

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

Juliana do Carmo

**OTIMIZAÇÃO DA ETEI DE UMA INDÚSTRIA CERVEJEIRA
POR INTERMÉDIO DE AJUSTES DE SEUS CONTROLES
OPERACIONAIS E DE RACIONALIZAÇÃO DAS PERDAS NO
PROCESSO PRODUTIVO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof., Dr. Fernando Soares
Pinto Sant'Anna

Florianópolis
2011

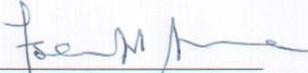
Juliana do Carmo

**OTIMIZAÇÃO DA ETEI DE UMA INDÚSTRIA CERVEJEIRA
POR INTERMÉDIO DE AJUSTES DE SEUS CONTROLES
OPERACIONAIS E DE RACIONALIZAÇÃO DAS PERDAS NO
PROCESSO PRODUTIVO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pela banca examinadora.

Florianópolis, 13 de fevereiro de 2012

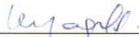
Banca Examinadora :



Prof., Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



MSc. Naiara Francisca Ramos
Universidade Federal de Santa Catarina



Profa., Dra. Maria Eliza Hassemer
Universidade Federal de Santa Catarina

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

OTIMIZAÇÃO DA ETEI DE UMA INDÚSTRIA CERVEJEIRA POR
INTERMÉDIO DE AJUSTES DE SEUS CONTROLES
OPERACIONAIS E DE RACIONALIZAÇÃO DAS PERDAS NO
PROCESSO PRODUTIVO

JULIANA DO CARMO

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental–TCC II

BANCA EXAMINADORA :

Prof., Dr. Fernando Soares Pinto Sant’Anna
(Orientador)

MSc. Naiara Francisca Ramos
(Membro da Banca)

Profa., Dra. Maria Eliza Hassemer
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2011

Dedico este trabalho a minha mãe que com grande sabedoria e esforço sempre me mostrou o caminho da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Cleusa Maria Heck do Carmo, que com muita dedicação e dificuldade sempre mostrou a mim e ao meu irmão, Marco Antônio do Carmo, a importância do estudo. Quero ainda ressaltar a relevância desta mulher em minha vida. Obrigada por tudo!

Agradeço também ao Marcelo Seleme Matias por todo apoio e paciência durante esses anos de faculdade. Seu companheirismo fez toda a diferença nesta minha caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna, por me mostrar caminhos muitas vezes obscuros num primeiro momento. A ele minha imensa gratidão.

À indústria cervejeira, que preferiu não divulgar seu nome, por todo aporte que tornou possível a realização deste trabalho. Em especial gostaria de agradecer a Karina Fernandes Turci pela compreensão e ajuda durante o período de estudo e ao Gean Marcelo Quinato, pelos ensinamentos práticos.

Agradeço aos meus amigos, pois com eles a vida e as circunstâncias se tornam muito mais suaves e divertidas.

E é claro, a todos os professores que passaram por minha formação. Sem eles, com certeza, as dificuldades seriam muito maiores. Muitos deles se transformaram em um exemplo a seguir.

RESUMO

O Brasil em 2009 produziu mais de 10 bilhões de litros de cerveja, ficando na terceira posição no ranking mundial em volume de cerveja produzida (SINDCERV, 2011). Como consequência dessa alta produção e consumo, a quantidade de despejos industriais também é elevada. Deste modo, o controle ambiental desses efluentes é uma questão de extrema seriedade para a indústria cervejeira. De maneira geral, os resíduos líquidos são oriundos de todo o processo produtivo, ou seja, desde a preparação e cozimento das matérias-primas até o envase da bebida. Assim, o presente trabalho tem como objeto de estudo as adversidades levantadas em uma estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI) da indústria cervejeira localizada no estado de Santa Catarina/Brasil. Deste modo, fez-se necessário um estudo aprofundado do funcionamento das etapas de tratamento, bem como o entendimento do processo produtivo. Para atingir o objetivo proposto, contemplou-se uma análise não somente nos limites físicos da estação de tratamento de efluente e sim fora deles também, assim como um monitoramento da contribuição da carga orgânica provenientes do processo produtivo. A carga orgânica foi estimada no setor de processamento da cerveja, o qual se julgava ser o setor de maior contribuição em termos de carga orgânica à ETEI. Dessa forma, durante quatro dias acompanhou-se a rotina de operação do processo de produção da bebida, estimaram-se as vazões da saída de efluentes no setor e ainda foram coletadas amostras em frequência horária no intuito de elaborar uma amostragem composta para análise de DQO (Demanda Química de Oxigênio). Dentro dos limites da estação, as ações focaram-se em melhorar os controles operacionais existentes. Como resultado do trabalho, descobriu-se que o setor de processamento da cerveja contribui com cerca de 30 % da carga orgânica de entrada da ETEI e com algumas medidas é possível diminuir esse percentual. Houve melhorias no controle operacional da ETEI com a determinação de uma vazão ideal de alimentação do reator anaeróbico além dos descartes terem sido melhores administrados. Conclui-se deste trabalho que a área de maior colaboração considerada a princípio como sendo a de processo não pode ser encarada como tal antes de se fazer o mesmo trabalho nas demais áreas da empresa.

Palavras-chave: ETEI; Carga Orgânica; Processo Produtivo da Cerveja.

ABSTRACT

Brazil in 2009 produced over 10 billion liters of beer, getting third in the world ranking by volume of beer produced (SINDCERV, 2011). As a consequence of high production and consumption, the amount of industrial waste is also high. In general, liquid waste come from the entire production process, from the preparation and cooking of raw materials to the packaging of the drink. Therefore, this assignment aims to study the treatment plant effluent of the brewing industry in the state of Santa Catarina / Brazil and has survey aim of some adversity that the station had been suffering. Like this, it was necessary to a thorough study of the functioning of stages of treatment and understanding of the production process. To reach that goal, included an analysis not only the physical limits of the treatment plant effluent, but also outside them. The organic load was estimated in the processing sector of the beer, which was thought to be the largest sector in terms of contribution organic load to treatment plant effluent. Thus, for four days it followed the routine operation of the process of the beverage, it was estimated the flow rates of effluent output in the sector and further samples were collected hourly frequency in order to develop a composite sample for analysis of COD (Demand Chemical Oxygen). Within the limits of the station, the actions focused on improving operational controls. As a result of the work, it was found that the processing sector of the beer contributes about 30% of the organic load input treatment plant effluent and some measures can further reduce this percentage. There have been improvements in operational control of treatment plant effluent with the determination of a minimum flow of power from the anaerobic, addition of discards have been better managed. It concludes this assignment that the area of greater collaboration in principle considered as the process cannot be regarded as such before doing the same work in other areas of the company

Keywords: Treatment Plant Effluent; Load Organic, Beer Production Process.

