



**INSTITUTO
FEDERAL
PIAUÍ**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ-IFPI.

CAMPUS TERESINA - CENTRAL

CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

FRANCISCO PEREIRA GOMES DA SILVA

**SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: REATOR
ANAERÓBIO DE CIRCULAÇÃO INTERNA**

TERESINA

2018

FRANCISCO PEREIRA GOMES DA SILVA

SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: REATOR ANAERÓBIO
DE CIRCULAÇÃO INTERNA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do diploma
do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí. Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Guerra Pires de
Carvalho.

TERESINA

2018

Gomes da Silva, Francisco Pereira
G586s Sistema de tratamento de efluente industrial : Reator anaeróbio de circulação interna /
Francisco Pereira Gomes da Silva - 2018.
52 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Tecnologia em Gestão Ambiental, 2018.

Orientador : Prof Dr. Prof. Dr. Marcelo Guerra Pires de Carvalho..

1. Atividade Metanogênica Específica. 2. Biodegradabilidade. 3. Efluente de
indústria de bebida. 4. Reator de Circulação Interna. I.Título.

CDD 577

FRANCISCO PEREIRA GOMES DA SILVA

**SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL: REATOR
ANAERÓBIO DE CIRCULAÇÃO INTERNA**

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) apresentado como exigência do diploma do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina-Central.

Monografia aprovada em 19 de março de 2018.

Banca examinadora:

assinatura no original

Orientador: Dr. Marcelo Guerra Pires de Carvalho

assinatura no original

Examinador: Dr. Carlos Pereira Silva

assinatura no original

Examinadora: Dra. Maria Lúcia Portela de Deus Lages

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí e seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e éticos aqui presentes.

Ao meu orientador Dr. Marcelo Guerra Pires de Carvalho pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

A minha esposa Vania e meu filho Jose Neto, que sempre acreditaram em mim.

Aos colegas de classe, especialmente aos meus amigos Jardel Alves e Everton Mateus, com quem convivi muitas brincadeiras e com muita alegria.

Meus amigos Tardelli Pinheiro, José Wilton, Laila, Francisca, Marcelo, Edson, Percus, Ailton, Alan, José Wilson, Rogerio, Lucas, Jorge e Francisca Cícera companheiros e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Agradeço também a empresa por me permitir utilizar os dados.

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

Deus nunca disse que a jornada seria fácil, ele disse que a chegada valeria a pena.

RESUMO

As indústrias de cerveja e refrigerante produzem efluentes com alta concentração de matéria orgânica (MO), que, se forem lançados sem tratamento adequado nos corpos d' água, provocam decaimento do teor de oxigênio dissolvido, com consequente desequilíbrio da comunidade aquática. O tratamento mais utilizado para esse tipo de efluente, dado sua eficácia e custos de operação, é o tratamento biológico anaeróbico. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar o efluente bruto de uma indústria de bebidas localizada no município de Teresina-PI quanto suas demandas bioquímica e química de oxigênio (DBO e DQO, respectivamente) e pH, bem como, avaliar a eficiência da remoção de DQO em um reator anaeróbico de circulação interna (IC), durante 03 meses de operação. Também, foram avaliadas a biodegradabilidade da água residual do processo industrial (ArPI) e a atividade metanogênica específica (AME) do lodo do reator IC. A ArPI apresentou médias de DQO variando entre 4217 ± 100 a 4667 ± 121 mg/L e de DBO entre 3108 ± 623 mg/l a 3553 ± 362 e pH variando entre 5,4 a 12, sendo predominantemente, alcalino. A eficiência média de remoção de matéria orgânica no reator IC foi de $85,9 \pm 4,3\%$ para a DQO e de $85,9\%$ para a DBO. A biodegradabilidade da ArPI variou entre 79 e 84%, indicando que o efluente da indústria é passível de degradação por via biológica. A AME variou entre 0,57 e 0,84 kg DQO/kg ST.d, demonstrando a boa capacidade do lodo do reator IC da indústria para degradar matéria orgânica. Por tudo o exposto, o reator IC apresentou desempenho satisfatórios para a degradação de efluentes de indústria de bebidas.

Palavras-chave: Atividade Metanogênica Específica. Biodegradabilidade. Efluente de indústria de bebida. Reator de Circulação Interna.

ABSTRACT

The beer and soft drink industries produce effluents with high organic matter (OM), which, if disposed of without adequate treatment in the water bodies, cause decay of the dissolved oxygen content, with consequent imbalance of the aquatic community. The most commonly used treatment for this type of effluent, given its effectiveness and operating costs, is anaerobic biological treatment. This work was developed with the objective of characterizing the raw effluent of a beverage industry located in the city of Teresina-PI regarding its biochemical and chemical oxygen demands (BOD and COD, respectively) and pH, as well as to evaluate the efficiency of the removal of COD in an anaerobic internal circulation (IC) reactor during 03 months of operation. Also, the biodegradability of the industrial process wastewater (ArPI) and the specific methanogenic activity (AME) of the IC reactor reactor were evaluated. ArPI presented COD averages ranging from 4217 ± 100 to 4667 ± 121 mg / L and BOD between 3108 ± 623 mg / l and 3553 ± 362 and pH ranging from 5.4 to 12, being predominantly alkaline. The average removal efficiency of organic matter in the IC reactor was $85.9 \pm 4.3\%$ for COD and 85.9% for BOD. The biodegradability of ArPI varied between 79 and 84%, indicating that the effluent of the industry is susceptible of degradation by biological means. AME ranged from 0.57 to 0.84 kg COD / kg ST.d, demonstrating the good capacity of the industry's IC reactor to degrade organic matter. For all of the above, the reactor IC presented satisfactory performance for the degradation of beverage industry effluents.

Keywords: Effluent from beverage industry. Internal Circulation Reactor. Biodegradability. Specific Methanogenic Activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fluxograma do processo da produção de cerveja.....	18
Figura 3.2 – Fluxograma das etapas de produção de refrigerantes.....	20
Figura 3.3 – Sequencia metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.....	26
Figura 3.4 -- Reator Anaeróbio.....	28
Figura 4.1 etapas do processo de tratamento do efluente industrial.....	34
Figura 4.2 – Esquema dos pontos de coleta.....	36
Figura 4.3 – Esquemas dos Teste de AME e Biodegradabilidade.....	37
Figura 5.1- Variação do pH da ArPI, durante o período de monitoramento.....	40
Figura 5.2 – Eficiência médias de remoção de DQO no tratamento primário (TP), no reator IC e no tanque de aeração Unitank (Utk).....	41
Figura 5.3 – Eficiência médias de remoção de DBO no tratamento primário (TP), no reator IC e no tanque de aeração Unitank (Utk).....	42
Figura 5.4 – Eficiências de remoções efetiva de DQO e DBO do reator IC.....	43
Figura 5.5 – Produção acumulada de CH ₄ , em mL, pelo tempo de realização do teste de AME, em Outubro/16.....	44
Figura 5.6 – Produção acumulada de CH ₄ , em mL, pelo tempo de realização do teste de AME, em Novembro/16.....	44
Figura 5.7 – Produção acumulada de CH ₄ , em mL, pelo tempo de realização do teste de AME, em Dezembro/16.....	45
Figura 5.8 – Teor e biodegradabilidade para a ARPI, durante os meses de monitoramento.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1- Médias mensais e respectivos desvios padrão para pH, DQO e DBO da ArPI, AIC, EIC e EF.....	39
Tabela 5.2 – Volumes totais de CH ₄ produzidos nos testes de biodegradabilidade realizados mensalmente.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AME	Atividade Metanogênica Específica
ARI A	Fluente Reator IC
ARPI	Água Residual do Processo Industrial
BIO	Biodegradabilidade
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EF	Efluente Final
ERI	Efluente Reato IC
L	Litro
MG	Miligramas
MO	Matéria Orgânica
pH	Potencial Hidrogênionico
ST	Sólidos Totais
TP	Tratamento Primário
UTK	Unitank
VF	Volume do Fermentador

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2.0 OBJETIVOS	14
2.1 geral	14
2.2 específicos	14
3.0 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 HISTÓRICO: CERVEJA E REFRIGERANTE	15
3.1.1 Etapas de produção de cerveja	17
3.1.2 Etapas de produção de refrigerante	20
3.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE EFLUENTES LÍQUIDOS DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS	21
3.3 PROCESSOS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA	25
3.3.1 Reatores Anaeróbio de Circulação Interna (IC)	27
3.3.2 Atividade Metanogênica Especifica (AME) e Biodegradabilidade	30
4.0 METODOLOGIA	33
4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA TRATAMENTO	33
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES	35
4.3 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MO NO REATOR IC	35
4.4 ATIVIDADE METANOGENICA ESPECIFICA (AME) BIODEGRADABILIDADE	36
4.5 MÉTODOS ANALÍTICOS	36
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ARPI, AIC, EIC E EF	39
5.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO REATOR IC	41
5.3 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE METANOGENICA ESPECIFICA DO REAT IC	43
5.4 AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DO AFLUENTE INDUSTRIAL	45
6. CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente é hoje um assunto bastante discutido, e tornou-se uma preocupação constante, onde a sociedade passa a compreender a necessidade de valorizar ações que o preservem.

As empresas e indústrias passaram a dar maior ênfase às questões ambientais, voltando-se, notadamente, para os impactos de seus processos produtivos, a fim de assegurar e garantir que seus resíduos, emissões e efluentes não prejudiquem a qualidade dos ecossistemas onde estão inseridos.

Nesse sentido, grandes investimentos foram necessários, para quebrar o paradigma que perdurou por muito tempo, no qual investimentos em mecanismos de proteção ao meio ambiente eram considerados transtornos que davam prejuízos às indústrias. Diferentemente, nos dias atuais, investir em mecanismos que protejam o meio ambiente é certeza de retorno financeiro, pois, além de agregar valor ao produto, amplia o número de novos clientes.

Grande parte das atividades industriais direta ou indiretamente necessita de recursos hídricos. Na indústria de bebidas a água é utilizada para vários fins, como, por exemplo, refrigeração de equipamentos, limpeza em geral, uso em torres de resfriamento, geração de vapor, a própria fabricação de bebidas, entre outros fins.

As indústrias, em especial da área alimentícia, destacam-se pelo volume de efluentes gerado, devido à variedade do uso da água dentro do processo industrial. Nesse sentido, surge a preocupação e a obrigatoriedade do tratamento da água residuária antes de serem lançadas nos cursos d'água, conforme preconizam a legislação brasileira.

As indústrias de bebidas geram efluentes líquidos com elevada carga de matéria orgânica biodegradável, de modo que, quando lançados diretamente nos cursos de água, provocam sua poluição. Então a questão passa a ser como realizar o tratamento destes efluentes de forma sustentável.

A Resolução 430 de 13 maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA N° 430/2011), estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências nela dispostos e em outras normas aplicáveis.

Por essa razão, empresas e indústrias começaram a dar maior importância ao uso desse recurso em seus processos produtivos, ou seja, garantias de que seus

efluentes líquidos, seus resíduos sólidos e emissões atmosféricas não prejudiquem a qualidade dos ecossistemas ao seu redor. Com isso grandes investimentos tiveram que ser feitos, transformando uma necessidade, que antes era classificada como um transtorno, em uma possibilidade de um retorno, perante a sociedade através do melhoramento da imagem da empresa.

Dentre as tecnologias adotadas para minimizar os impactos do lançamento de efluentes em corpos hídricos, as indústrias de bebidas implantaram sistemas biológicos de tratamento. Em geral, foram adotados sistemas de tratamento compostos por tecnologias baseadas em processos biológicos de digestão anaeróbia seguida por digestão aeróbia.

Essa pesquisa foi realizada em uma indústria de cervejas e refrigerantes, tendo como tecnologia de tratamento de seus efluentes um sistema composto por um reator anaeróbio de circulação interna (IC) seguido por um reator aeróbio (UNITANK). Trata-se de uma indústria de grande porte, tendo ampla produção e como consequência gera uma grande quantidade de efluentes.

O presente trabalho tem como principal objetivo, avaliar a eficiência de tratamento do efluente em um reator de circulação interna (IC) durante 03 meses de operação.

Foram avaliados os resultados das análises de pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio, (DBO) atividade metanogênica específica (AME) do lodo do reator IC e biodegradabilidade(BIO) do efluente em reator IC.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliação da eficiência da remoção de matéria orgânica em um reator anaeróbio de circulação interna (IC) tratando efluentes de uma indústria de bebidas, durante 03 meses de operação.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as águas residuais geradas pela indústria de bebidas quanto à DBO, DQO e pH;
- Avaliar o desempenho do reator IC quanto a eficiência de remoção da matéria orgânica, pelos resultados das análises de DQO e DBO;
- Avaliar a atividade metanogenica especifica (AME) do lodo do reator IC;
- Avaliar a biodegradabilidade do afluente ao reator IC.

