, E. A.; BENHAMMOU, A.; PONS, M. N. Water resources management in soft drink industry – water and wastewater generation. **Environmental Technology**, v. 26, p. 1309-1316. set. 2005.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. 2004. Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos. UNICAMP. Campinas.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5ª ed. Rio de Janeiro, ABES. v.1. 2009.

JÚNIOR, G. M. V.; ROCHA, C. Q.; RODRIGUES, T. S.; HIRUMA-LIMA, C. A.; VIEGAS, W. New steroidal saponins and antiulcer activity from *Solanum paniculatum* L. **Food chemistry**. New York, v. 186, p. 160-167. 2015.

JÚNIOR, O. C.; TEIXEIRA, J. R.; GALINARI, R.; RAWET, E. L.; SILVEIRA, C. T. J. O setor de bebidas no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 40, p. 93-130, set. 2014.

KALYUZHNYI, S. V.; SAUCEDO, J. V.; MARTINEZ, J. R. The anaerobic treatment of soft drink wastewater in UASB and hybrid reactors. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 66, n. 3, p. 291-301, 1997.

KIRCK, M.; BÖCKEL, W. J. Análise de óleos e graxas em efluentes por espectrofotometria. **Estação Científica (UNIFAP)**. Macapá, v. 7, n. 3, p. 61-69, set. 2017.

KONCAGÜL, E.; TRAN, M.; CONNOR, R.; UHLENBROOK, S.; ORTIGARA, A. R. C. Águas residuais, o recurso inexplorado Fatos e Números. In: _____. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. Colombella: UNESCO, p. 12, 2017.

LANE, A. G. Production of aromatic acids during anaerobic digestion of citrus peel. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, North Ryde, v. 30, n. 1, p. 345-350, fev. 1980.

LEMONS, C. F.; GOMES, J. J. **Glossário Ambiental**. Joinville: Clube dos Autores, 2008. 217p.

LETTINGA, G. Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 67, n. 1, p. 3-28, 1995.

MACHADO, R. M. G.; SILVA, P. C.; FREIRE, V. H. Controle ambiental em indústrias de laticínios. **Brasil Alimentos**, v. 7, p. 34-36, 2001.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5ª ed. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil, 2015. 2008p.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. **Revista ABES**, Rio de Janeiro, p. 428, 2009.

NASCIMENTO, R. A. Desempenho de reator anaeróbico de manta de lodo utilizando efluentes líquidos de indústria alimentícia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 139, 1996.

NETO, A. G. S. Estudo dos efeitos vasculares e renais causados pelo 6-Gingerol isolado do gengibre. Dissertação (Dissertação em Farmacologia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 103, 2012.

OLMI, V. R.; PIRES, A. M. B.; RAMOS, A. L. S.; KAMEYAMA, O.; MANCILHA, I. M.; PASSOS, F. J. V. Avaliação do comportamento de um substrato sintético e de um efluente de

suinocultura no tratamento anaeróbio de reatores UASB. **Revista Ceres**, v. 53, n. 307, p. 418-424, maio 2015.

PEIXOTO, G. Produção de hidrogênio em reator anaeróbio de leito fixo e fluxo ascendente a partir de água residuária de indústria de refrigerantes. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) Universidade de São Paulo, São Paulo, p.123. 2008.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTENARI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água**. Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009.

PHA, AWWA, WEF. "Standard methods for the examination of water and wastewater". 19th. edn. **American Public Health Association**. Washington, DC. 1998.

PRABHUDESSAI, V.; GANGULY, A.; MUTNURI, S. Effect of caffeine and saponin on anaerobic digestion of food waste. **Annals of microbiology**, v. 59, n. 4, p. 643-648, out. 2009.

QUEIROZ, A. P. F.; SANTOS, A. F. M. S.; ARRUDA, V. C. M.; SILVA, J. C. B.; TAVARES, R. G. Determinação de parâmetros hidráulicos e operacionais e partida de reator UASB experimental. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENÇÃO, 16., 2016, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2016. p. 2420.

ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**. 1ª ed. Porto Alegre, Bookman. 2004.

RODRIGUES, A. C.; OLIVEIRA, J. M.; OLIVEIRA, J. A.; PEIXOTO, J.; NOGUEIRA, REGINA; BRITO, A. R. Tratamento de efluentes vitivinícola: um caso de estudo na região dos vinhos verdes. **Revista Indústria e Ambiente**, v. 40, p. 20-25, jan. 2006.

ROSA, S. E. S.; COSENZA, J. P.; LEÃO, L. T. S. **Panorama do Setor de Bebidas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 23, p. 101-150, mar. 2006.

SANTOS, S. P. A. **Jurubeba: importância e sua utilidade**. Tecnologias Sociais, Recife, v.1, ed. 1, 2013.

SILVEIRA, I. B.; PENAFORT, M. S.; ALVES, C. D. L. Avaliação do desempenho de um reator UASB de uma planta industrial de tratamento de efluentes líquidos. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTIONS, 1., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNIP, 2007.

VALENTE, J. P. S; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Contribuição da cidade de Botucatu-SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética Química**, v. 22, p. 31-48, 1997.

VAN LIER, J. B.; MAHMOUD, N.; ZEEMAN, G. Anaerobic wastewater treatment. In: HENZE, M.; LOOSDRECHT, M. C. M.; EKMA, G. A.; BRDJANOVC, D. **Biological wastewater treatment, principles, modelling and design**, Londres: IWA Publishing, 2008. p. 415-456.

VERSIANI, B. M. Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 77. 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996. 243p.

WEBER, M. I. Avaliação da eficiência de um reator anaeróbico de leito fluidizado para o tratamento de resíduos líquidos da indústria de refrigerantes. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Recursos de Recursos Hídricos e Ambientais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 184. 2006.

WIKANDARI, R.; GUDIPUDI, S.; PANDIYAN, I.; MILATI, R; TAHERZADEH, M. J. Inhibitory effects of fruit flavors on methane production during anaerobic digestion. **Bioresource technology**, New York, v. 145, p. 188-192, fev. 2013.

**APÊNDICE A – Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de
pequeno porte**

Tabela 8 - Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte – Grupo 1 (DQO, DBO, pH).