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	22
2.1	Objetivo Geral	22
2.2	Objetivos Acessórios	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1	Descrição Sumária do Processo de Fabricação da Cerveja ..	23
3.2	Origem, Natureza e Quantidade dos Despejos	24
3.3	Produção Sustentável.....	27
3.4	Tratamento Anaeróbio	29
3.4.1	Microbiologia da Digestão Anaeróbia.....	29
3.4.2	Requisitos Ambientais.....	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Local de Estudo	37
4.2	Caracterização da Estação de Tratamento de Efluentes	37
4.2.1	Pré-Tratamento	40
4.2.2	Tanque de Hidrólise/Acidificação	40
4.2.3	Reator de Metanização/Anaeróbio – Reator UASB	41
4.2.4	Tanque de Aeração – Pós-tratamento com Lodos Ativados 43	
4.2.5	Tratamento do Lodo e Disposição Final.....	43
4.3	Levantamento das Principais Adversidades da ETEI	44
4.3.1	Mapeamento da Carga Orgânica	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49

5.1	Adversidades Levantadas na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais – ETEI	49
5.1.1	Limites Externos a ETEI.....	50
5.1.2	Limites Internos a ETEI	64
6	CONCLUSÕES	68
7	RECOMENDAÇÕES	69
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas genéricas da produção da cerveja.....	24
Figura 2: Rotas metabólicas do processo de digestão anaeróbia.....	33
Figura 3: Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da indústria cervejeira. Fonte: Autor.....	39
Figura 4: Desenho esquemático de um reator UASB.....	42
Figura 5: Desenho esquemático do vertedor retangular utilizado no trabalho.....	45
Figura 6: Vertedor em funcionamento. Visão geral.....	52
Figura 7: Vertedor retangular em funcionamento. Visão aproximada. .	52
Figura 8: Representação das variações de vazão no período observado (13 de dezembro de 2011).....	54
Figura 9: Efluente com resquícios de fermento e cerveja.....	56
Figura 10: Representação das variações de vazão no período observado (14 de dezembro de 2011).....	57
Figura 11: Representação das variações de vazão no período observado (15 de dezembro de 2011).....	59
Figura 12: Área de silos de subprodutos. a) Silos de Terra Infusória; b) Silos de Fermento; c) Silos de Bagaço.....	60
Figura 13: Caixa de passagem ao lado da área dos silos.....	61
Figura 14: Representação das variações de vazão no período observado (16 de dezembro de 2011).....	62
Figura 15: Efluente com excesso de bagaço e trub.....	63
Figura 16: Variação dos SST e dos SSV durante os meses de agosto a dezembro de 2011.....	66

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Programa de Coleta.....	47
Quadro 2: Volumes totais horários estimados para o dia 13 de dezembro de 2011.....	53
Quadro 3: Volumes totais horários estimados para o dia 14 de dezembro de 2011.....	57
Quadro 4: Volumes totais horários estimados para o dia 15 de dezembro de 2011.....	58
Quadro 5: Volumes totais horários estimados para o dia 15 de dezembro de 2011.....	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Carga poluidora e vazão dos principais despejos.	26
Tabela 2: Tipos de Resíduos e porcentagem de carga orgânica.	27
Tabela 3: Parâmetros de projeto da ETEI da indústria cervejeira.	38
Tabela 4: Descrição das dimensões do vertedor retangular.	45
Tabela 5: Valores de ICO referente aos meses de agosto a dezembro de 2011.....	49
Tabela 6: Crescimento da massa de lodo anaeróbio e atividade metanogênica.....	65

1 INTRODUÇÃO

No setor cervejeiro, em 2007 o Brasil só perdia em volume produzido para a China (35 bilhões de litros/ano), Estado Unidos (23,6 bilhões de litros/ano) e Alemanha (10,7 bilhões de litros/ano), sendo sua produção neste ano de 10,34 bilhões de litros/ano. Porém, com o crescimento de 5% em volume no período de 2009, o Brasil ultrapassou a Alemanha no ranking mundial atingindo a terceira posição (SINDCERV, 2011).

Falando-se em consumo nacional per capita, o país vem ao longo dos anos totalizando cerca de 47,6 litros/ano por habitante (SINDCERV, 2011).

Ao mesmo tempo, uma pesquisa alavancada pela Fundação Getúlio Vargas – FGV – e pelo Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja – SINDCERV – em 2008, concluiu que o mercado cervejeiro emprega mais de 1,7 milhões de pessoas, entre postos diretos e indiretos e contribui ainda com a arrecadação de uma série de tributos, fazendo com que as empresas do setor tenham grande importância e representatividade na economia do país.

Como consequência dessa alta produção e consumo, a quantia de despejos industriais também é bastante elevada. Deste modo, o controle ambiental desses efluentes é uma questão de extrema seriedade para a empresa cervejeira, bem como para o meio ambiente em geral. Diante deste cenário, as indústrias de bebidas, em particular as cervejeiras, quando, dentre outras questões avaliadas, possuem porte significativo, as estações de tratamento de efluentes já estão inclusas em seu projeto de implantação.

Estações de tratamento de efluentes industriais (ETEI), as quais têm sua função determinada pela retirada de impurezas das águas residuárias oriundas do processo produtivo, desempenham, sem sombra de dúvidas, um papel estratégico na existência de uma atividade industrial. Padrões, resoluções e normas cada vez mais apurados fazem com que empresas criem mecanismos a fim de garantir a eficiência e o funcionamento adequado de um sistema de tratamento de despejos industriais, no que diz respeito ao lançamento de seus efluentes de volta à natureza.