3.0 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 histórico: cerveja e refrigerante

Keukelerie (*in apud* QNESC, 2015) afirma que a cerveja é uma bebida elaborada com malte de cevada, água, lúpulo e fermento (levedura).

O homem já dominava desde a mais remota antiguidade a técnica de produzir bebidas fermentadas pelo processo de malteação de grãos. Há cerca de 8 mil anos, os sumérios e os assírios desenvolveram a arte de fabricar cerveja (Coimbra et al., 2009; Zuppardo, 2010). Tempos mais tarde, os egípcios passaram a produzir outras variedades de cerveja e a disseminaram entre os povos orientais na bacia do Mediterrâneo e para o resto da Europa (FERREIRA ET AL., 2011).

Estima-se que o homem começou a utilizar bebidas fermentadas há 30 mil anos, sendo que a produção de cerveja deve ter se iniciado por volta de 8000 a.C. Essa bebida foi desenvolvida paralelamente aos processos de fermentação de cereais e difundiu-se lado a lado com as culturas de milho, centeio e cevada nas antigas sociedades estáveis. (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017)

Há cerca de dez mil anos, nas civilizações Suméria e Assíria, foram encontrados registros da fabricação de uma bebida fermentada a partir de cereais. A descoberta desta bebida ocorreu pouco tempo depois do surgimento do pão quando os sumérios perceberam que ao molhar a massa feita com cereais, esta fermentava, ficando ainda melhor. Este processo deu origem a uma espécie primitiva de cerveja que os sumérios consideravam como “bebida divina”, a qual era oferecida aos seus deuses. A cerveja era feita por padeiros devido à natureza da matéria-prima utilizada na produção: grãos de cereais e leveduras. A cevada era molhada até germinar, e então, moída e moldada em bolos aos quais se adicionava a levedura. Os bolos após assados eram picados, colocados em jarros com água e deixados a fermentar. Esta cerveja rústica ainda é fabricada no Egito com o nome de Bouza (Cruz, *et al.*, 2008,p.3).

Para os autores supracitados, há registros sobre a utilização de cerveja, na Antiguidade, entre os povos da Suméria, Babilônia e Egito. Na Idade Média a produção e o consumo de cerveja tiveram um grande impulso, devido ao aperfeiçoamento da técnica de produção, nos mosteiros. Nesta época houve pela primeira vez a adição do lúpulo à composição da cerveja. A importância da qualidade alimentar da cerveja era algo relevante para os monges, dado que era um produto que os ajudava a passar os difíceis dias de jejum.

De uma atividade familiar, a fabricação da cerveja passou a ser atividade profissional. Entre os séculos VII e IX surgiram os primeiros mestres cervejeiros, que trabalhavam para abadias e grandes casas nobres. Pequenas fábricas foram surgindo nas cidades europeias a partir do século

XII. A partir do século XVIII, com a Revolução Industrial e a invenção das máquinas a vapor, a produção começa a fazer-se em grande escala e o consumo expande-se. As primeiras cervejarias que utilizaram as máquinas a vapor chamavam-se fábricas de cerveja a vapor. (Cruz, *et al.*, 2008, p.4)

No início do século XX e durante a 1ª Guerra Mundial, houve uma diminuição significativa no número de indústrias produtoras de cerveja. Tal situação ocorreu devido ao aumento da competição, o que proporcionou fusões e aquisições e, além disso, o início da 1ª Guerra levou à escassez de matérias-primas e mão de obra, o que fez com que muitos industriais apostassem na mecanização das suas empresas. Passadas as duas grandes guerras mundiais houve um aumento gradual na produção e consumo de cerveja. (CEREDA E VENTURINI FILHO, 2005 *apud* BOTELHO, 2009)

Para Bitu (2009) e Zuppardo (2010), no Brasil, a primeira cerveja foi fabricada em 1853, denominada Bohemia, em Petrópolis-RJ).

Para Barnabé e Venturini Filho (2010) o refrigerante é uma bebida composta por carboidratos, que teve suas origens nas águas minerais gasosas provenientes de fontes européias.

Resumidamente, refrigerantes são bebidas gaseificadas obtidas a partir da adição de algum suco ou extrato e açúcar à água potável. No processo de fabricação desse produto, primeiro trata-se a água para fazer o xarope simples, que é uma mistura concentrada de açúcar. Posteriormente, essa mistura é aquecida, filtrada e refrigerada. Após isso, com a adição de aditivos alimentícios no xarope simples, tem-se o xarope composto. Esse xarope sofre diluição, carbonatação e engarrafamento, tornando-se o refrigerante a ser vendido.

O aparecimento dos refrigerantes se deu em Paris no ano de 1676, por iniciativa da empresa Limonadiers, que apresentou uma bebida que misturava sumo de limão e açúcar. Quase um século depois, em 1772, Joseph Priestley foi o primeiro a fazer experiências para gaseificar líquidos, mas só em 1830 que se começou a comercialização da água mineral gaseificada. Foi nesta época que se iniciou a venda de água engarrafada graças ao desenvolvimento do processo industrial (BERTO, p.39. 2001).

A indústria de refrigerante surgiu nos Estados Unidos por volta de 1871. No Brasil, os primeiros registros são de 1906, mas somente na década de 1920 é que o refrigerante entrou definitivamente no cotidiano dos brasileiros (ABIR, 2007).

A primeira grande fábrica foi montada pela Companhia Antártica Paulista, em maio de 1921 na cidade de São Paulo, embora pequenas indústrias, como a Refrigerantes Aymoré já fabricassem refrigerantes em escala artesanal (BARNABÉ e VENTURINI FILHO, 2010).

3.1.1 Etapas de produção de cerveja

A cerveja é obtida pela fermentação da cevada, que consiste na conversão em álcool dos açúcares presentes nos grãos de cevada. A fermentação é a principal etapa do processo cervejeiro e sua efetividade depende de várias operações anteriores, incluindo o preparo das matérias-primas. Após a fermentação são realizadas etapas de tratamento da cerveja, para conferir as características organolépticas (sabor, odor, textura) desejadas no produto final. (SANTOS 2015, p.16)

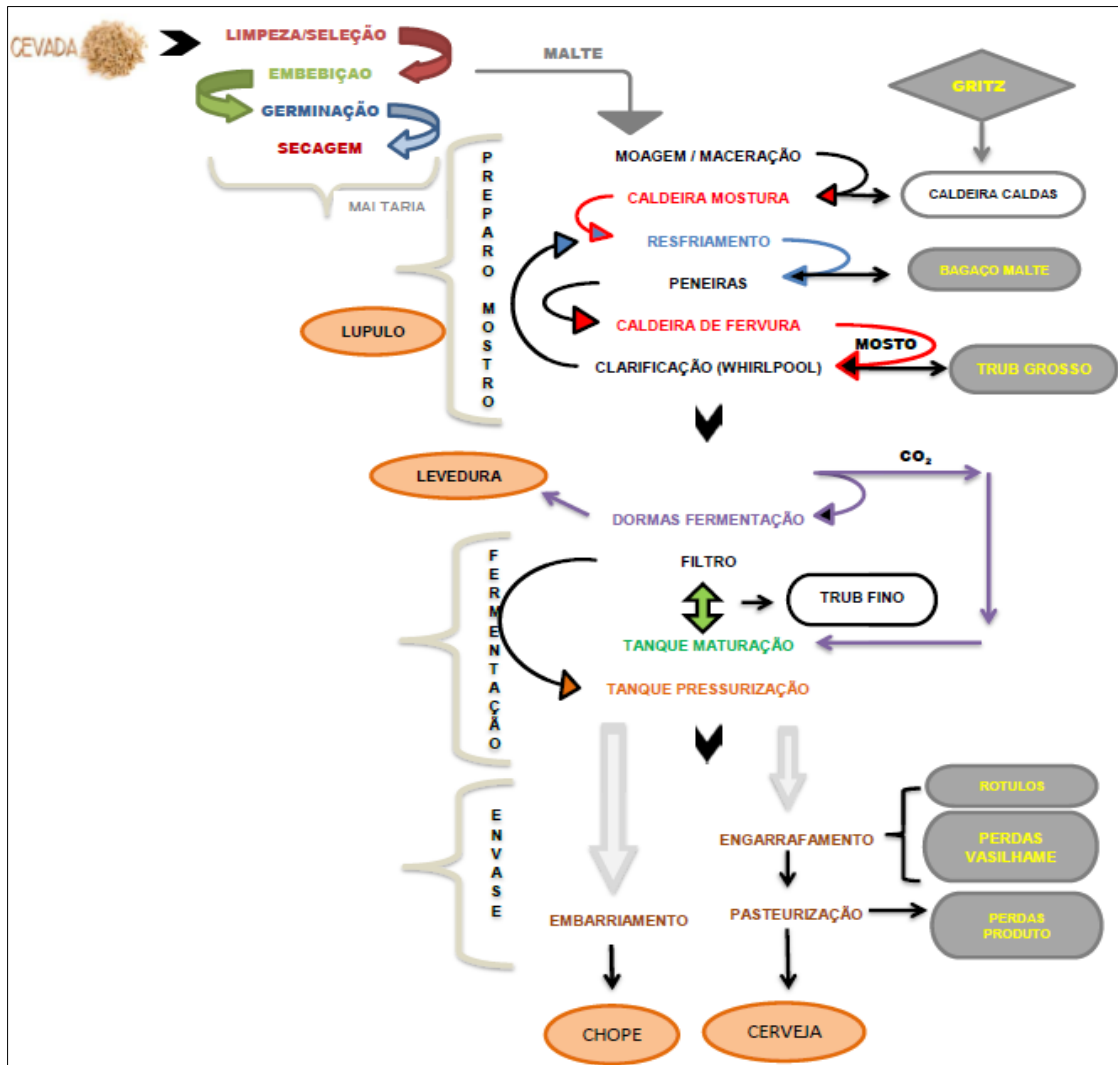
De maneira geral o processo de produção de cerveja, é dividido em quatro fases, que são subdivididas em etapas como: malte mostura , obtenção do malte, limpeza e seleção de grãos, embebição da cevada, germinação, secagem, preparo do mosto, moagem do malte, maceração do malte e adjunto, filtração do mosto, fervura do mosto, resfriamento do mosto, fermentação, processamento da cerveja, maturação, filtração, carbonatação, envase, é que podemos perceber através da Figura 3.1

O malte, em geral, é obtido em instalações dedicadas a este propósito, conhecidas como maltarias, que podem ou não ser anexas às empresas cervejeiras. As principais etapas de obtenção do malte são a limpeza e seleção de grãos, a embebição, germinação e a secagem do malte (SANTOS, 2005).

O mosto pode ser definido como uma solução aquosa de açúcares, que serão o alimento para as bactérias que realizam a fermentação, dando origem ao álcool. Desta maneira, percebe-se a importância do correto preparo do mosto para que se obtenha uma cerveja de qualidade.

O preparo do mosto consiste em cozinhar o malte com os devidos cuidados, e inclui etapas de preparo como a moagem do malte, maceração, separação do mosto, sua filtração, o cozimento em si e etapas de condicionamento posterior (como a clarificação e o resfriamento). A solução, livre de impurezas e rica em açúcares, resultante deste processo é então enviada para a fermentação.

Figura 3.1 – Fluxograma do processo da produção de cerveja



Fonte: Santos, 2015

Uma vez tendo sido preparado o mosto e este esteja clarificado e resfriado, pode-se dar início à fermentação, processo central da indústria cervejeira.

A fermentação do mosto é dividida em duas etapas. Numa primeira etapa, denominada aeróbia, as leveduras se reproduzem, aumentando de quantidade de 2 a 6 vezes (Santos, 2015). Em seguida inicia-se a fase anaeróbia, onde as leveduras realizam a fermentação propriamente dita, convertendo os açúcares presentes no mosto em CO_2 e álcool.

O processo de fermentação dura de 6 a 9 dias, ao final dos quais obtém-se, além do mosto fermentado, uma grande quantidade de CO_2 , que após ser purificado é enviado para a etapa de carbonatação da cerveja (SANTOS, 2005).

Ao final da fermentação existe uma grande quantidade de micro-organismos e substâncias indesejáveis misturados à cerveja. De modo a separá-los, promove-se

a maturação, processo onde mantém-se a cerveja em descanso nas dornas a uma temperatura de zero grau (ou menos), durante um período de 15 a 60 dias.

Além de promover a separação dos levedos da cerveja, esta etapa permite a ocorrência de algumas reações químicas que auxiliam no processo de estabilização do produto final, quanto as características relacionadas com o paladar e saturação com CO². Uma vez concluída a fermentação, a cerveja é resfriada a zero grau, a maior parte do fermento é separada por decantação (sedimentação) e tem início a maturação. Nessa fase, pequenas e sutis transformações ocorrem para aprimorar o sabor da cerveja. Algumas substâncias indesejadas oriundas da fermentação são eliminadas e o açúcar residual presente é consumido pelas células de fermento remanescentes, em um fenômeno conhecido por fermentação secundária. A maturação costuma levar de 6 a 30 dias, variando de uma cervejaria para outra. Ao final dessa fase, a cerveja está praticamente concluída, com aroma e sabor finais definidos (SINDICERV, 2011).