Ponto	Data	DQO (mg O ₂ /L)		Eficiência de remoção (%)	DBO (mg O ₂ /L)		Eficiência de remoção (%)	pH	
		AF	EF		AF	EF		AF	EF
1	03/13	649.71	491.71	24.32	1866.54	532.22	71.49	11.50	7.10
2	05/13	602.68	122.74	79.63	1073.62	220.28	79.48	9.00	5.50
3	06/13	286.42	164.36	42.62	247.76	133.95	45.94	5.80	6.50
4	07/13	461.20	75.58	83.61	992.03	121.89	87.71	10.00	5.50
5	08/13	4073.21	2147.91	47.27	619.40	76.74	87.61	10.00	6.00
6	09/13	275.33	125.52	54.41	17.34	17.02	1.85	10.00	7.00
7	11/13	1357.26	907.84	33.11	743.30	435.33	41.43	11.00	5.00
8	12/13	2250.56	561.07	75.07	2924.87	374.49	87.20	6.00	6.20
9	01/14	1654.70	336.36	79.67	1002.19	238.45	76.21	6.80	7.00
10	02/14	1654.70	336.36	79.67	1002.19	238.45	76.21	6.80	7.00
11	03/14	780.23	647.07	17.07	277.58	49.43	82.19	6.32	6.74
12	04/14	943.91	563.84	40.27	418.29	135.79	67.54	6.10	6.50
13	05/14	846.81	439.00	48.16	224.65	66.55	70.38	7.30	7.60
14	06/14	985.52	569.39	42.22	746.78	297.72	60.13	5.00	6.60
15	07/14	1276.81	178.23	86.04	232.45	14.34	93.83	5.90	6.90
16	08/14	2636.17	64.49	97.55	676.91	55.80	91.76	5.30	6.70
17	09/14	2511.17	477.84	80.97	860.20	66.18	92.31	5.70	5.80
18	10/14	2503.01	422.36	83.13	978.68	75.33	92.30	3.70	4.90
19	11/14	821.84	161.58	80.34	741.91	64.90	91.25	5.30	6.00
20	12/14	2400.36	513.91	78.59	533.17	141.94	73.38	4.70	5.70
21	01/15	6090.05	1210.23	80.13	8005.25	59.36	99.26	3.80	5.40
22	02/15	6090.05	1077.07	82.31	290.29	28.29	90.25	3.80	5.40
23	03/15	710.88	131.07	81.56	367.22	90.77	75.28	12.20	6.70
24	04/15	1528.08	406.97	73.37	430.68	83.91	80.52	12.90	6.60
25	05/15	1950.94	336.36	82.76	128.86	20.59	84.02	10.00	5.90
26	06/15	1806.68	402.94	77.70	819.69	235.00	71.33	11.00	6.90
27	07/15	2971.85	569.39	80.84	936.46	82.25	91.22	8.50	7.00
28	08/15	2478.04	486.17	80.38	246.98	34.48	86.04	6.30	6.20
29	10/15	1679.07	305.84	81.79	372.15	52.25	85.96	6.00	6.30
30	11/15	2428.11	475.07	80.43	445.98	54.38	87.81	4.40	4.80
31	12/15	2081.33	361.33	82.64	663.05	73.02	88.99	5.10	5.60
32	01/16	791.33	147.71	81.33	381.98	67.20	82.41	5.80	7.30
33	02/16	1074.30	214.29	80.05	535.67	75.36	85.93	4.80	5.00
34	03/16	852.36	133.84	84.30	465.96	84.84	81.79	4.80	6.00
35	04/16	1407.20	261.45	81.42	415.58	81.19	80.46	4.60	5.10
36	05/16	2747.14	452.87	83.51	1206.32	30.09	97.51	5.30	6.00
37	06/16	1035.46	203.20	80.38	613.62	59.79	90.26	4.30	5.50
38	07/16	913.39	347.46	61.96	313.78	18.94	93.96	9.10	4.40
39	08/16	3517.08	1385.01	60.62	909.50	73.18	91.95	5.50	6.00
40	10/16	2866.43	533.33	81.39	1004.90	85.89	91.45	8.00	6.00
41	11/16	3854.04	699.78	81.84	1055.25	30.88	97.07	5.50	6.00
42	12/16	4414.43	533.33	87.92	1082.35	92.25	91.48	5.80	6.70

continua

APÊNDICE A – Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte

Tabela 4 - Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte – Grupo 1 (DQO, DBO, pH).

Ponto	Data	continuação							
		DQO (mg O ₂ /L)		Eficiência de remoção (%)	DBO (mg O ₂ /L)		Eficiência de remoção (%)	pH	
		AF	EF		AF	EF		AF	EF
43	01/17	1401.65	236.49	83.13	1010.58	19.17	98.10	9.10	9.00
44	02/17	1984.23	347.46	82.49	485.14	20.59	95.76	5.00	6.50
45	03/17	2459.00	359.00	85.40	645.00	24.00	96.28	5.00	6.10
46	04/17	2428.11	480.62	80.21	281.46	34.58	87.71	11.80	9.20
47	05/17	2539.07	369.65	85.44	564.54	29.52	94.77	6.00	6.30
48	06/17	3191.01	1762.30	44.77	904.45	117.93	86.96	10.50	7.10
49	07/17	2444.75	569.39	76.71	1079.60	74.32	93.12	11.20	6.70
50	08/17	2147.91	525.13	75.55	1359.18	142.54	89.51	10.80	7.40
51	09/17	1215.78	236.49	80.55	428.60	26.66	93.78	6.10	6.40
52	10/17	2269.98	458.42	79.81	1246.08	58.70	95.29	8.60	5.80
53	11/17	3185.46	596.39	81.28	521.44	57.41	88.99	6.20	6.30
54	12/17	2511.33	461.20	81.64	1794.25	145.66	91.88	5.40	6.10
55	01/18	2650.04	458.42	82.70	987.58	95.98	90.28	5.40	5.80
56	02/18	3116.11	569.39	81.73	685.04	27.53	95.98	5.40	5.70
57	03/18	1753.97	336.82	80.80	1164.97	133.71	88.52	5.30	5.60
58	04/18	2511.33	430.68	82.85	2084.40	185.89	91.08	7.30	7.80
59	05/18	2233.91	430.68	80.72	1199.42	64.25	94.64	5.60	6.40
Média		2072.94	484.92	73.70	903.61	103.88	84.20	7.02	6.29
Máximo		6090.05	2147.91	97.55	8005.25	532.22	99.26	12.90	9.20
Mínimo		275.33	64.49	17.07	17.34	14.34	1.85	3.70	4.40
Desvio		929.25	228.35	12.47	514.71	70.01	10.09	2.11	0.67
C.V.(%)		44.83	47.09	16.92	56.96	67.39	11.99	30.06	10.65
ND		59	59	59	59	59	59	59	59

Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE A – Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte

Tabela 9 - Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte – Grupo 2 (Temperatura e SST)

Ponto	Data	Temperatura (°C)		SST (mg/L)		Eficiência de remoção (%)
		AF	EF	AF	AF	
1	01/17	31.00	34.00	206.25	18.00	91.27
2	02/17	30.00	32.00	750.00	4.26	99.43
3	03/17	25.00	30.00	209.00	78.00	62.68
4	04/17	24.00	29.00	54.00	0.10	99.81
5	05/17	27.00	28.00	94.34	73.58	22.01
6	06/17	22.00	28.00	191.67	136.84	28.61
7	07/17	22.00	21.00	125.00	98.36	21.31
8	08/17	27.00	24.00	109.52	16	85.39
9	09/17	28.00	32.00	200.00	150.00	25.00
10	10/17	26.50	27.00	142.86	137.5	3.75
11	11/17	24.30	25.00	266.67	177.78	33.33
12	12/17	26.00	27.00	68.75	48.1	30.04
13	01/18	24.00	25.00	833.33	141.18	83.06
14	02/18	24.50	24.00	169.23	110.00	35.00
15	03/18	26.00	24.00	271.43	125.00	53.95
16	04/18	25.00	24.00	127.27	122.58	3.69
17	05/18	22.00	30.00	60.87	30.38	50.09
Média		25.55	27.29	228.25	86.33	48.73
Máximo		31.00	34.00	833.33	177.78	99.81
Mínimo		22.00	21.00	54.00	0.10	3.69
Desvio		2.01	2.90	142.17	49.68	27.75
C.V.(%)		7.89	10.62	62.29	57.54	56.94
ND		17	17	17	17	17

Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE A – Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte

Tabela 10 - Parâmetros do monitoramento da ETE da indústria de bebidas de pequeno porte – Grupo 2 (SSS e Óleos e gorduras)

Ponto	Data	SSS (mg/L)		Eficiência de remoção (%)	Óleos e gorduras (mg/L)		Eficiência de remoção (%)
		AF	AF		AF	AF	
1	01/17	15.00	0.10	99.33	16.00	8.00	50.00
2	02/17	16.00	0.50	96.88	98.00	18.00	81.63
3	03/17	1.90	0.70	63.16	14.00	12.00	14.29
4	04/17	0.70	0.10	85.71	16.00	6.00	62.50
5	05/17	0.10	0.10	0.00	58.00	18.00	68.97
6	06/17	1.10	0.10	90.91	26.00	18.00	30.77
7	07/17	13.00	0.50	96.15	30.00	22.00	26.67
8	08/17	13.00	1	92.31	32.00	28	12.50
9	09/17	13.00	1.00	92.31	36.00	24.00	33.33
10	10/17	13.00	0.10	99.23	24.00	16.00	33.33
11	11/17	13.00	0.10	99.23	30.00	24.00	20.00
12	12/17	13.00	0.20	98.46	136.00	18.00	86.76
13	01/18	13.00	0.10	99.23	24.00	12.00	50.00
14	02/18	13.00	0.10	99.23	34.00	14.00	58.82
15	03/18	13.00	1.40	89.23	34.00	22.00	35.29
16	04/18	13.00	0.25	98.08	28.00	26.00	7.14
17	05/18	13.00	0.10	99.23	32.00	32.00	0.00
Média		10.46	0.38	88.16	39.29	18.71	39.53
Máximo		16.00	1.40	99.33	136.00	32.00	86.76
Mínimo		0.10	0.10	0.00	14.00	6.00	0.00
Desvio		4.47	0.33	13.60	20.48	5.54	21.41
C.V.(%)		42.78	87.55	15.43	52.13	29.60	54.16
ND		16	16	16	16	16	16

Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE B – Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas

Tabela 11 - Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas (DQO, Temperatura, pH e Condutividade)

Parâmetros		DQO (mg/l)		Temperatura (°C)		pH		Condutividade (mS/cm)	
Datas	Dias	AF	EF	AF	EF	AF	EF	AF	EF
26/6/2018	1	5972.63	1208.55	25	25	7	7.34	2.35	0.9
27/6/2018	2	6701.14	5996.59	25	25	6.93	7	2.4	2.57
28/6/2018	3	4506.02	4606.67	25.2	25.1	6.38	7.22	2.65	0.00494
29/6/2018	4	4525.19	4021.95	24.6	24.3	6.51	7.22	2.85	2.85
30/6/2018	5	3370.12	3020.24	23.9	23.5	6.64	7.25	2.63	2.75
1/7/2018	6	3087.34	3058.59	25.1	25	6.7	6.99	2.98	2.98
2/7/2018	7	3307.81	3063.38	25	25	7.13	6.92	3.12	2.96
3/7/2018	8	3240.71	2977.11	25	25	7.19	7.01	3.09	3.01
4/7/2018	9	6006.18	3882.95	26.1	26.4	6.43	6.38	2.68	3.02
5/7/2018	10	6466.29	5407.07	25.4	25	7.04	6.76	9.54	3.52
6/7/2018	11	6360.85	5550.86	25.1	25.7	7.06	8.55	11.95	7.2
8/7/2018	12	6073.28	5632.34	24.7	24.7	7.08	8.44	11.86	11.14
9/7/2018	13	6188.31	5469.38	25	25	7.35	8.55	10.8	11
10/7/2018	14	6883.27	6130.79	25.8	24.9	7.53	8.32	10.81	10.42
11/7/2018	15	6528.6	5404.68	24.6	24.4	7.38	8.28	10.57	10.22
12/7/2018	16	6528.6	5742.57	25	25	7.18	8.39	8.22	9.02
13/7/2018	17	6049.31	5661.09	25.4	25.1	7.69	8.25	8.2	8.15
14/7/2018	18	12520.4	7031.85	25	25	7.07	7.78	6.5	7.13
15/7/2018	19	4290.34	3921.3	25.6	25.4	7.09	7.13	7.27	6.82
Média		5716.13	4620.42	25.08	24.97	7.02	7.57	6.34	5.56
Máximo		12520.4	7031.85	26.1	26.4	7.69	8.55	11.95	11.14
Mínimo		3087.34	1208.55	23.9	23.5	6.38	6.38	2.35	0.00494
Desvio padrão		1440.56	1244.53	0.32	0.32	0.27	0.63	3.40	3.27
CV (%)		25.20	26.94	1.29	1.29	3.82	8.38	53.65	58.77
ND		19	19	19	19	19	19	19	19

Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE B – Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas

Tabela 12 - Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas (Turbidez, SDT, Alcalinidade e AGV)