De maneira geral os despejos de cervejarias se caracterizam por apresentar alto potencial de poluição pela sua carga orgânica, elevado teor de sólidos em suspensão e presença de fósforo e nitrogênio (BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

A origem dos efluentes em indústrias cervejeiras decorre, em sua maioria, das máquinas de lavar garrafas, das tinas de fermentação, da lavagem de equipamentos e maquinários, além de despejos que ocorrem por produtos fora das especificações pré-estabelecidas pelas empresas.

Quanto aos volumes, em 1979, Braile afirmava com base em referências americanas que a produção de efluentes era compreendida entre 13 a 17 vezes a quantidade de cerveja produzida, enquanto institutos alemães estimavam o volume total dos despejos por litro de cerveja produzido variava de 17 a 24 litros. Por outro lado, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, em 2005, encontrou a contribuição de 3 a 6 l de efluentes/l de cerveja produzida.

Assim, o presente trabalho tem como objeto de estudo a estação de tratamento de efluentes (ETEI) da indústria cervejeira localizada no estado de Santa Catarina/Brasil. A empresa conta com um sistema composto por pré-tratamento, o qual tem por finalidade a remoção de materiais flutuantes, sólidos grosseiros e areia, seguido de um tanque de equalização; a etapa seguinte possui um tanque de condicionamento/hidrólise que alimenta um reator anaeróbio tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*); por fim, o efluente é conduzido a um polimento final, o qual emprega parte de um sistema de lodos ativados, ou seja, tanque de aeração e decantadores secundários. O sistema apresenta ainda um tanque de emergência, o qual recebe despejos com características tóxicas (produtos químicos) ou orgânicas elevadas, a fim de evitar impactos especialmente no reator anaeróbio.

Durante os meses de agosto a dezembro de 2011 foram estudadas informações referentes aos resultados de carga orgânica, DQO (Demanda Química de Oxigênio) assim como a eficiência de remoção da mesma em diversas etapas do tratamento, a fim de identificar adversidades relacionadas ao bom funcionamento da estação. Juntamente com este acompanhamento, verificou-se a necessidade de um entendimento detalhado da estação.

A partir das dificuldades levantadas verificou-se que os problemas poderiam estar além dos limites da estação. Foi então que se fez necessária uma investigação mais aprofundada do processo produtivo da cerveja, bem como da origem de seus efluentes, seguindo sempre a linha da Produção Sustentável, a qual preza por estratégias ambientais preventivas, ou seja, minimizar impactos antes mesmo de existirem. Para isto procurou-se entender a relação entre o indicador Perda de Extrato, o qual se refere a toda substância ou matéria-prima apta a se transformar em cerveja que por algum motivo não alcançou

este objetivo, com a carga orgânica, além de estimar esta última na saída do setor do processamento da cerveja, considerado a princípio como o de maior contribuição de carga orgânica.

A alta taxa de carga orgânica apresentada na entrada da estação, trouxe como consequências uma diminuição na eficiência de remoção da DQO pelo reator anaeróbio e pelo tanque de aeração fazendo com que algumas atitudes fossem adotadas. Dessa maneira, em cada jornada de trabalho da empresa (12 horas cada turno), duas coletas eram desempenhadas a fim de compor uma amostragem composta na realização do teste de DQO. Com o resultado em mãos, a divulgação do valor à área de processamento da bebida era exposta no mesmo turno, com a finalidade de agir ainda no decorrer do período de trabalho através de atividades como verificação de vazamentos na área e de realizar relatos de anomalia caso a DQO ultrapassasse o valor de 3500 mg/l. Apesar de não ser representativo, pois a carga orgânica era desconsiderada, já que a vazão de saída não era estimada, a ação fez com que o setor se aproximasse mais da área ambiental da empresa e apoiasse o ideal de minimizar a carga orgânica do próprio setor juntamente com a estação de tratamento.

Deste modo um dos objetivos deste trabalho foi estimar a vazão de saída de efluentes do processo de fabricação da cerveja na rede coletora, e assim com uma amostragem composta empregada de maneira correta, apresentando uma frequência menos espaçada, para a análise de DQO, mostrar que é possível estudar um parâmetro com representatividade superior a DQO neste caso.

A execução desta fase do trabalho foi realizada por intermédio de um vertedor retangular com contrações laterais para as medições de vazão e as análises de DQO foram desenvolvidas no próprio laboratório da ETEI.

Além disso, priorizou-se também a busca por soluções, especialmente operacionais, no interior da estação de tratamento de efluentes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Otimizar a ETEI de uma indústria cervejeira por intermédio de correções de seus controles operacionais e de racionalização de perdas no processo produtivo.

2.2 Objetivos Acessórios

- Estimar a carga orgânica oriunda da área de processamento da cerveja;
- Buscar melhorias no processo produtivo que influenciem na carga orgânica;
- Propor soluções para as adversidades da estação dentro dos limites da estação de tratamento de efluentes;
- Entender a composição do indicador de Perda de Extrato utilizado no setor de processamento da bebida e tentar relacioná-lo com a carga orgânica da ETEI.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Descrição Sumária do Processo de Fabricação da Cerveja

A cerveja é uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do cozimento do malte de cevada em água potável por ação da levedura cervejeira, com adição de lúpulo ou seu extrato originando o mosto, podendo parte do malte ser substituído por cereais malteados ou não, ou por carboidratos de origem vegetal.

Em diversos países, assim como no Brasil, outros produtos adicionados à mistura a fim de melhorar as condições de fermentação ou oferecer corpo e textura à bebida são, em sua maioria, grutz (adjunto sólido de milho com granulometria uniforme), ou arroz, os quais em quantidades adequadas são capazes de se transformar em açúcar pelas enzimas amilolíticas (amilase, por exemplo). Também é permitido adicionar uma parcela de açúcar cristal ou mascavo e caramelo para obter cervejas escuras adocicadas (BRAILE & CAVALCANTI, 1979).

Em seguida, o mosto é clarificado normalmente em filtros-prensa, onde o rejeito deste é o bagaço. Assim, o mosto já clarificado e decantado em tanques de decantação segue para os resfriadores de mosto, onde é resfriado de uma temperatura de 80°C para aproximadamente 9°C a 10°C, por meio de trocadores de calor. Este recebe os levedos e é acondicionado em grandes tanques. Nessa fase, o fermento transforma o açúcar do mosto, como a maltose e a glicose, em álcool e gás carbônico. É o cuidado nessa etapa que ajuda a produzir pequenas quantidades de substâncias que, juntas, conferem sabor e aroma à cerveja (AMBEV, 2011).