De acordo com Camargo (2012) para realizar a filtração pode-se contar com diversos tipos de meio filtrante, sendo os mais comuns os filtros de velas verticais ou placas horizontais, além do uso de terra diatomácea, também denominada kiesselguhr, como elemento auxiliar à filtração. Pode haver ainda uma etapa final, de filtração com filtro de cartucho, para polimento. Finalmente, são adicionados aditivos como agentes estabilizantes, corantes ou açúcar, para o acerto final do paladar do produto.

Resumidamente a filtração visa eliminar partículas em suspensão, principalmente células de fermento, deixando a bebida transparente e brilhante. A filtração não altera a composição e o sabor da cerveja, mas é fundamental para garantir sua apresentação, conferindo-lhe um aspecto cristalino (SINDICERV, 2011).

A partir da filtração, são necessárias apenas medidas preventivas, para levar a qualidade alcançada até os vasilhames.

Uma vez concluída a produção da cerveja, esta deve ser devidamente envasada. Nesse processo deve-se ter grande cuidado com possíveis fontes de contaminação, perda de gás e contato da cerveja com oxigênio. Tais ocorrências podem comprometer a qualidade do produto.

Em geral, o envase é a unidade com o maior contingente de funcionários, equipamentos de maior complexidade mecânica e maior índice de manutenção, onde podem ocorrer as maiores perdas por acidentes e má operação, como regulagem inadequada de máquinas, quebra de garrafas,

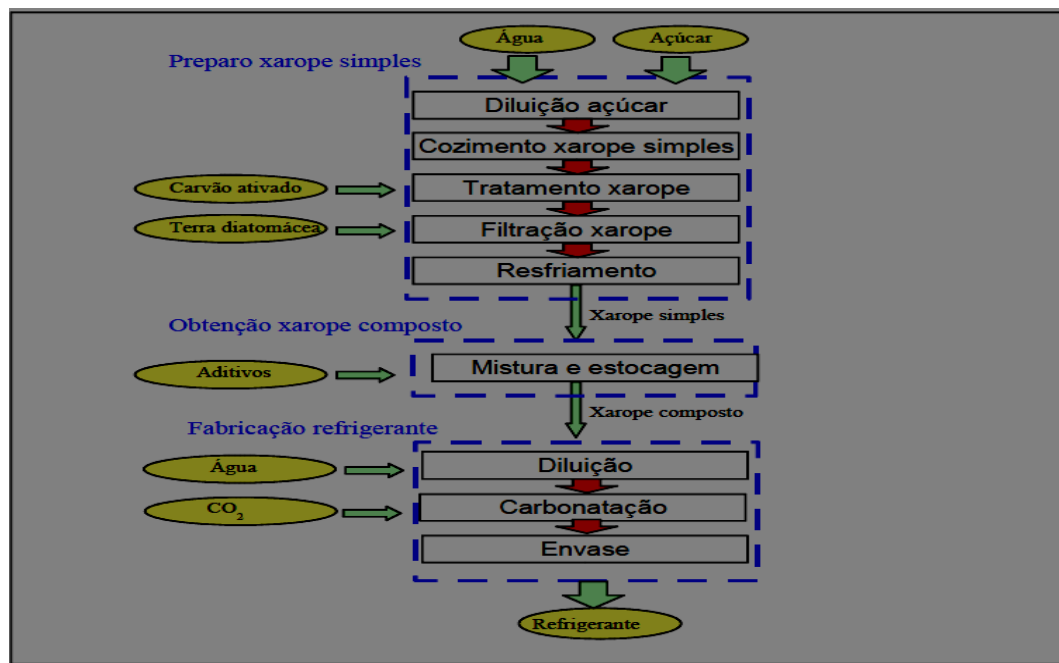
etc. O envase é a fase final do processo de produção, sendo composto por diversas operações relacionadas ao enchimento dos vasilhames (cujos mais comuns atualmente são as garrafas, vasilhames de alumínio e barris para chope). (CAMARGO, p.21.2012)

3.1.2 Etapas de produção de refrigerante

Em relação à produção de refrigerante, Santos (2005) coloca que a produção deste é dividida em três partes: preparo do xarope, obtenção do xarope e fabricação do refrigerante.

Na Figura 3.2 encontram-se as etapas do processo de fabricação de refrigerantes, com suas respectivas entradas.

Figura 3.2 – Fluxograma das etapas de produção de refrigerantes.



Fonte: Adaptado de Santos 2015.

Durante as etapas do processo de produção, os efluentes são gerados, nas salas de xaroparia, pisos, linhas, envase de latas e garrafas, produtos descartados de retorno de mercados e esgotos sanitários. Os efluentes são ricos em corantes e açúcares e outros componentes da bebida. O pH é alcalino podendo ser até 12, a DQO é de no máximo de 1000 mgO₂/L. Quando produzidos em embalagens descartáveis, o efluente diluído possuem um pH ácido e uma DQO de até 5500 mg/L.

O xarope simples, também conhecido como calda base, é uma solução aquosa de açúcar, eventualmente enriquecida com ácidos orgânicos. Esta calda é então tratada e clarificada, usando como elementos de clarificação e purificação carvão ativado em pó, terra diatomácea ou outro produto semelhante.

Os aditivos incorporados ao xarope simples para obtenção do xarope composto é que distinguem os refrigerantes entre si, conferindo as características de cor, sabor, odor e propriedades químicas adequadas à sua conservação. Os aditivos incorporados podem ser sucos naturais de frutas, flavorizantes, estabilizantes, conservantes, corantes, antioxidantes, entre outros. Estes compostos são incorporados ao xarope simples em tonel agitado mecanicamente.

Para fabricar o refrigerante propriamente dito, o xarope composto é diluído em água tratada, de acordo com os requisitos necessários de qualidade, e acrescido de CO² (carbonatação). O envase de refrigerantes deve ser realizado logo após a carbonatação, de modo a evitar perdas de CO². As latas de alumínio, garrafas de vidro e PET são as embalagens mais utilizadas. Em geral, o que se encontra nas fábricas de refrigerante é uma instalação composta basicamente de dois equipamentos: um que mistura o xarope e a água (proporcionador), e outro que mistura o gás carbônico (conhecido como carbocooler). Em seguida, o refrigerante é enviado às máquinas enchedoras, similares à indústria de cerveja (Giordano, 2004)

3.2 Aspectos gerais sobre efluentes líquidos da indústria de bebidas

Todas as atividades da sociedade geram algum tipo resíduo, seja industrial, comercial, educacional e governamental. As indústrias são as principais fontes na geração de resíduos, tanto pelas quantidades, como pelo potencial de toxicidade. A utilização de novas técnicas de produção podem prevenir a geração de parte desses resíduos, mas mesmo assim, sempre algum resíduo é gerado no processo de produção. Dessa forma torna-se necessário recolher e tratar os resíduos de forma adequada, visando à reciclagem ou disponibilização no meio ambiente de forma segura com o menor impacto possível (SHEN et al., 2002, apud SILVEIRA et al., 2007).

Naime (2010) conceitua efluentes industriais como águas utilizadas nos processos produtivos tais como águas de: lavagens de tubulações, máquinas e pisos; sistemas de resfriamento e geradores de vapor; águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporadas aos produtos, que se tornam impróprias para retornar para a rede de drenagem superficial sem que primeiro sofram tratamento.

Segundo Giordano (2004) utilização das águas pelas indústrias ocorre de diversas formas, desde a incorporação de produtos para o processo de produção, até fins menos nobres como esgotamento sanitário dos funcionários, onde alteram as

características das águas, gerando assim os efluentes.

Após a utilização das águas pelas indústrias, os diversos resíduos e ou energias são incorporados alterando-lhes as suas características físicas, químicas e sensoriais, gerando assim os efluentes líquidos (Giordano, 2004). As características dos efluentes industriais são função dos compostos das matérias-primas, das águas de abastecimentos e do processo industrial.

O grau e a eficiência do tratamento das águas residuais são função do corpo receptor, das características do uso da água a jusante do ponto de lançamento, da capacidade de autodepuração e diluição do corpo de água, da legislação ambiental e das conseqüências do lançamento das águas residuais (ROLIM & COELHO, 2009).

Assim podem-se definir os efluentes industriais como qualquer alteração das características da água natural, resultante de processos industriais, seja ele relacionado diretamente ao processo produtivo, limpeza de máquinas, equipamentos, pisos, etc.

Já no que se refere às características do efluente das indústrias de bebidas, Silveira et al (2007), comentam que os efluentes das indústrias de bebidas são ricos em carboidratos, possuem elevada carga de matéria orgânica, facilmente biodegradável e baixo teor de sólidos suspensos.

Sereno Filho et al (2013) reforçam que os efluentes gerados na indústria de bebidas variam de acordo com o processo produtivo, que apresentam elevada concentração de carga orgânica, devido ao açúcar dos xaropes e extratos vegetais utilizados na formulação das bebidas, e que possuem pH alcalino e temperatura ambiente.

Os sistemas de tratamentos de efluentes visam a priori atender à legislação ambiental e em alguns casos ao reuso de águas. Para se realizar o devido tratamento e obedecer a exigências da lei, é preciso estabelecer e instalar processos de controle de tratamento e medidas de controle do efluente.

Giordano (2004) cita que os processos de controle podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos em função da natureza dos poluentes a serem removidos. São processos físicos os que, basicamente, removem os sólidos em suspensão, sedimentáveis e flutuantes através de processos de gradeamento, peneiramento, separação de óleos e gorduras, sedimentação, flotação. Bem como aqueles capazes de remover a matéria orgânica e inorgânica em suspensão e reduzir ou eliminar a presença de microrganismos tais como, processos de filtração em areia,

ou em membranas (microfiltração e ultrafiltração). Os processos físicos também são utilizados com a finalidade de desinfecção, tais como a radiação ultravioleta.

Para a fase do processo químico, segundo Giordano (2004), utilizam-se produtos químicos, tais como agentes de coagulação, floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção em diferentes etapas dos sistemas de tratamento, que promovem a remoção dos poluentes ou condicionam o efluente a ser tratado nos processos subsequentes por meio de reações químicas.

Os principais processos químicos, segundo Soares (2009), são clarificação química (remoção de matéria orgânica coloidal, incluindo os coliformes); eletrocoagulação (remoção de matéria orgânica, inclusive de compostos coloidais, corantes e óleos/ gorduras); precipitação de fosfatos e outros sais (remoção de nutrientes), pela adição de coagulantes químicos compostos de ferro e ou alumínio; cloração ou oxidação por ozônio para desinfecção; redução do cromo hexavalente; oxidação de cianetos; precipitação de metais tóxicos e troca iônica.

Os processos biológicos de tratamento reproduzem em escala de tempo e área os fenômenos de autodepuração que ocorrem na natureza. Os tratamentos biológicos de esgotos e efluentes industriais têm como objetivo remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através da transformação desta em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos), ou gases (GIORDANO, 2004).

Ainda no que se refere a medidas de controle para tratamento de efluentes industriais, Santos et al (2010) reforça que as medidas de controle para tratamento dos efluentes industriais depende das características da qualidade da água poluída. O tratamento pode se resumir em etapas, estas são; preliminar, primária, secundária e, quando for requerida um polimento final para substancias mais solúveis no meio aquoso, o tratamento terciário, que deve ser adicionado para uma maior eficiência do sistema.

O tratamento preliminar envolve a remoção de sólidos suspensos grosseiros e sólidos suspensos fixos (principalmente areia). A remoção dos sólidos grosseiros e feita por meio de grades de barras, cuja limpeza pode ser manual ou mecanizada, ou por meio de desintegradores, trituradores ou peneiras. Os sólidos suspensos fixos, de menores dimensões, como os detritos minerais pesados, são removidos por meio de desarenadores, também chamados caixas de areia. Essa fase de tratamento também tem o objetivo de medir a vazão de esgoto que entra na estação, geralmente, por meio de calha Parshall (MENDONÇA & COELHO, 2016).

Segundo Mendonça & Coelho (2016) O tratamento primário remove os sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica em suspensão. Pode incluir a sedimentação ou a flotação de partículas suspensas.

O tratamento secundário destina-se a degradação biológica dos compostos carbonáceos. A degradação consiste na decomposição de carboidratos, proteínas e lipídios em compostos mais simples, como dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O), amônia (NH_3), metano (CH_4), ácido sulfídrico (H_2S), entre tantos outros, dependendo do tipo de processo predominante e das características das águas residuais (MENDONÇA & COELHO, 2016).