Parâmetro		Turbidez (NTU)		STD (mg/l)		Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)		AGV (mg/L Hac)	
Datas	Dias	AF	EF	AF	EF	AF	EF	AF	EF
26/6/2018	1	471	105	1142	451.8				
27/6/2018	2	491	200	1193	1278				
28/6/2018	3	370	191	1322	1356				
29/6/2018	4	386	276	1406	1394				
30/6/2018	5	410	308	1373	1396	585.80	727.20	748.10	911.84
1/7/2018	6	612	318	1492	1488	606.00	737.30	760.12	1203.05
2/7/2018	7	511	336	1554	1490	646.40	696.90	757.63	1285.14
3/7/2018	8	379	305	1532	1503	626.20	707.00	785.41	1125.33
4/7/2018	9	186	236	1382	1493	828.20	767.60	454.60	1360.37
5/7/2018	10	.	234	4762	1756	4201.60	1222.10	750.88	1677.27
6/7/2018	11	163	260	5993	3580	5151	3050.2	1249.54	1989.15
8/7/2018	12	213	256	6007	5580	5009.6	5272.2	1762.33	1905.34
9/7/2018	13	102	184	5318	5493		5272.2		1693.09
10/7/2018	14	85.2	123	5389	5276				
11/7/2018	15	129	95	5238	5161	8586	9153	1786.58	2177.2
12/7/2018	16	135	92.8	4089	4535	6277.5	7573.5	2035.17	2274.49
13/7/2018	17	63.9	73.6	4096	4010	6358.5	7128	2455.72	3259.4
14/7/2018	18	168	130	3225	3585	5103	5791.5	1256.44	3022.58
15/7/2018	19	118	274	3598	3407	5508	5224.5	1444.26	3376.66
Média		277.39	210.39	3163.74	2854.36	3806.75	3808.80	1249.75	1947.21
Máximo		612	336	6007	5580	8586	9153	2455.72	3376.66
Mínimo		63.9	73.6	1142	451.8	585.8	696.9	454.6	911.84
Desvio padrão		156.76	73.59	1692.38	1572.40	2421.72	2679.04	498.77	630.89
CV (%)		56.51	34.98	53.49	55.09	63.62	70.34	39.91	32.40
ND		19	19	19	19	13	14	13	14

Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE B – Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas

Tabela 13 - Parâmetros do monitoramento do UASB utilizado no tratamento anaeróbio do efluente de indústria de bebidas (Vazão, TDH, Eficiência e Temperaturas máximas e mínimas)

Datas	Dias	VAZÃO (L/dia)	TDH (dia)	Eficiência de Remoção de DQO (%)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
26/6/2018	1	3.7	8.38	79.77	28	25
27/6/2018	2	3.7	8.51	10.51	26.5	25
28/6/2018	3	3.4	9.20	-2.23	26	25
29/6/2018	4	3.8	8.16	11.12	28	23.5
30/6/2018	5	3.6	8.76	10.38	28.5	22
1/7/2018	6	3.5	8.90	0.93	26	24
2/7/2018	7	3.7	8.39	7.39	27.5	24
3/7/2018	8	3.6	8.74	8.13	29	24
4/7/2018	9	3.6	8.67	35.35	29	24
5/7/2018	10	3.6	8.67	16.38	28	24.5
6/7/2018	11	3.6	8.67	12.73	28.5	24.5
8/7/2018	12	4.6	6.72	7.26	28.5	24.5
9/7/2018	13	4.6	6.75	11.62	29	24
10/7/2018	14	3.7	8.52	10.93	29	24
11/7/2018	15	3.7	8.55	17.22	28	23.5
12/7/2018	16	3.3	9.39	12.04	28	23.5
13/7/2018	17	3.8	8.13	6.42	28	24.5
14/7/2018	18	4.0	7.80	43.84	29	24
15/7/2018	19	3.9	7.94	8.60	28	24
Média		3.76	8.36	16.23	28.03	24.08
Máximo		4.65	9.39	79.77	29.00	25.00
Mínimo		3.32	6.72	-2.23	26.00	22.00
Desvio padrão CV (%)		0.24	0.49	11.73	0.66	0.47
ND		19	19	19	19	19

Fonte: Autor (2018).