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; em seguida inicia-se a fase anaeróbia, onde as leveduras realizam a fermentação propriamente dita, convertendo os açúcares presentes no mosto em CO₂ e álcool. O gás carbônico produzido é purificado e enviado para a etapa de carbonatação da cerveja. Em seguida, o mosto fermentado é direcionado a centrifugação e aos tanques de maturação, onde permanece por dois dias. A função da maturação é basicamente decantar o fermento que permaneceu no líquido e estabilizar a amostra. Dessa forma, a cerveja está pronta para ser filtrada

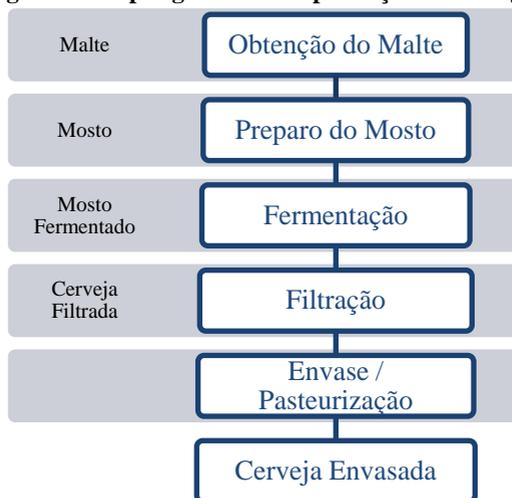
Ao final da fermentação, obtém-se também um excesso de levedos, já que estes se multiplicam durante o processo. Este levedo é

então levado para tratamento e estocagem, sendo uma parte reutilizada em novas bateladas de fermentação, e parte vendido para a indústria de alimentos (SANTOS, 2005).

Filtrada, a cerveja está concluída para o envase e a pasteurização, o qual possui a função de eliminar microrganismos responsáveis pela oxidação da cerveja e conseqüentemente pela sua baixa conservação.

A Figura 1 resume as etapas de produção da cerveja.

Figura 1: Etapas genéricas da produção da cerveja.



Fonte: Autor, 2011.

3.2 Origem, Natureza e Quantidade dos Despejos

De maneira geral, a origem dos efluentes em indústrias cervejeiras decorre das máquinas de lavar garrafas, das tinas de fermentação, da lavagem de equipamentos e maquinários, além de despejos que ocorrem por produtos fora das especificações pré-estabelecidas pelas empresas.

Como é possível perceber, a maior parte dos efluentes de uma indústria cervejeira provém de unidades de limpeza fixas ou móveis responsáveis pela assepsia e higienização de equipamentos e instalações de fabricação do produto. A legislação que regula os requisitos de higiene e condições sanitárias relativos à indústria de alimentos, de modo a prevenir a contaminação e assegurar as condições mínimas de limpeza, desinfecção e higiene na produção e uso da água, são tratadas pela Portaria ANVISA 22 SVS/ MS nº 326, de julho de 1997 e pela

Portaria do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento nº 368, de 4 de setembro de 1997.

Atualmente em diversas seções das plantas cervejeiras as operações de limpeza são conduzidas utilizando sistemas chamados de CIP- *clean in place*. Estes são caracterizados por serem sistemas automáticos de limpeza de equipamentos de processo, tubulações, tanques, etc., que realizam operações sequenciais de enxágue e lavagem, usando água sob condições definidas de pressão, temperatura e vazão, além de produtos químicos diversos, tendo todo o controle centralizado num painel de operações. De modo simplificado, o solvente (água), adicionado de agentes de limpeza (alcalinos ou ácidos), é bombeado para bicos injetores estrategicamente localizados nos equipamentos, que aplicam jatos pressurizados. Em alguns casos, os efluentes de uma lavagem podem ser reutilizados em lavagens seguintes, em até 5 ou 6 vezes, e em operações de limpeza mais intensa, realizadas com maior intervalo de tempo, acrescenta-se uma etapa de desinfecção, em geral usando hipoclorito de sódio (SANTOS, 2005).

De maneira geral os despejos de cervejarias se caracterizam por apresentar alto potencial de poluição pela sua carga orgânica, elevado teor de sólidos em suspensão e presença de fósforo e nitrogênio (BRAILE & CAVALCANTI, 1993). Ao mesmo tempo, a geração de efluentes em cada etapa do processo varia intensamente em volume e características. Pode-se exemplificar o caso da lavagem de garrafas, a qual origina grandes volumes de efluente e com pouca carga orgânica. Em contrapartida, a fermentação gera apenas 3% do volume de despejos, porém, é responsável por 59% da carga orgânica total. Mais detalhes podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Carga poluidora e vazão dos principais despejos.

Despejo	DBO (%)	Vazão (%)
Farinha de Malte Amassado		
Filtro		
Caldeiras	28	25
Lúpulo		
Solução de Malte Saturado em Água		
Fermento	59	3
Operações de Acabamento	1	8
Resfriamento	0	4
Sala de Fermento		
Enchimento de Garrafas	12	60
Pasteurizados		

Fonte: Adaptado de Braile & Cavalcanti, 1993.

Seguindo a mesma linha, a Tabela 2 apresenta uma estimativa de contribuição de cada etapa do processo à carga orgânica.

Tabela 2: Tipos de Resíduos e porcentagem de carga orgânica.

Características dos Despejos	l de despejo/ hl de cerveja	DBO (mg/l)	% da carga de DBO
Líquido proveniente de prensagem dos grãos	1,41 - 2,73	15000	3,5
Líquido proveniente da prensagem do lúpulo	0,9	7340	1,1
Água de lavagem do filtro do malte	5,9	4930	4,6
Água de lavagem do fermento	1,2	7400	1,2
Cerveja filtrada do fermento	1,2	69000	13,3
Lavagem dos equipamentos Despejos de cerveja Água de resfriamento Esgotos sanitários	-	-	76,3

Fonte: Adaptado de Braille & Cavalcanti, 1993.