As bactérias que realizam o tratamento, por sua vez, reproduzem-se e tem sua massa total aumentada em função da quantidade de matéria degradada, ou seja, com o tratamento, há diminuição da matéria orgânica e produção de lodo. Caso seja empregado o processo aeróbio, para cada quilo de DBO removida, há formação de 0,4 kg a 0,7 kg de lodo (matéria seca); caso a opção seja pelo processo anaeróbio, tem-se uma produção de 0,02 kg a 0,2 kg de lodo para cada quilo de DBO removida (MENDONÇA & COELHO, 2016).

Segundo Mendonça & Coelho (2016) a maioria das estações de tratamento alcança apenas o segundo nível de tratamento, no entanto, há situações em que é obrigatório que atinja o nível terciário. A razão disso se justifica porque o efluente do tratamento secundário ainda possui nitrogênio e fósforo em quantidade, concentração e formas que podem provocar impactos no corpo receptor, promovendo sua eutrofização, que é percebido pela intensa proliferação de algas. O tratamento terciário ou avançado, tem por objetivo principal a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo), assim como a desinfecção e a remoção de compostos tóxicos e contaminantes específicos.

Portanto, o tratamento de efluentes se insere como uma alternativa essencial, e nada mais é que uma série de medidas de controle, podendo ser químicos, físicos e biológicos para eliminar os elementos contaminantes contidos nos efluentes. Essas medidas de controle objetivam atender a legislação ambiental, que após o tratamento correto, podem retornar à natureza.

3.3 PROCESSOS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

O processo de digestão anaeróbia apresenta um delicado sistema ecológico e balanceado, onde os microrganismos apresentam uma função essencial. As bactérias

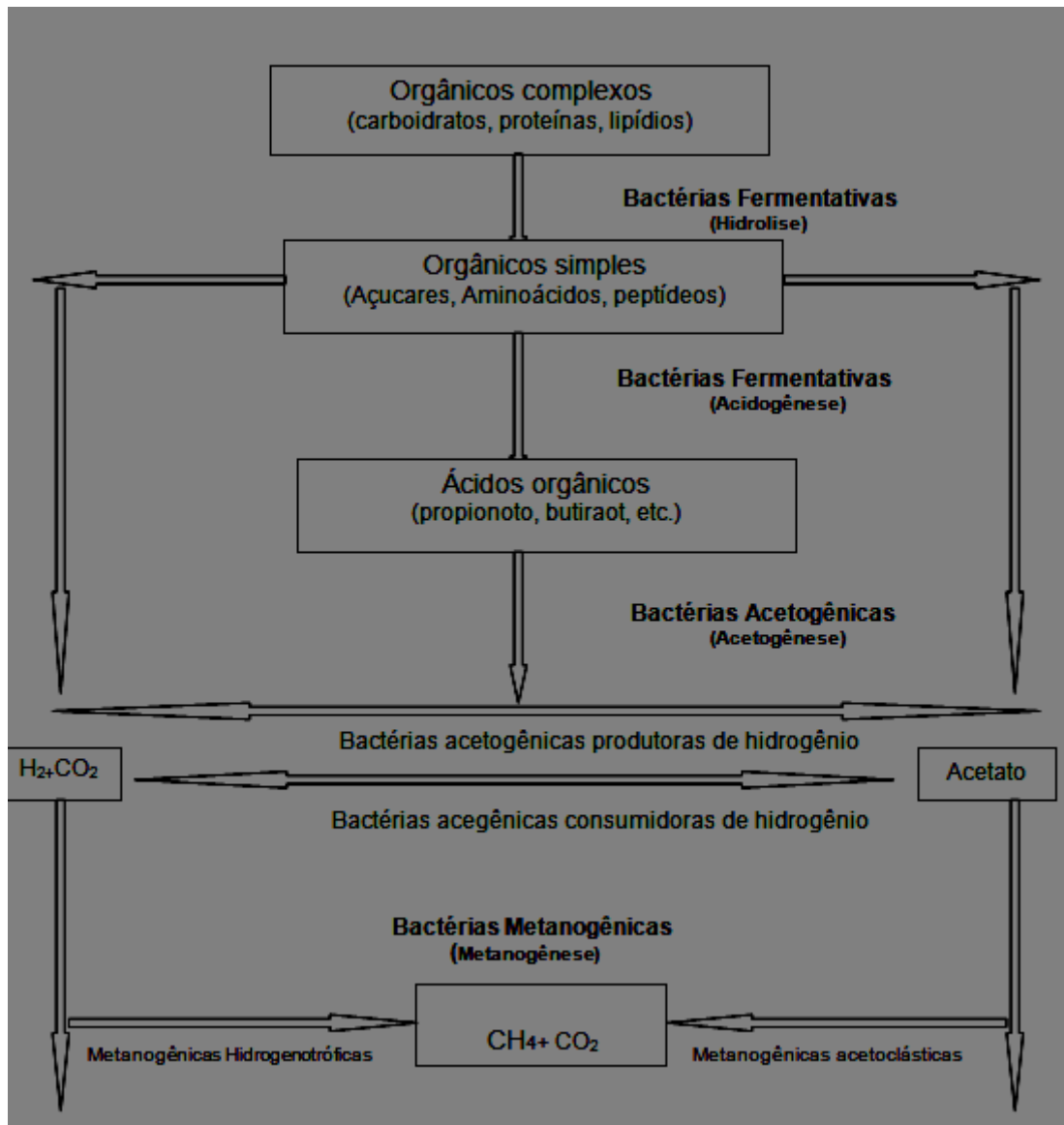
fermentativas acidogênicas convertem orgânicos complexos (proteínas, carboidratos e lipídios), por hidrólise e fermentação em outros, compostos mais simples, (açúcar, aminoácidos, peptídicos) Os microrganismos sintróficos acetogênicos convertem compostos orgânicos intermediários, como butirato e propionato, em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Por fim, o acetato e o hidrogênio produzidos nas etapas anteriores são convertidos em metano e dióxido de carbono. Essa conversão é efetuada por microorganismos, denominados arqueas metanogênicas, as bactérias metanogênicas apontam duas funções: produzir um gás insolúvel (metano), promovendo a remoção do carbono orgânico, e utilizar o hidrogênio, proporcionando um ambiente para que as bactérias acidogênicas fermentem os compostos orgânicos com a respectiva produção de ácido acético, onde os mesmos são convertidos em metano (Chernicharo, 1997).

Sobre digestão anaeróbia Chernicharo (1997) comenta que:

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de microrganismo trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia além de novas células bacterianas. Os microrganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três importantes grupos de bactérias, com comportamentos fisiológicos distintos: o primeiro grupo é composto por bactéria fermentativas, que transformam por hidrólise, os polímeros em monômeros, e estes em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido orgânico de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos como glicose; o segundo grupo é formado pelas bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio, o qual converte os produtos gerados pelo primeiro grupo (aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos e álcoois) em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono; os produtos finais do segundo grupo são os substratos essenciais para o terceiro grupo que por sua vez constitui dois diferentes grupos de bactérias metanogênicas. Um grupo usa o acetato, transformando-o em metano e dióxido de carbono, em quanto o outro produz metano, através da redução do dióxido de carbono. (Chernicharo 1997, pag.24)

De acordo com o autor supracitado pode-se dizer que a digestão anaeróbia é um delicado sistema ecológico balanceado, envolvendo um complexo processo metabólico, que realizam-se em etapas e que a atividade depende de no mínimo três grupos fisiológicos de bactérias: sintróficas (ou acetogênicas), fermentativas (ou acidogênicas) e metanogenicas cada grupo tem funções específicas. A Figura 3.3 representa, esquematicamente, a seqüência metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia

Figura 3.3 – Sequencia metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 2017.

Existem diversos tipos de bactérias acidogênicas e metanogênicas no processo de digestão anaeróbica dos compostos orgânicos, sendo que é de fundamental importância o estabelecimento de equilíbrio ecológico entre os tipos de espécies de microrganismos anaeróbios para a eficiência do tratamento Chernicharo (1997).

Para Chernicharo (1997) o equilíbrio entre esses microrganismos pode ser verificado pelas análises dos ácidos graxos voláteis (AGV), onde os ácidos são os fundamentais substratos e produtos dos microrganismos que envolvem-se nesse equilíbrio.

Os ácidos graxos voláteis são formados, como produtos intermediários, durante a degradação de carboidratos, proteínas e lipídios. Os mais importantes

componentes da decomposição bioquímica da matéria orgânica são os ácidos voláteis de cadeia curta, como o acético, propiônico, fórmico, butírico e, em menor quantidade, o isovalérico e o valérico. Portanto os ácido volateis de cadeia curta são os principais na decomposição bioquímica da matéria orgânica Chernicharo (1997).

3.3.1 Reatores Anaeróbio de Circulação Interna (IC)

A utilização do processo de tratamento anaeróbio tem aumentado significativamente no Brasil, uma vez que esta tecnologia é adequada às condições de clima tropical do país, além de apresentar um balanço energético favorável em relação à tecnologia aeróbia. Uma das grandes vantagens do processo anaerobio, quando realizado de forma completa, é a geração de produtos estáveis, como o biogás, em especial o gás metano, que pode ser utilizado como fonte de energia por apresentar alto poder calorífico. Há também, a produção de lodo como biofertilizante e o próprio efluente líquido tratado que possui valor fertilizante e pode ser utilizado na fertirrigação. A princípio, todos os compostos podem ser degradados por via anaeróbica e este processo se mostra eficiente e econômico, principalmente quando os dejetos são facilmente biodegradáveis (Moterani, 2010,p.15)

De acordo com Sereno Filho; Santos *et al* (2013) o reator IC consiste em um tanque cilíndrico, vertical, com altura variando de 16 a 25 metros e pequena área superficial, com diâmetros variando de 1,0 – 11,5 metros. O corpo do reator pode ser executado em aço inoxidável ou aço carbono revestido com proteção anticorrosiva. Em ambos os casos há um revestimento interno das paredes em plástico de engenharia (polipropileno), no fundo (para evitar erosão na alimentação) e na parte superior (para evitar a corrosão causada pela conversão de sulfato a sulfeto). O teto de lodo na zona de mistura, o tanque separador gás/líquido e as tubulações internas sempre são construídas em aço inoxidável. Os separadores internos são construídos totalmente em plástico de engenharia e ocupam toda a área superficial do reator. Estes cuidados garantem a longa vida útil do equipamento quando submetidos às condições do processo anaeróbio. A figura 3.4 mostra o reator anaeróbio descrito acima.

Figura 3.4 Reator Anaeróbio.



Fonte:Autor, 2018.

Sereno Filho, Santos *et al* (2013) colocam que no funcionamento de reatores IC, o efluente é bombeado para o reator entrando no sistema de distribuição onde é misturado com o efluente tratado e o lodo anaeróbio recirculados. O compartimento inferior do reator abriga a zona que contém leito de lodo granulado expandido, bastante carregada orgânica e hidraulicamente, onde cerca de 70 a 75% da DQO são convertidos em biogás. O biogás produzido nessa região é coletado pelo primeiro separador trifásico (gás, líquido e sólido) e é utilizado para gerar o *gas-lift* que

proporciona o arraste de efluente e lodo via tubulação de subida para o separador trifásico instalado no topo do reator. O biogás é separado da mistura de efluente e lodo e deixa o sistema. A mistura de efluente e lodo é direcionada ao fundo do reator pelo tubo de descida resultando no fluxo de circulação interna. O efluente que atravessa o primeiro separador trifásico, livre da grande concentração de biogás, segue para a zona de polimento onde a pequena parcela residual da DQO é degradada, atingindo remoções de 75% a 85%. O biogás produzido nessa área é coletado no segundo separador trifásico instalado na parte superior do reator, enquanto o efluente tratado deixa o reator pelos vertedores.

As principais partes do reator IC são: a zona de mistura, a zona de leito expandido de lodo anaeróbio granulado, a zona de polimento.

Zona de Mistura: No fundo do reator o efluente que chega para o tratamento é efetivamente misturado com o lodo anaeróbio e o efluente da corrente de recirculação. Isto resulta numa diluição e condicionamento do efluente de entrada, minimizando os riscos de toxicidade e choques de carga orgânica e pH.

Zona de Leito Expandido: Contém um leito de lodo anaeróbico granulado expandido altamente concentrado. A expansão/fluidização do leito é efetuada pela elevada vazão ascensional de efluente, recirculação e biogás produzido. O efetivo contato entre o efluente e os microrganismos resulta em uma alta atividade do lodo, que possibilita a aplicação de elevados carregamentos orgânicos com boa eficiência de conversão. Testes comparativos demonstraram que lodos anaeróbios granulados originários de reatores IC freqüentemente apresentavam o dobro da atividade específica metanogênica de lodos de reatores UASB.