Quanto aos volumes, em 1979, Braille afirmava com base em referências americanas que a produção de efluentes era compreendida entre 13 a 17 vezes a quantidade de cerveja produzida, enquanto institutos alemães estimavam o volume total dos despejos por litro de cerveja produzido variava de 17 a 24 litros. Por bem, esta estatística mudou de cenário, como considerou a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, em 2005, a geração de 3 a 6 hl de efluente/hl de cerveja produzida.

Devido a estas descrições, geralmente as indústrias cervejeiras possuem instalações relativamente grandes para tratamento de seus efluentes, em virtude da carga orgânica de moderada à elevada dos despejos (de 1.200 a 3.000 mg/l de DBO) e também de sua considerável vazão (dependendo do porte das instalações, mas da ordem de milhares de m³ ao dia). Genericamente, as plantas são compostas por um pré-tratamento (neutralização/equalização) e um sistema de tratamento biológico (muitas vezes integrando etapas anaeróbia e aeróbia). Ao final, gera-se lodo de tratamento, que necessita de uma correta destinação final (SANTOS, 2005).

3.3 Produção Sustentável

As questões ambientais começaram a ter proeminência a partir da década de 70 com a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente realizada pela Organização das Nações Unidas – ONU em 1972 na cidade de Estocolmo na Suécia. O encontro ficou conhecido por Conferência de Estocolmo e participaram dele aproximadamente 113 países com um único intuito de discutir a relação entre o homem e o meio ambiente, visto que já se detectava graves problemas de poluição atmosférica proveniente da intensiva industrialização.

Entretanto, a declaração de Estocolmo não deixa claro suas proclamações com relação ao setor produtivo, no que diz respeito a um padrão mais sustentável de produção, apesar de reconhecer a interferência do homem na natureza e sua colaboração para as consequências bruscas no ambiente. Além de recomendar que as ações antrópicas devam ser moldadas e dirigidas com maior prudência (STOCKHOLM DECLARATION, 1972).

Mas foi na Eco-92, vinte anos após a primeira conferência mundial, que a produção sustentável ganha vez. A declaração da conferência traz como um de seus princípios:

Para alcançar o desenvolvimento sustentável e uma melhor qualidade de vida para todas as pessoas, os Estados devem reduzir e eliminar os sistemas de produção e consumo não-sustentados [...] (RIO DECLARATION, 1992, p. 2).

Assim, com os acordos realizados na conferência, o conceito de produção mais limpa (P+L) é definido pela Organização pelo Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas (UNIDO) e pelo Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente (UNEP) (1995) como sendo a aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência e reduzir os riscos para os homens e meio ambiente.

Santos & Ribeiro (1995) e Thomas & Callan (2010) criam abordagens semelhantes para produção mais limpa, no entanto com uma sutil diferença da definição citada anteriormente quando apontam que P+L visa reduzir a quantidade dos resíduos lançados no meio ambiente com práticas que eliminem as perdas ou resíduos na fonte. Ambos apresentam como foco central a redução da produção de resíduos na fonte, deixando as definições incompletas por não relacionarem a terminação a outras variáveis ao longo do processo produtivo como elaborado pela UNIDO/UNEP (1995).

Ao longo dos últimos anos, o conceito P+L foi se alargando devido às pressões governamentais, aos consumidores mais esclarecidos com as questões ambientais e com o próprio mercado que fez com que o desempenho ambiental se tornasse um fator de competitividade. Deste modo, com a evolução do conceito Produção mais Limpa surge a Produção Sustentável, que de acordo com o Processo de Marrakech (2003), é a incorporação das melhores técnicas ao longo do ciclo de vida de bens e serviços, com a finalidade de minimizar impactos ambientais e sociais.

Neste âmbito, o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis brasileiro (PPCS) (2010, p. 18) diz que “a produção sustentável deve incorporar a noção de limites na oferta de recursos naturais e na capacidade do meio ambiente para absorver os impactos”. Ainda defende que:

Uma produção sustentável será necessariamente menos intensiva em emissões de gases do efeito estufa e em energia e demais recursos. Uma produção sustentável pensa o ciclo completo dos produtos – do berço ao berço (cradle to cradle). A produção sustentável procura alongar a vida útil dos produtos e reaproveitar ao máximo possível os insumos da reciclagem em novas cadeias produtivas (PPCS, 2010, p.18).

As vantagens de uma produção sustentável são expressivas tanto para a sociedade, no que diz respeito a um ambiente mais seguro, quanto para o setor produtivo onde os benefícios se concentram na redução de custos de produção; no aumento da eficiência e da competitividade; na diminuição dos riscos de acidentes ambientais; na melhoria das condições de saúde e de segurança dos funcionários; na melhoria da imagem junto aos consumidores, fornecedores, poder público, mercado e comunidades; na ampliação de suas perspectivas de atuação no mercado interno e externo; no aumento de acesso a linhas de financiamento e na melhoria do relacionamento com os órgãos ambientais e a sociedade (SANTOS & RIBEIRO, 2005).

3.4 Tratamento Anaeróbio

3.4.1 Microbiologia da Digestão Anaeróbia

Um sistema ecológico balanceado, onde ocorrem processos metabólicos meticolosos em etapas sequenciais e que trabalha interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas é o que define a Digestão Anaeróbia (CHERNICHARO, 2007).

Gerardi (2003) acrescenta que a digestão anaeróbia forma uma cadeia anaeróbia de alimentos, onde bactérias transformam compostos orgânicos complexos em compostos solúveis que são rapidamente degradados por como fonte de substrato por outro grupo de bactérias.

O processo da digestão anaeróbia é dividido em várias rotas metabólicas, sendo elas: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese, Metanogênese e Sulfetogênese. Nos próximos itens serão descritas as fundamentais características de cada fase metabólica.

- Hidrólise e Acidogênese

Uma vez que os microrganismos não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada, a primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), em matérias dissolvidos mais simples (moléculas menores), os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. Esta conversão é conseguida por intermédio da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas (GERARDI, 2003; CHERNICHARO, 2007).