Zona de Polimento: O primeiro separador consegue remover a maior parte do biogás produzido na zona de leito expandido. Com isso, garante pouca turbulência na zona de polimento. A vazão de efluente que é recirculada internamente também ficará restrita ao compartimento inferior do reator, entrando na zona de polimento vazão idêntica a de entrada de efluentes no reator. Esses fatores proporcionam uma boa separação sólido/líquido, fazendo com que a biomassa seja retida no reator e o efluente saia clarificado pelos vertedores na parte superior do segundo separador. A pequena vazão de biogás gerada na zona de polimento será coletada e enviada ao tanque separador no topo do reator.

Sistema de Recirculação: A circulação interna é baseada no princípio do “gas-lift” e é controlada pela vazão de biogás produzida no reator (não é necessária a utilização de bomba). Portanto, a vazão de recirculação depende somente

da DQO do efluente de entrada e seu controle é automático: quando maior a DQO, maior produção de biogás na zona de leito expandido, maior vazão de recirculação e também maior diluição do efluente de entrada após a mistura na zona de mistura. Importante reafirmar que a vazão recirculada que permite um melhor contato efluente/microrganismos na zona de leito expandido, é coletada no primeiro separador, garantindo menores velocidades ascensionais previstas no projeto para a zona de polimento. (SERENO FILHO; SANTOS, *et al* 2013, pgs 12-13)

3.3.2 Atividade Metanogênica Específica (AME) e Biodegradabilidade

A AME é um dos importantes parâmetros de monitoramento da digestão anaeróbia e consiste em incubar uma pequena quantidade de biomassa, em meio contendo substrato e nutrientes, medindo-se a produção de gás por unidade de biomassa e por tempo. A quantidade de metano é medida usando um frasco Mariotte com uma solução alcalina (normalmente NaOH). O teste normalmente é realizado em batelada e pode ser feito de duas maneiras: uma medida da atividade total, a qual fornece informação a respeito de toda a degradação ou uma medida individual da atividade de cada uma das etapas básicas do processo de digestão anaeróbia. A atividade total permite a seleção de um lodo adaptado para ser usado como inóculo e a individual detecta situações instáveis entre as diferentes espécies de microrganismos. As bactérias anaeróbias são difíceis de serem isoladas e identificadas, por isso foram propostos vários métodos para quantificá-las e medir a sua máxima atividade metanogênica. Os métodos baseados neste princípio são de fácil operação, mas o volume necessário da amostra ainda é muito grande, cerca de 500 mL ou mais. Esse método, portanto, não é usado em alguns laboratórios de pesquisa. Entretanto, algumas alternativas foram propostas para diminuir o volume da amostra (30 a 125 mL) e automatizar o monitoramento do processo. Em virtude disso, há uma pequena produção de gás metano, e são necessárias técnicas sofisticadas para a sua medida (SOTO *et al.*, 1993; POETSCH e KOETZ, 1998, MOHAMMAD e TARE, 1999).

Inicialmente, o teste foi usado para selecionar um lodo adaptado ou não que poderia ser usado como inóculo em reatores anaeróbios em escala real. Atualmente ele pode ser usado para outros fins, tais como: avaliar o comportamento do lodo para compostos inibidores, determinar o grau de biodegradabilidade de várias substâncias, acompanhar as mudanças na atividade do lodo devido a possíveis acúmulos de

material inerte, determinar a toxicidade anaeróbia de compostos específicos ou de todo esgoto (FIELD et al., 1988; SOTO et al., 1993; MOHAMMAD e TARE, 1999).

Para Aquino *et al* (2007) a atividade metanogênica específica (AME) é a capacidade máxima de produção de metano que os microrganismos anaeróbios realizam. Para este autor, o conhecimento da AME, auxilia a situar a capacidade máxima de remoção de DQO da fase líquida, assim, conseguindo aferir a máxima carga orgânica, aplicada sem que ocorram riscos de desbalanceamento do processo anaeróbio.

Nessa mesma linha de raciocínio, nos utilizamos da contribuição de Poetsch; Koetz (1998), para quem o parâmetro AME, empregado como complemento ao parâmetro Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), permite a avaliação da capacidade geradora de gás metano em lodos anaeróbios de efluentes industriais.

A determinação da atividade metanogênica é usualmente realizada por um teste de laboratório em batelada, sob condições ambientais controladas. O resultado é calculado a partir da medição direta da taxa de produção de metano ou consumo de um substrato, por unidade de biomassa (SSV) e unidade de tempo. (MONTEGGIO, 1991,p.756)

Para o autor, como o AME, depende da atividade biológica de organismos vivos, a transferência de uma amostra representativa do lodo anaeróbio proveniente de um reator biológico para o equipamento de laboratório, deve levar em conta os seguintes aspectos:

I.a garantia de um ambiente anaeróbio, o qual contém as condições necessárias (temperatura, pH, potencial redox) e nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, elementos traço) para obtenção da atividade biológica máxima, II. a utilização de uma adequada população de microrganismos (SSV) e alimento suficiente (substrato teste) acima de concentrações limitantes, para obtenção da taxa máxima de remoção de substrato, e III. o uso de um equipamento de laboratório capaz de monitorar as mudanças da atividade metabólica (produção de gás) ou o consumo do substrato teste com precisão satisfatória durante o período do teste. (MONTEGGIO, 1991,p.756)

Para Foresti *et al* (1999), a AME, aparece como uma ferramenta, que controla os reatores anaeróbios, porque, a mesma é utilizada como parâmetro de controle da eficácia metanogênica presente nos reatores biológicos.

O teste de atividade microbiana pode ser utilizado como análise de rotina,

para quantificar a atividade metanogênica de lodos anaeróbios, avaliar o comportamento de biomassas sob o efeito de compostos potencialmente inibidores, determinar a toxicidade relativa de compostos químicos presentes em efluentes líquidos e resíduos sólidos, estabelecer o grau de degradabilidade de um efluente com base na atividade, já determinada de um lodo, monitorar as mudanças de atividade do lodo, devido a uma possível acumulação de materiais inertes, após longos períodos de operação de reatores, determinar a carga orgânica máxima que pode ser aplicada a um determinado tipo de lodo, proporcionando uma aceleração do processo de partida de sistemas de tratamento, e avaliar parâmetros cinéticos (CHERNICHARO, 1997).

4. METODOLOGIA

4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A água residual do processo industrial (ArPI) é encaminhada para o sistema de tratamento, composto por peneiras estáticas, calha Parshall, decantador primário, tanque de equalização, tanque de condicionamento, reator IC e reator Unitank. No Quadro 4.1 estão apresentados os componentes do sistema de tratamento da indústria, bem como, suas respectivas funções e descrições.

Quadro 4.1 – Componentes do sistema de tratamento, com suas respectivas funções e descrições.

Nível de tratamento	Componentes	Função	Descrição dos equipamentos do sistema de tratamento
Pré - Tratamento	Peneiras estáticas	As peneiras estáticas são destinadas à remoção de sólidos em suspensão no efluente, tais como areia, bagaços, vidros, tampas, dentre outros. Evita a abrasão com as paredes internas de tubulações e acúmulo de sólidos nos tanques e reatores.	Três peneiras (quais as dimensões das malhas), Tanque interno de recepção de efluentes, Paredes laterais de sustentação, Flange de entrada, Flange de saída, Tela de filtração em aço inox 304, com ranhura de 0,5 mm (cada peça), e capacidade para 150 m ³ /h de vazão afluente cada.
	Decantador Primário	É onde ocorre a sedimentação de partículas mais pesadas do efluente..	Executado em concreto armado, formato circular com declividade tipo cone, volume de 150m ³ .
	Tanque de Equalização	Equalizar a vazão afluente e promover a hidrólise inicial dos compostos fermentáveis.	Construído em concreto armado, com formato prismático retangular e volume total de 1500 m ³ .
Primário	Tanque Condicionamento	Corrigir pH do afluente a após a saída do tanque de equalização homogeneizar o efluente com o efluente do reator ic.	Fabricado em aço AISI-304, com formato cilíndrico e volume 80 m ³ (altura 1,60 m e diâmetro 0,50 m). TDH = 0,45-1,0 hora
	Reator IC	Remoção de matéria orgânica biodegradável.	Construído em AISI-304, altura, 25 m, 6 m de diâmetro, em formato cilíndrico e volume total de 605 m ³ , TDH mínimo = 2,56h, vazão máxima = 160 m ³ /h, acoplado à gasômetro de 5 m ³ , flare

	Unitank	Remoção da fração orgânica remanescente ao sistema anaeróbio.	Construído em concreto armado, com formato circular, divididos em três compartimentos ligados por aberturas nas paredes adjacentes. Volume total 2322 m ³ , vazão 157-210 m ³ /h, com dois sopradores instalados, para fornecer oxigênio através de difusores EPDM de membranas.
--	----------------	---	--

Fonte: autor, 2018.

Figura 4.1 etapas do processo de tratamento do efluente industrial



Fonte: autor, 2018

4.2 Caracterização dos efluentes

Para a caracterização da ArPI e do efluente final do sistema de tratamento (EF), foram considerados os resultados das análises de pH, DQO e DBO, referentes aos meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2016. As médias mensais foram obtidas a partir de 92 (noventa e dois) dias de monitoramento para pH e DQO e 12 (doze) para DBO. As análises foram realizadas pelo setor de operação do sistema de tratamento na própria indústria. Vale destacar que os meses estudados foram os de maior produção da indústria ao longo do ano 2016.

Para resguardar o direito ao sigilo empresarial, será omitido nesse trabalho.

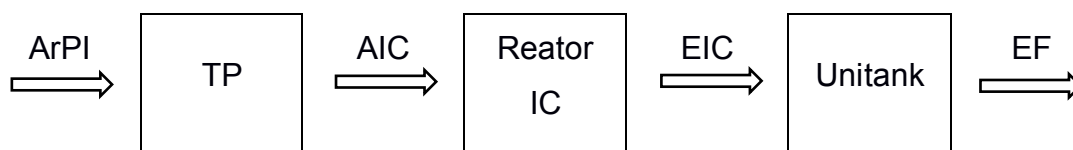
4.3 Eficiência de remoção de mo no reator ic

Foi realizada a avaliação da eficiência efetiva do reator IC quanto à remoção de MO a partir dos resultados das análises de DQO de amostras retiradas do Tanque de Equalização (afluente do reator IC - AIC) e da saída do reator IC (efluente - EIC). Para a determinação da eficiência média de remoção de DQO, foram utilizados 92 (noventa e dois) dias de monitoramento.

A fim de avaliar a participação parcial do reator IC na eficiência de remoção de DQO no sistema de tratamento da indústria, também foram determinadas as eficiências médias de remoção no tratamento primário (TP) e no tanque de aeração Unitank (Utk), a partir dos dados extraídos de 92 (noventa e dois) dias de monitoramento.

Assim, para o cálculo da eficiência de remoção de DQO no TP, foram considerados as análises de amostras da água residual do processo industrial (ArPI), ou seja, do efluente industrial bruto, e do AIC. A eficiência parcial do reator IC foi obtida a partir da diferença entre a eficiência obtida pelas amostras de ArPI e do ERI e a eficiência do TP (entre ArPI e ARI). De modo semelhante, a eficiência no tanque de aeração Unitank foi obtida diminuindo-se da eficiência global do sistema de tratamento, dada a partir de amostras de ArPI e do efluente final do sistema de tratamento (EF), a eficiência no TP e no reator IC. Na Figura 4.2, está apresentado o esquema dos pontos de coleta.

Figura 4.2 – Esquema dos pontos de coleta



Fonte: autor, 2018.

4.4 ATIVIDADE METANOGENÉTICA ESPECÍFICA (AME) E BIODEGRADABILIDADE

A atividade metanogênica específica (AME) do lodo reator IC e a biodegradabilidade do AIC foram realizadas de acordo com a metodologia analítica da empresa estudada. Os testes de AME e biodegradabilidade são realizados apenas uma vez ao mês, logo, serão apresentados apenas três resultados, referentes aos meses Outubro, Novembro e Dezembro de 2016.

4.5 MÉTODOS ANALÍTICOS

As análises foram realizadas semanalmente conforme parâmetros, métodos analíticos, referências e frequências apresentados na Tabela 4.2.

Quadro 4.2 – Parâmetros, métodos analíticos e referências dos métodos durante o E1.

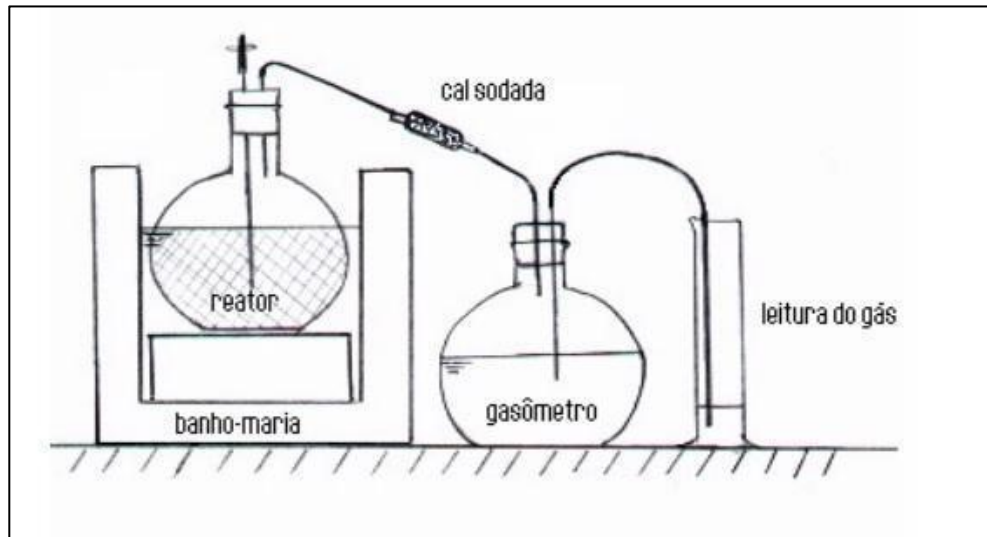
Parâmetros	Método Analítico	Referência do Método	Frequência
pH	Potenciométrico	4500(SMWW ^a)	Diariamente
DQO	Espectrofotométrico	5220-C (SMWW)	Diariamente
DBO	Respirométrico	5210-B(SMWW)	Diariamente

^a Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater of American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA) and the Water Environment Federation (WEF), 22^o ed., 2012.

Os testes de AME foram realizadas em um sistema de ensaio, com banho-maria de 30 litros, no qual ficam imersos em água, com temperatura em torno de 36° C a 39° C, um frasco fermentador de 2 L contendo 12,6 g de sólidos totais – ST, de lodo anaeróbio do reator IC, água da torneira livre de cloro e água destilada até completada o volume útil do frasco fermentador de 1,8 L. Junto ao volume útil serão introduzidos reagentes como: Sacarose (C₁₂H₂₂O₁₁); Bicarbonato de sódio (NaHCO₃), fosfato de potássio monobásico (KH₂PO₄); fosfato de potássio dibásico (K₂HPO₄) e cloreto de amônia (NH₄Cl). O gás irá percorrer por uma mangueira saindo do balão volumétrico de fundo para o kitassato de 500 mL que irá conter uma solução de hidróxido de potássio 50% com a função de filtrar o CO₂. Depois o gás vai para uma proveta de 2 L na posição invertida contendo água que é empurrada pelo gás. O volume de água deslocada corresponde ao volume de gás produzido. O valor de água

deslocada é anotada hora-a-hora em uma planilha para quantificarmos o valor total de gás produzido. A Figura 4.3 representa de modo simplificado o teste de AME e de Biodegradabilidade.

Figura 4.3 – Esquemas dos Teste de AME e Biodegradabilidade



Fonte:

Pontes 2016, adaptado pelo autor.

Ao final do teste seguem-se os seguintes passos para se determinar a atividade metanogênica específica (AME).

1. Plotar uma curva representativa do volume de gás metano acumulado (mL) pelo o tempo (h).
2. Calcular a taxa máxima de produção de gás (Δ), em L/h, dada pela razão entre a variação de volume de gás metano acumulado (ΔV) / tempo (Δt). Para tanto, após a plotagem da curva volume acumulado de CH_4 pelo tempo, observam-se qual a maior inclinação da curva para adotá-la para determinação da taxa máxima de produção de gás (ΔV), desconsiderando-se os períodos em que a variação da produção de gás foi menor ou nula. Ressalta-se que considera-se o intervalo de tempo de 7 (sete) horas consecutivos.

3. Calcular da AME, kg DQO/ kg ST. d, através da Equação 1.

$$AME = \frac{\Delta (L/h) \times 24 \text{ h/dia} \times 0,0026 (Kg \text{ DQO/L } CH_4)}{m (Kg \text{ ST})} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Δ é a taxa máxima de produção do gás CH_4 (em L/h), e; m é a massa de lodo utilizado no teste (em Kg), cujo valor padrão na indústria estudada é 12,6 g de ST.

Cabe esclarecer que o valor 0,026 Kg DQO por L de CH₄ é obtido pela reação de oxidação do CH₄, expressa pela Equação 2.



Conforme a Equação 2, a oxidação de 1 mol de CH₄ (26,03 L CH₄, a 39 °C) representa o consumo de dois mols de O₂ (64 g). Logo para a oxidação de 1 L de CH₄, nas CNTP, são necessários 0,0026kg de O₂ ou 0,0026 kg DQO.

O teste de biodegradabilidade é feito sob as mesmas condições da AME e realizada da seguinte forma: em um sistema de ensaio, com banho-maria de 30 litros, no qual ficará imerso em água, com temperatura em torno de 36° C a 39° C, um frasco fermentador de 2 L contendo 12,6 g de ST de lodo anaeróbico do reator IC e, aproximadamente, 1,6 L de AIC, de modo a completar o volume útil do frasco fermentador de 1,8L. Junto com o efluente serão introduzidos reagentes para tamponar a amostra: bicarbonato de sódio (NaHCO₃), fosfato de potássio monobásico KH₂PO₄; fosfato de potássio dibásico (K₂HPO₄) e cloreto de amônia (NH₄Cl). O gás irá percorrer uma mangueira saindo do balão volumétrico de fundo para o kitassato de 500 ml, que irá conter uma solução de hidróxido de potássio 50%, com a função de filtrar o gás. Depois o gás vai para uma proveta de 2 L na posição invertida contendo água que é empurrada pelo gás, depois anotamos o valor produzido hora-a-hora em uma planilha para quantificarmos o valor total de gás.

Ao final do teste a biodegradabilidade será dada pela Equação 3.

$$\text{Biodegradabilidade} = \frac{\text{Volume } CH_4 \text{ produzido (mL)} \times 100}{\text{Volume teórico } CH_4 \text{ (mL)}} \quad \text{Equação 3}$$

O valor da produção teórica de CH₄(VT) dá-se pela Equação 4.

$$VT \text{ (mL)} = 380 \text{ (L } CH_4 / \text{kg DQO)} \times \text{DQO ArPI (kg DQO/L)} \times V_F \text{ (L)} \quad \text{Equação 4}$$

Onde: 380 L CH₄/kg DQO corresponde ao inverso do valor 0,0026 kg DQO/L CH₄, obtido pela Equação 2, de oxidação do CH₄ a 39 °C; DQO ArPi, é a DQO da água residual da produção industrial utilizada para a realização do teste (em kg DQO/L), e; V_F o volume útil do frasco fermentador. A Figura 4.3 representa de modo simplificado o teste de AME e de Biodegradabilidade.

5.0 Resultados e discussões

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ARPI, AIC, EIC E EF

As médias e os respectivos desvios padrão dos resultados de pH, DQO e DBO da ArPI, AIC, EIC e EF, para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2016, estão apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Médias mensais e respectivos desvios padrão para pH, DQO e DBO da ArPI, AIC, EIC e EF.

Parâmetros	Outubro				Novembro				Dezembro			
	ArPI	AIC	EIC	EF	ArPI	AIC	EIC	EF	ArPI	AIC	EIC	EF
pH	5,8 a 11,6	6,5 a 6,8	6,5 a 7,5	8,0 a 8,5	5,4 a 11,6	6,5 a 6,8	6,5 a 7,5	6,6 a 7,7	6,4 a 12	6,5 a 6,8	6,3 a 7,5	8,0 a 8,5
DQO (mg/L)	4667 ±1217	3455±983	450±116	18±17	4217 ±1009	2870±585	411±99	13±7	4389 ±904	3246±757	442±75	7±3
DBO (mg/L)	3108 ±623	1818±315	317±85	11±6	3553 ±362	2910±225	348±41	9±3	3298 ±423	2833±348	343±15	4±1

A DBO do efluente bruto (ARPI) em Outubro/16 apresentou um resultado de 3108±623 mg/L, em Novembro/16 3553±362 mg/L, e, por fim, em Dezembro/16 3298±423 mg/L. Valores que podem ser considerados elevados, se comparado a efluentes sanitários (domésticos e comerciais), cujo valor médio é de 100 e 400 mg/L. (Jordão e Pessoa, 2014)

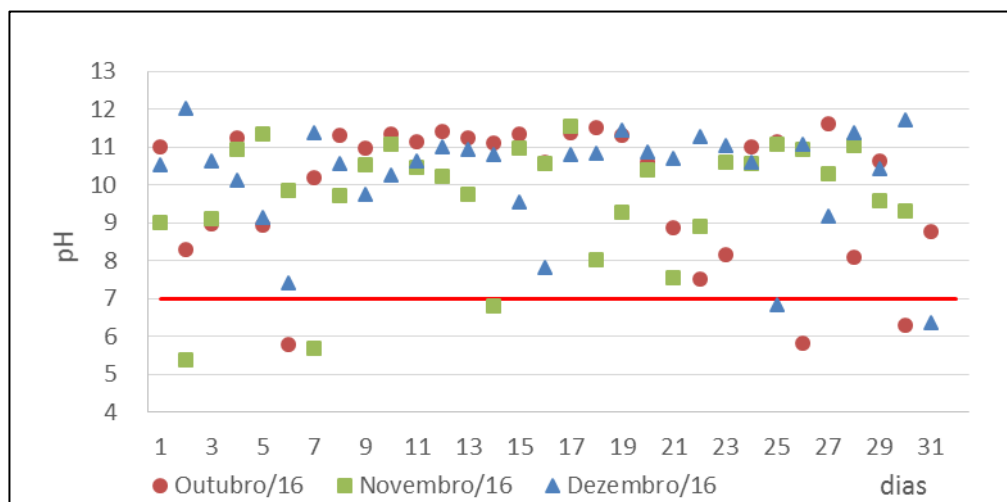
Os dados referentes a DQO do efluente bruto, mostram que no mês de Outubro/16 ocorreu uma variação em relação aos meses seguintes, o resultado foi de 4667±1217 mg/L. Provavelmente, isso ocorreu devido ao aumento da produção de cervejas e refrigerantes, bem como, há uma maior perda de produção neste período. Nos meses seguintes as máquinas passaram por reparos e manutenção, sanando as anomalias e não apresentaram mais defeitos, se adequando as novas demandas de produção. No mês de Novembro/16 o resultado de DQO foi 4217±1009 mg/L, e

Dezembro 4389 ± 904 mg/L. De igual modo à DBO, constatarem-se valores mais elevados que a média para esgotos domésticos, que varia entre 200 e 800 mg/L (Jordão e Pessoa, 2014).

Esses resultados mostram que o efluente bruto das indústrias de bebidas é caracterizado por uma elevada concentração de matéria orgânica devido aos açúcares, xaropes, fermentos, resíduos de cereais, malte, mosto, e despejos de produtos não conformes de cervejas e refrigerantes. Tal afirmação pode ser compreendida quando Sereno *et al* (2013) relatam que tais efluentes sofrem modificações quando postos a inúmeros processos produtivos, principalmente por apresentarem uma alta concentração de carga orgânica, devido aos extratos vegetais e açúcares dos xaropes utilizados na formulação das bebidas.

O pH do efluente bruto em Outubro/16 apresentou valores compreendidos entre 5,8 a 11,6, para o mês de Novembro/16 o pH variou 5,4 a 11,6 e Dezembro/16 foi de 6,4 e 12. Mesmo apresentando valores próximos à neutralidade (pH 7), pela Figura 6.1, observam-se que o pH da ArPI de cervejas e refrigerantes é, predominantemente, alcalino. Isso ocorre devido a adição de alguns produtos químicos principalmente a soda caustica (NaOH) nas lavagens, enxagues, assepsias e esterilização dos tanques de maturação, fermentação, pressão, assim como, nas lavadoras de garrafas, tinas de banho de guarda e lavagens de pisos. Santos (2010) descreve em seu trabalho que os despejos provenientes das indústrias de cerveja e refrigerantes caracterizam-se por um pH predominantemente alcalino.

Figura 5.1- Variação do pH da ArPI, durante o período de monitoramento.



Fonte: Autor, 2018.

A DQO do efluente do reator IC (EIC) foi de 450 ± 116 mg/L em Outubro/16,

411±99 mg/L em Novembro/16 e 442±75 mg/L em Dezembro/16. Já a DBO foi de 317±85 mg/L em Outubro/16, 348±41 mg/L em Novembro/16 e 343±15 mg/L em Dezembro/16. Esses valores demonstram a estabilidade de tratamento atingida pelo reator IC.