Os produtos solúveis, oriundos da fase de hidrólise, são metabolizados no interior das células, através do metabolismo fermentativo. A maioria dos microrganismos acidogênicos fermenta açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, resultantes da hidrólise da matéria orgânica complexa, e produzem diversos compostos mais simples, a exemplo de ácidos orgânicos (principalmente acético propiônico e butírico), alcoóis (acetona), dióxido de carbono e hidrogênio, além de novas células bacterianas. Alguns produtos metabolizados durante a fermentação acidogênica podem ser utilizados diretamente pelas arqueas metanogênicas, a exemplo do acetato. Entretanto o propionato e o butirato necessitam ser convertidos em compostos mais simples (acetato e formiato) a fim de serem utilizados na metanogênese (GERARDI, 2003).

- Acetogênese

As bactérias sintróficas acetogênicas são responsáveis pela oxidação de compostos orgânicos intermediários, como o propionato e o

butirato, em substrato apropriado para os microrganismos metanogênicos (acetato, hidrogênio e dióxido de carbono) e são assim denominadas porque a existência delas depende da atividade de microrganismos consumidores de hidrogênio.

No entanto, a formação de acetato resulta na produção de grande quantidade de H_2 , fazendo com que o valor de pH no meio aquoso decresça. Ademais, a produção de acetato a partir de propionato e butirato é termodinamicamente inibida pela presença de relativamente baixas concentrações de hidrogênio dissolvido e de acetato. Em sistemas de tratamento de esgoto, a remoção de hidrogênio da fase líquida é feita principalmente por microrganismos metanogênicos hidrogenotróficos, mas também por bactérias redutoras de sulfato. A grande importância dos organismos acetogênicos, no processo de digestão anaeróbia, decorre do fato de que cerca de 60 a 70 % dos elétrons do substrato inicial são canalizados para a produção de acetato (MCCARTY, 1971 *apud* CHERNICHARO, 2007). Em decorrência, a remoção de DQO da fase líquida depende da conversão de acetato em metano, o que é feito pelos microrganismos metanogênicos acetoclásticos. A formação de metano também pode ocorrer pela ação dos microrganismos metanogênicos hidrogenotróficos, a partir de redução de dióxido de carbono ou formiato.

- Metanogênese

A etapa final do processo global de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelos microrganismos metanogênicos, atualmente classificados dentro do Domínio Archaea, um grupo verdadeiramente reconhecido como distinto das bactérias típicas (GERARDI, 2003; CHERNICHARO, 2007).

A metanogênese pode ser considerada uma forma de respiração anaeróbia, onde o gás carbônico, ou o grupo metil de compostos C-1, ou o carbono do grupo metil do acetato, é o aceptor de elétrons. Em função de sua fisiologia, as arqueas metanogênicas são divididas em dois grupos principais:

- Metanogênicas acetoclásticas, que usam acetato como fonte de carbono e energia, produzindo gás carbônico (CO_2 e Metano (CH_4)). Embora apenas poucas espécies de metanogênicas sejam capazes de formar metano a partir do acetato, estes são

normalmente os microrganismos predominantes na digestão anaeróbia.

- Metanogênicas hidrogenotróficas, que utilizam o gás carbônico, como fonte de carbono e acceptor final de elétrons, e o hidrogênio, como fonte de energia.

Aquino *et al.* (2007) destaca ainda que a maior parte do metano produzido, cerca de 70%, advém da clivagem do acetato durante metabolismo dos microrganismos metanogênicos acetoclásticos. Os cerca de 30% restantes de metano são produzidos pelos microrganismos hidrogenotróficos a partir da redução do dióxido de carbono.

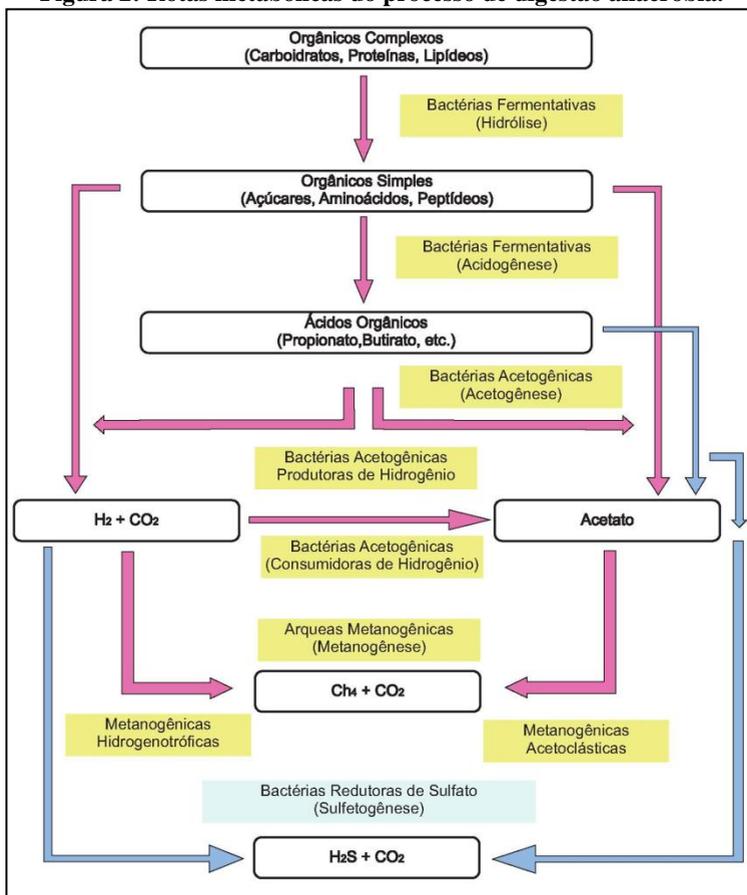
- Sulfetogênese

A produção de sulfetos é um processo no qual o sulfato e outros compostos à base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons, durante a oxidação de compostos orgânicos. Neste processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas bactérias redutoras de sulfato (ou bactérias sulforedutoras). O metabolismo das bactérias sulforedutoras é de grande importância no processo de digestão anaeróbia, principalmente pelo seu produto final, o sulfeto de hidrogênio. As espécies do grupo de bactérias sulforedutoras têm em comum o metabolismo dissimilatório do sulfato, sob condições de anaerobiose estrita, e são consideradas um grupo muito versátil de microrganismos, capazes de utilizar uma ampla gama de substratos, incluindo toda a cadeia de ácidos orgânicos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos (CHERNICHARO, 2007).