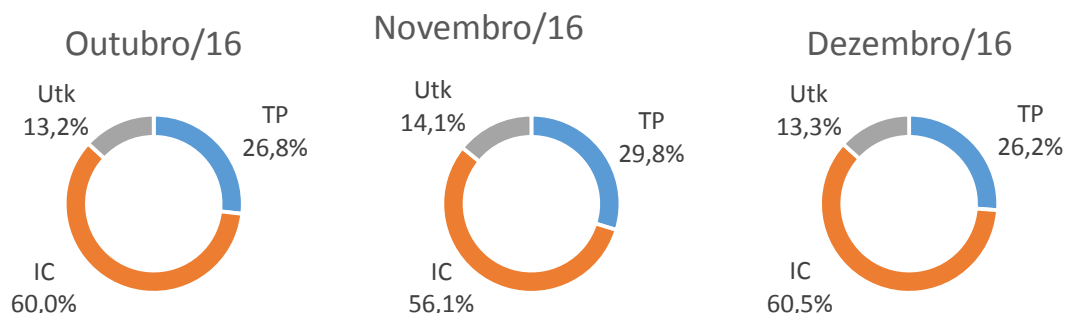
O pH do efluente do reator IC variou entre 6,3, e 7,5. Pode-se observar que, para todos parâmetros, (DQO, DBO e pH) do efluente do reator IC, os resultados apresentam-se sem grandes variações mês a mês, mostrando uma estabilidade do sistema de tratamento, especialmente devido ao bom controle operacional do sistema, o que pode ser observado pela pouca variabilidade das concentrações de DBO e DQO efluentes.

Partindo dessas premissas temos a contribuição de Sereno filho et al (2013) onde reforça que para ter bons resultados no tratamento do efluente no reator anaeróbio a necessidade de um bom controle operacional efetivo em função da sensibilidade do sistema a grandes oscilações de carga.

5.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO REATOR IC.

Na Figura 5.2 estão apresentadas as eficiências médias de remoção de DQO para cada nível de tratamento do sistema, ou seja, para o tratamento primário (TP), para o tratamento secundário no reator IC (IC) e para o tratamento terciário no tanque de aeração (Unitank), durante o período de monitoramento.

Figura 5.2 – Eficiências médias de remoção de DQO no tratamento primário (TP), no reator IC e no tanque de aeração Unitank (Utk).



Fonte: Autor, 2016.

A partir dos dados apresentados na Figura 6.2 verifica-se que as eficiências de remoção de DQO do reator IC variaram de 56,1±4,8% a 60,5±11,4% e para as eficiências de remoção de DQO total do sistema de tratamento (TP, IC e Unitank) os resultados encontrados foram superiores a 99%. Muito embora não haja legislação específica que estabeleça eficiência mínima de tratamento de efluentes quanto à

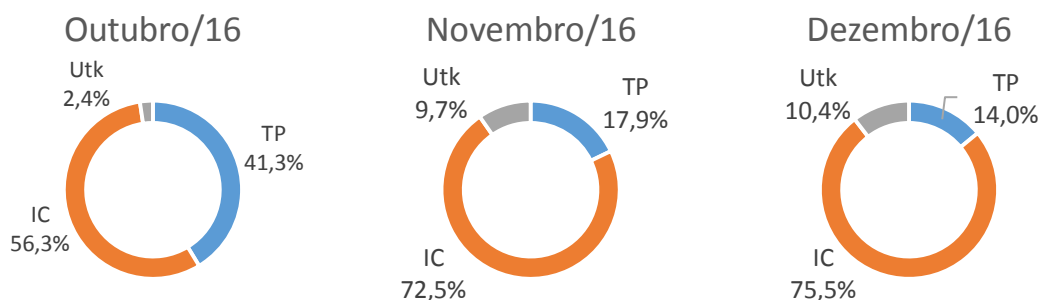
DQO, se fizermos analogia à DBO (no qual a Resolução CONAMA 430/11 estabelece, na alínea g, inciso I do Art. 16, que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que atinjam, no mínimo, 60% de remoção de DBO), o sistema de tratamento proposto é bastante satisfatório.

Quanto aos resultados apresentados na Figura 5.2, cabe ressaltar a relevância do reator IC (IC) no processo de remoção de DQO, tendo sido responsável por mais de 56% da eficiência total do sistema de tratamento. O tratamento primário (TP), composto por peneiras estáticas e decantador primário, foi o segundo maior responsável pela remoção de DQO do sistema de tratamento, atingindo, em média, entre $26,2 \pm 11$ e $29,7 \pm 17,2\%$. Já o tanque de aeração Unitank (Utk) foi responsável pela degradação da matéria orgânica residual, atingindo, em média, entre $13,1 \pm 1,7$ e $14,1 \pm 2,3\%$.

Santos *et al* (2013) encontrou valores médios de eficiências de DQO do reator IC e eficiências de DQO global removida em torno de 90 a 96 % de eficiência. Os resultados deste sistema foram bastantes positivos, apresentando elevadas eficiências e remoção de matéria orgânica.

Na Figura 5.3 estão apresentadas as eficiências médias de remoção de DBO para cada nível de tratamento do sistema, ou seja, para o tratamento primário (TP), para o tratamento secundário no reator IC (IC) e para o tratamento terciário no tanque de aeração (Unitank), durante o período de monitoramento.

Figura 5.3 – Eficiência médias de remoção de DBO no tratamento primário (TP), no reator IC e no tanque de aeração Unitank (Utk).

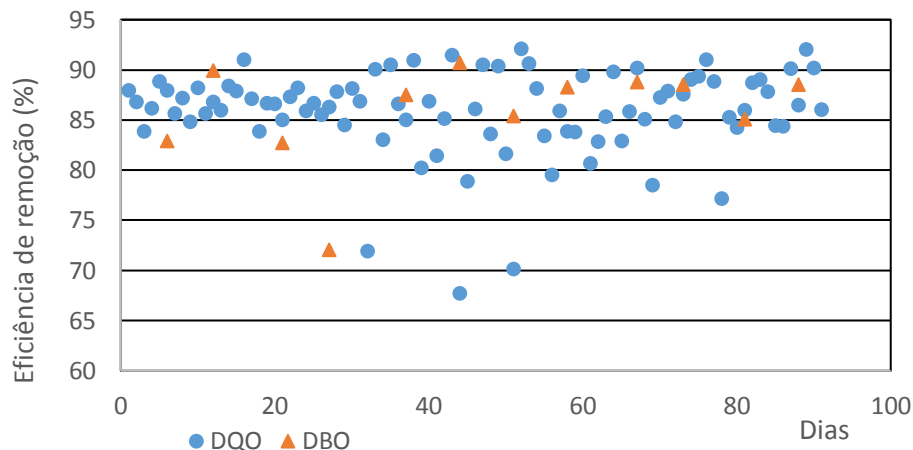


Fonte o autor, 2016.

De igual modo aos resultados apontados para DQO, os resultados da DBO indicam que o reator IC é o principal responsável pelo tratamento do efluente, tendo atingindo, em média, mais de 72% da eficiência de remoção de DBO do sistema de

tratamento (TP, IC e Utk), com exceção para o mês de outubro, para o qual atingiu, em média, $56,3 \pm 4,8\%$ da eficiência. Na Figura 5.4 estão plotadas as eficiências de remoção efetiva de DQO e DBO do reator IC, ou seja, a eficiência considerando apenas a remoção de DQO e DBO ocorrida no reator IC, considerando para tanto, os valores de DQO e DBO obtidos das amostras da AIC e do EIC.

Figura 5.4 – Eficiências de remoções efetiva de DQO e DBO do reator IC.



Fonte: o autor, 2016.

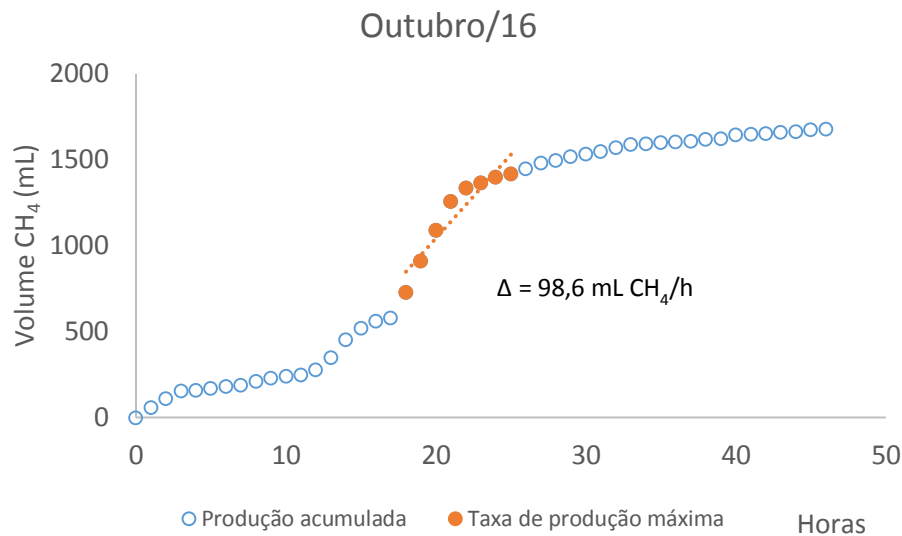
Pelos resultados, observam-se que a média de eficiência de remoção de DQO foi de $85,9 \pm 4,3\%$ e para DBO foi de $85,9 \pm 5,1\%$. O que pode ser considerado boa eficiência de remoção para reatores anaeróbios de circulação interna.

5.3 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE METANOGENICA ESPECIFICA DO REATOR IC.

Nos três testes de AME realizados nos meses de Outubro/16, Novembro/16 e Dezembro/16 foram utilizados com a mesma massa de lodo, 12,6 gramas de ST, de acordo com o metodologia do padrão da empresa. A AME foi obtida através inclinação (Δ) da reta representativa da taxa de máxima produção de CH_4 de cada período de realização do teste, de acordo com a Equação 01, sendo expressa em kg DQO/kg ST.d.

De acordo com o Figura 5.5, no mês de Outubro/16, observam-se que a AME ocorreu no intervalo entre 18 e 25 h após o início do teste, obtendo uma tangente máxima de inclinação da curva de produção de gás (Δ) de $0,0986 \text{ L CH}_4/\text{h}$, com produção de 690 mL de CH_4 no intervalo de 7 horas, correspondendo a uma AME de $0,49 \text{ kg DQO/kg ST.d}$.

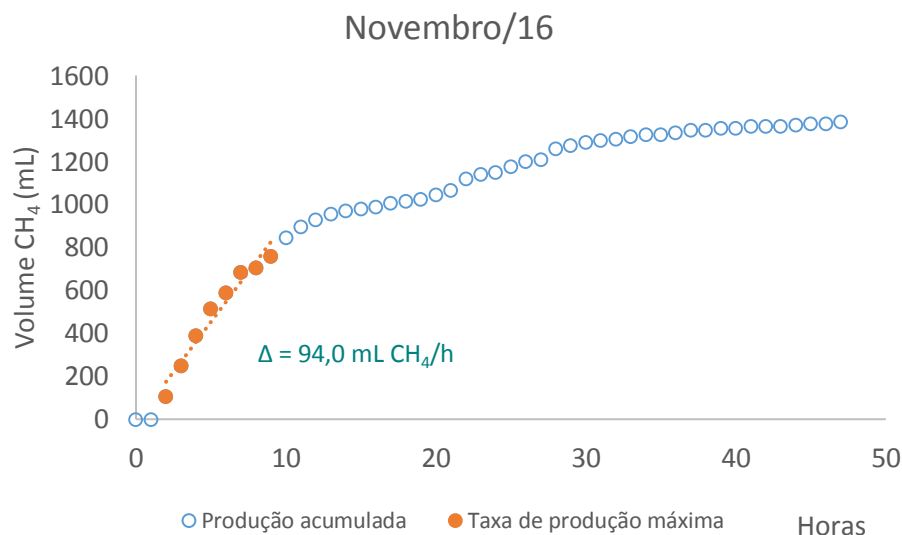
Figura 5.5 – Produção acumulada de CH_4 , em mL, pelo tempo de realização do teste de AME, em Outubro/16.



Fonte: Autor, 2016.

Para o mês de Novembro/16, observam-se pela Figura 5.6, que a maior produção de lodo ocorreu entre a 2ª e a 9ª hora após o início do teste, obtendo-se uma reta de produção de gás cuja tangente de inclinação (Δ) foi 0,094 L CH₄/h, produzindo 658 mL CH₄, no intervalo de 7 horas. Portanto, a AME correspondeu a 0,46 KgDQO/KgST.d .

Figura 5.6 – Produção acumulada de CH₄, em mL, pelo tempo de realização do teste de AME, em Novembro/16.