É a capacidade de utilizar acetato e hidrogênio que torna as bactérias redutoras de sulfato agentes competidores por substratos comuns aos das metanogênicas. Neste caso, a concentração de sulfato no meio é que irá definir qual o processo predominante na utilização do acetato e hidrogênio (CHERNICHARO, 2007).

A Figura 2 apresenta a rota metabólica do processo de digestão anaeróbia de forma resumida e esquemática.

Figura 2: Rotas metabólicas do processo de digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 2007.

3.4.2 Requisitos Ambientais

Um controle rigoroso das condições ambientais se faz necessária à digestão anaeróbia, uma vez que o processo exige uma relação entre microrganismos fermentativos e metanogênicos.

Condições nutricionais e físicas proporcionam a seleção dos organismos mais adaptados ao meio. Assim fatores físicos, em geral atuam como agentes seletores, enquanto que características químicas podem ou não serem seletivas.

Os sistemas anaeróbicos de tratamento são muito mais suscetíveis a mudanças das condições ideais de ambiente (temperatura, pH, disponibilidade de nutrientes, etc.) quando comparados a processos aeróbicos na mesma proporção (KHANAL, 2008).

A estabilidade de reatores anaeróbios durante distúrbios sejam eles devido a choques de carga orgânica e hidráulica, a presença de compostos tóxicos ou a ausência de nutrientes, é um dos aspectos mais importantes para o processo operacional de sistemas de tratamento de esgoto. A resposta às condições de instabilidade é considerada por muitos o “Calcanhar de Aquiles” da digestão anaeróbia, o que contribui para a generalização e difusão de preconceitos em relação ao processo, e prejudica o uso disseminado de uma tecnologia viável, sustentável economicamente e ecologicamente (AQUINO & CHERNICHARO, 2005).

Chernicharo (2007) ressalta ainda que além de um processo bem-sucedido depender de um balanço delicado do sistema ecológico deve-se fornecer atenção especial aos microrganismos metanogênicos, os quais apresentam maior fragilidade às mudanças ambientais. Do mesmo modo Khanal (2008) descreve que o efeito das mudanças ambientais reflete diretamente no rendimento da produção de metano, pois a metanogênese é um passo limitante no tratamento anaeróbio.

Os principais requisitos ambientais serão descritos a seguir:

3.4.2.1 Nutrientes

Os nutrientes requisitados pelos microrganismos são usualmente estabelecidos a partir da composição química das células microbianas. Para os processos biológicos de tratamento sejam operados com sucesso, os nutrientes devem ser fornecidos em quantidades adequadas. Caso contrário, ocorrerão distúrbios entre a interatividade microbiana, ou seja, em baixas concentrações de nutrientes (macro e micro), formas de compensação deverão ser consideradas, seja na diminuição da aplicação de cargas orgânicas ou mesmo permitindo a redução da eficiência (CHERNICHARO, 2007).

Como todas as operações bioquímicas, tanto macronutrientes (nitrogênio e fósforo) quanto micronutrientes (minerais) são necessários para os processos anaeróbios para suporte a síntese de nova biomassa. Como regra geral, presume-se que cerca de 10% da matéria orgânica, em termos de demanda química de oxigênio (DQO) retirada, ou seja, 0,10 kg sólidos suspensos voláteis (SSV/kg DQO removida) durante um

processo anaeróbio sejam utilizados para a síntese de biomassa, o que pode ser utilizado para calcular as necessidades de nitrogênio e fósforo (KHANAL, 2008).

Efluentes industriais possuem a pré-disposição de necessitarem suplementação nutricional, pois em geral, são mais específicos em composição.

- **Nitrogênio**

Geralmente, o nitrogênio é o nutriente inorgânico requerido em maiores concentrações para o crescimento dos microrganismos. Em condições anaeróbias, o nitrogênio, nas formas de nitrito e nitrato, não se encontra disponível para o crescimento bacteriano, uma vez que este é reduzido a nitrogênio gás e liberado na atmosfera.

De acordo com Chernicharo (2007), a estimativa dos requisitos de nutrientes, com base na concentração de esgoto, não é a mais indicada, todavia, a maioria das bibliografias especializadas (dentre elas GERARDI, 2003) trazem a suplementação de nutrientes baseadas na DQO. Assim, Lettinga *et al.* (1996) *apud* Chernicharo (2007), apresenta algumas relações de nutrientes que podem ser utilizadas.

- Biomassa com baixo coeficiente de produção celular ($Y \sim 0,05$ gSSV/gDQO). Ex: degradação de ácidos orgânicos voláteis.

$DQO:N:P = 1000:5:1$ / $C:N:P = 330:5:1$

- Biomassa com elevado coeficiente de produção celular ($Y \sim 0,15$ gSSV/gDQO). Ex: degradação de carboidratos.

$DQO:P:N = 350:5:1$ / $C:N:P = 130:5:1$

- **Fósforo**

Segundo Chernicharo (2007) a incorporação microbiana de fósforo na digestão anaeróbia tem sido reportada como sendo de aproximadamente 1/5 a 1/7 daquela estabelecida para o nitrogênio.

- **Enxofre**

As necessidades de enxofre parecem ser da mesma ordem de magnitude das de fósforo. Deve-se enfatizar que os requisitos de enxofre para as arqueas metanogênicas fazem parte de um quadro complexo. Por um lado, a presença de sulfatos pode limitar a metanogênese, porque as bactérias redutoras de sulfato competem por substratos, como o

hidrogênio e o acetato. Por outro lado, as metanogênicas dependem da produção de sulfeto para o seu crescimento. (CHERNICHARO, 2007).

3.4.2.2 Toxicidade

A toxicidade tem sido considerada uma das principais razões da não utilização mais generalizada da digestão anaeróbia e do não aproveitamento de suas diversas vantagens, uma vez que existe uma percepção difundida de que os processos anaeróbios não são capazes de tolerar a toxicidade (CHERNICHARO, 2007).