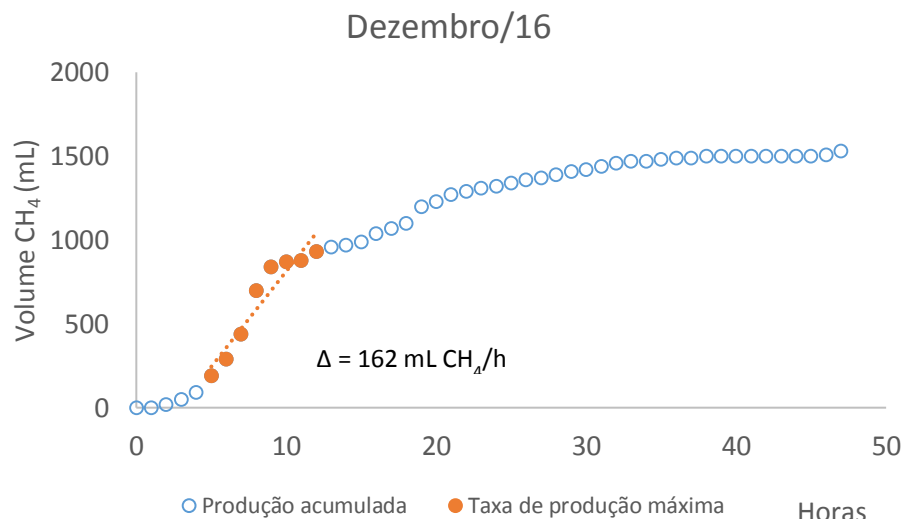


Fonte: Autor, 2016.

Para o mês de Dezembro/16, pela Figura 5.7, observam-se que foi a maior produção de metano ocorreu entre a 5ª e a 9ª hora após o início do teste, obtendo-se

uma reta de produção de gás cuja tangente de inclinação (Δ) foi 0,106 L CH₄/h, produzindo 742 mL CH₄, no intervalo. Portanto, a AME correspondeu a 0,52 KgDQO/KgST.d.

Figura 5.7 – Produção acumulada de CH₄, em mL, pelo tempo de realização do teste de AME, em Dezembro/16.



Fonte: Autor, 2016.

Pelo que se pôde observar os resultados obtidos nos três meses são considerados satisfatórios, pois de acordo com a metodologia analítica da empresa a AME tem que ser no mínimo de 0,30 KgDQO/KgST.d, para ser considerado um bom resultado.

Rocha (2003) encontrou resultados de AME de 0,48 g DQOCH₄/g STv d. Porém os testes desse autor foram realizados em condições diferentes de concentração de ST e substratos.

5.4 AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DO AIC

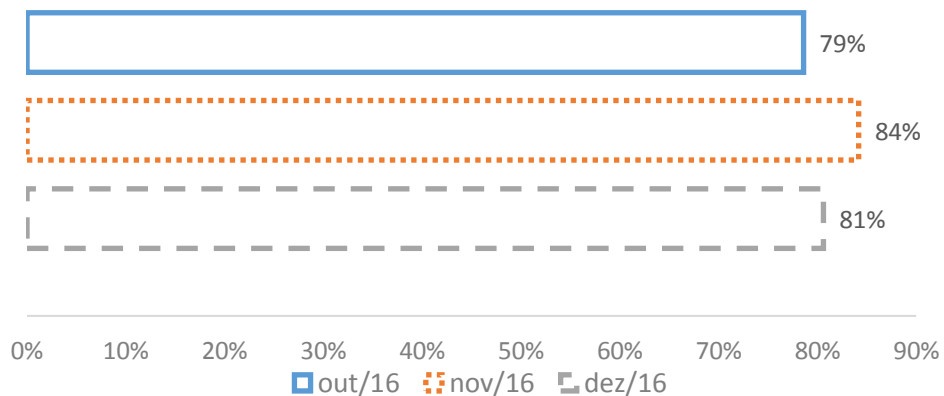
Na Tabela 5.2 estão anotados os volumes totais de CH₄ produzidos nos testes de biodegradabilidade realizados mensalmente.

Tabela 5.2 – Volumes totais de CH₄ produzidos nos testes de biodegradabilidade realizados mensalmente.

Volume de CH ₄ produzido (mL)		
Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16
2420	2570	2480

Na Figura 5.8 estão apresentados os teores de biodegradabilidade para ARPI, para os meses de monitoramento do sistema de tratamento, obtidos a partir da Equação 2.

Figura 5.8 – Teor e biodegradabilidade para a AIC, durante os meses de monitoramento.



Fonte: Autor, 2016.

Ao analisar a o gráfico da Figura 5.8, pode-se observa que a biodegradabilidade do efluente da indústria de bebidas, provenientes da produção de cerveja e refrigerantes, apresentou um resultado em escala crescente de outubro 79% para dezembro 84% e por fim para o mês de dezembro sofre uma pequena queda 81%.

Os efluentes provenientes da indústria de cerveja e refrigerantes são ricos em cargas orgânicas, mas também há existência de produtos químicos. A biodegradabilidade avalia todo o trabalho de controle de descarte gerado na indústria de bebida e seu valor mínimo deve ser de 75%, esse valor tem que ser respeitado e consiste um bom trabalho implementado na indústria caso o contrário afetará o funcionamento do reator IC.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as discussões apresentadas neste trabalho, algumas conclusões podem ser destacadas.

O efluente da indústria de bebida estudada é caracterizado por elevado teor de MO, devido aos açúcares, xaropes, fermentos, resíduos de cereais, malte, mosto adicionados no processo produtivo, isso foi observado pelos resultados de DQO que variam de 4217 a 4667 mg/l e DBO entre 3108 a 3553 da água residual do processo industrial (ArPI).

O pH da ArPI mostrou-se ao longo do estudo sendo predominante alcalino, tendo variado entre 5,4 a 12,0 devido a adição de soda caustica nas lavagens, enxagues, assepsias e esterilização dos tanques de maturação, fermentação, pressão, assim como, nas lavadoras de garrafas, tinas de banho de guarda e lavagens de pisos.

O reator IC foi a unidade principal de remoção de MO do sistema de tratamento, tendo sido responsável por mais de 56% das eficiências total de remoção de DQO e DBO. Já a eficiência de remoção efetiva do reator IC foi de 86%.

A atividade metanogenica especifica (AME) é um dos parâmetros mais importantes para a digestão anaeróbia, pois através da AME pode-se estimar a carga orgânica máxima a ser aplicada no reator IC, evitando-se sobrecargas que podem acarretar toxicidade. Pelos resultados obtidos, o lodo do reator IC apresentou AME superior à 0,46KgDQO/KgST.d. O que pode ser considerados muito bom, uma vez que resultados superaram o que se estima que ocorra, ou seja, superior a 0,30 KgDQO/KgST.d..

A biodegradabilidade é a degradação molecular das cargas orgânicas, resultantes de uma ação complexas dos organismos vivos do meio ambiente, e é um parâmetro que define se o efluente gerado pode ser degradado por seres vivos e convertidos em compostos mais simples, não nocivos ao meio ambiente como água e CO₂. Além de avaliar todo um trabalho de controle de descarte gerado nas áreas de produção afim de evitar choques de produtos químicos que são prejudiciais ao tratamento biológico e que conseqüentemente vai contribuir para um menor desempenho do reator IC. Portanto os resultados encontrados foram bastantes positivos, tendo em vista que o efluente apresentou boa biodegradabilidade, acima de 75%.

REFERÊNCIAS

- ABIR - **Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas. Histórico do setor.** Disponível em: <https://abir.org.br/?s=hist%C3%B3rico+do+setor> . Acesso em 18 de Outubro de 2017
- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L; FORESTI, E.; SANTOS, M. L. F.; MONTEGGIA, L. O. **Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 192-201, 2007. Disponível: <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v12n02/10006.pdf> Acesso em 20 de Outubro de 2017.
- BARNABÉ, D.. VENTURINI FILHO, W. G. **Refrigerantes. Bebidas não alcoólicas: ciência e tecnologia.** São Paulo, 2010. V. 2, p. 177-196.
- BERTO, D. **Refrigerantes - pura efervescência em ascensão desenfreada.** Engarrafador Moderno, São Bernardo do Campo, v.11, n.91, p.38-42, 2001.
- CHERNICHARO, C. A. DE L., **Reatores anaeróbios.** Princípios do tratamento Biológico de águas residuárias. DESA/UFGM. Belo Horizonte – MG, v.5, 1997.
- CRESPILHO, Frank Nelson; SANTANA, Claudemir Gomes; REZENDE, Maria Olímpia Oliveira. **Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação.** Química Nova, v. 27, n. 3, p. 387-392, 2004.
- COIMBRA, A.R.; MELO, F.; AGOSTINHO, P. **Cerveja e saúde.** Disponível em: http://www.ff.uc.pt/~mccast/nutricao/material/Cerveja_saúde.pdf. Acesso em 09 de Setembro de 2017
- CRUZ, J. M. M. et al. **Produção de cerveja. Reactores Biológicos Fundamentos e Aplicações,** p. 277-305, 2007.
- FERREIRA, Deise Mara; MORABITO, Reinaldo; RANGEL, Socorro. **Um modelo de otimização inteira mista e heurísticas relax and fix para a programação da produção de fábricas de refrigerantes de pequeno porte.** Produção, v. 18, n. 1, p. 76-88, 2008.
- FERREIRA, R.H, et al. **Inovação na fabricação de cervejas especiais na região de Belo Horizonte.** Perspectivas em Ciência da Informação, n. 16, p. 171-191, 2011.
- FORESTI, E., et al. **Fundamentos do Tratamento Anaeróbio.** Cap. 2. In: CAMPOS,

J.R. (coordenador). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. PROSAB, Rio de Janeiro, 436 p. (1999).

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

JURAS, Ilídia de Ascensão Garrido Martins. **OS IMPACTOS DA INDÚSTRIA NO MEIO AMBIENTE**. Brasília. 2015. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/a-camara/documentos-e-pesquisa/estudos-e-notas-tecnicas/areas-da-conle/tema14/impactos-da-industria-no-meio-ambiente_ilidia-juras_politicas-setoriais Acesso em 21 de outubro de 2017

MENDONÇA, Sérgio Rolim; MENDONÇA, Luciana Coêlho . **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura**. São Paulo: Edgard Blücher, 2016. 348 p.

MONTEGGIA, L. O. **Proposta de Metodologia para Avaliação do Parâmetro “Atividade Metanogênica Específica”**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, Foz do Iguaçu, de 14 a 19 de setembro de 1997. Anais.Rio de Janeiro-Br: ABES, 1997. p. 754 - 765.

MOTERANI, Fabrício. **MONITORAMENTO BIOLÓGICO E FÍSICO- QUÍMICO DE REATORES ANAERÓBIOS (RAC-UASB) NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DA SUINOCULTURA**. Minas Gerais. 2010. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

POETSCH, Patrícia B; KOETZ, Paulo R. **SISTEMA DE DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE METANOGENICA ESPECIFICA DE IODOS ANERÓBIOS**. Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA, v.4, no 3, 161-165, Set.-Dez.,1998. Disponível em: <file:///C:/Users/lab4/Downloads/216-472-1-PB.pdf> Acesso em 20 de Outubro de 2017.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Processo de Fabricação da Cerveja**. 2017. Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/historia-geral/processo-de-fabricacao-da-cerveja>. Acesso em 17 de Outubro de 2017

RESOLUÇÃO N ° 430, DE 13 DE 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.

ROCHA, Maria Aparecida Guilherme da. **Estudos da atividade metanogênica de lodos e da biodegradabilidade anaeróbia de efluentes de indústrias de bebidas.** 2003.

ROSA, Natasha Aguiar; AFONSO, Júlio Carlos. **A Química da Cerveja.** Química Nova Escola. Vol 37, nº 2, p. 98-105. São Paulo. 2015. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_2/05-QS-155-12.pdf . Acesso em 10 de Outubro de 2017.

SANTOS, Mateus Sales dos. **Cervejas e refrigerantes.** São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: http://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf Acesso em 18 de Outubro de 2017

SERENO FILHO, José Amaro et al. **TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS EM REATOR ANAERÓBIO DE CIRCULAÇÃO**

INTERNA (IC). *Revista Internacional de Ciências*, v. 3, n. 1, p. 21-42, 2013.

SILVEIRA, B. I.; PENAFORT, M. S.; ALVES, C. D. L. **Avaliação do Desempenho de um Reator UASB de uma Planta Industrial de Tratamento de Efluentes Líquidos.** 2017. Disponível em:

<http://www.advancesincleanerproduction.net/first/textos%20e%20arquivos/sessoes/4a/4/Benedito%20In%C3%A1cio%20da%20Silveira%20-%20Resumo%20Exp..pdf>
Acesso em 23 de Outubro de 2017

SIMÕES, Cecília; ROSMANINHO, Isabel; HENRIQUES, António Gonçalves. **Guia para a Avaliação de Impacte Ambiental de Estações de Tratamento de Águas Residuais.** Agência Portuguesa do Ambiente. Instituto regulador de Águas e Resíduos. Lisboa, 2008.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA- SINDISERV. Disponível em: <http://www.sindicerv.com.br/producao.php>. Acesso em 19 de Outubro de 2017

VON SPERLING, Marcos Von. **Princípios do tratamento biológico de águas residuais.** 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2002 vol.4. p. 428

_____. **Introdução á Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto.** 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. vol. 1. 243 p.

_____. **Princípios do tratamento biológico de águas residuais.**
2.ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. vol. 2. p.

_____. **Lagoas de estabilização.** 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002.
vol. 3. 196 p.