Indicadores de toxicidade em um digestor anaeróbio podem aparecer rápido ou lentamente dependendo do tipo e da concentração dos resíduos tóxicos. Desaparecimento do hidrogênio e do metano, diminuição da alcalinidade, do pH e um aumento na concentração de ácidos voláteis podem indicar toxicidade. Substâncias que podem ser tóxicos aos digestores anaeróbios são numerosas, contudo, os três tipos mais comuns são a toxicidade por amônia, por sulfeto de hidrogênio e por metais pesados (GERARDI, 2003).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de Estudo

A indústria cervejeira, objeto do referido estudo, encontra-se localizada no planalto serrano do estado de Santa Catarina – Brasil, mais precisamente no município de Lages. A sua planta possui uma área de 1.500.000 m² onde 45.000 m² são de área construída.

Lages está situada no entroncamento entre as rodovias BR-282 e BR-116 sendo assim ponto de fácil acesso rodoviário tanto para o recebimento de matérias-primas e insumos quanto para a distribuição de seus produtos para os centros de distribuição.

4.2 Caracterização da Estação de Tratamento de Efluentes

A empresa conta com uma estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI) composto por pré-tratamento, o qual abrange caixa de reunião, separador estático de sólidos grosseiros (gradeamento), caixa de areia, medidor Parshal, poço de recalque, peneiras estáticas e tanque de equalização. Esta primeira etapa tem por finalidade a remoção de materiais flutuantes, sólidos grosseiros e areia, promovendo um condicionamento do efluente às fases seguintes do tratamento e protegendo os equipamentos instalados a jusante. A etapa seguinte utiliza um tanque de condicionamento/hidrólise e um reator anaeróbio tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Por fim, o efluente é conduzido a um polimento final, o qual emprega parte de um sistema de lodos ativados, ou seja, tanque de aeração e decantador secundário. Além disso, o sistema apresenta um tanque de emergência, o qual recebe descartes com características tóxicas ou orgânicas elevadas.

O lodo proveniente dos decantadores secundários, quando não retornado para o tanque de aeração segue para um adensador e logo após para um processo de desidratação com prensa desaguadora.

O projeto da estação de tratamento de efluentes da indústria cervejeira em questão foi elaborado com base nos seguintes parâmetros (Tabela 3):

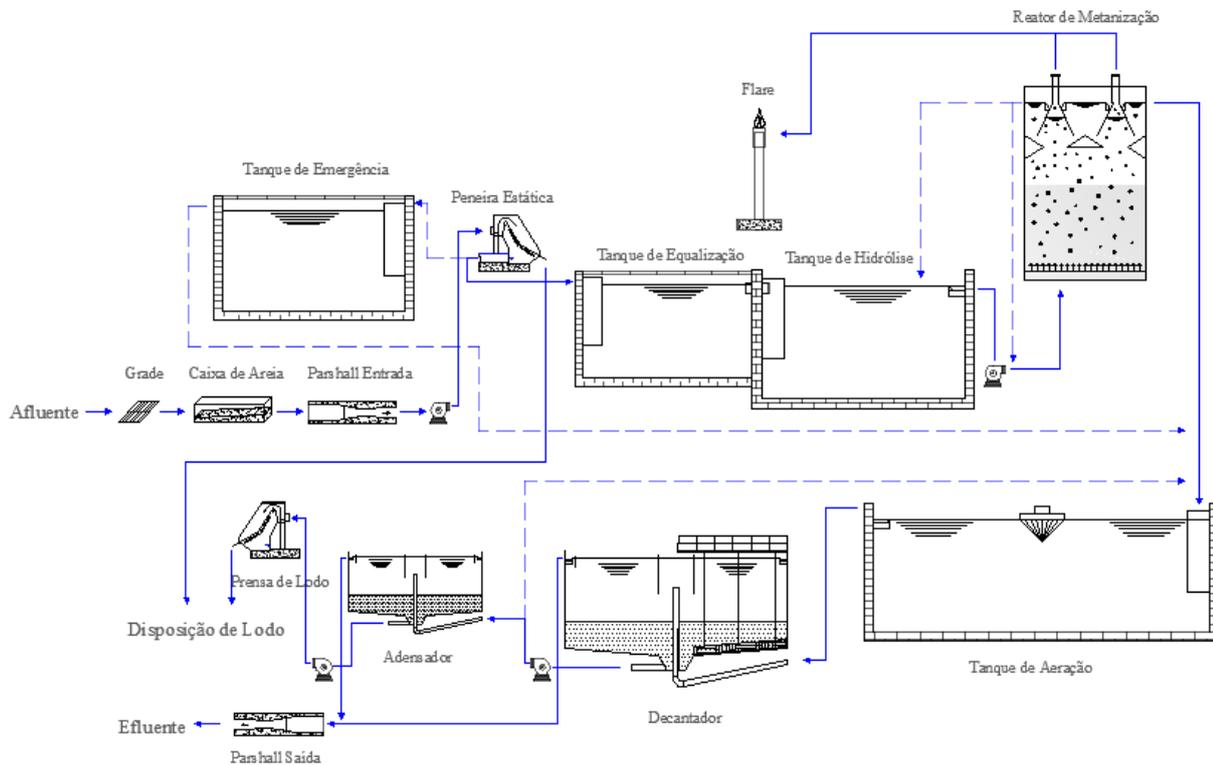
Tabela 3: Parâmetros de projeto da ETEI da indústria cervejeira.

Parâmetro	Unidade	Valor
Vazão	m ³ /dia	12.696
	m ³ /h	529
DQO	mg/l	2.020
DBO	mg/l	1.346
CO	kgDQO/dia	25.670
Nitrogênio Total	mg/l	28
Fósforo Total	mg/l	20
pH	-	5 a 10

Fonte: Autor, 2011.

O fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da indústria cervejeira em questão está estruturado na Figura 3. Os detalhes, como dimensão e principais características de funcionamento serão descritos nos próximos itens.

Figura 3: Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da indústria cervejeira.



Fonte: Autor, 2011.

4.2.1 Pré-Tratamento

As águas residuárias provenientes da fábrica são recebidas na ETEI inicialmente por uma caixa de reunião onde posteriormente os efluentes são encaminhados para um gradeamento onde os sólidos com dimensões maiores que 2,5 cm são retidos. Areia e outras substâncias inorgânicas permanecem em uma caixa de areia constituída por duas células de retenção paralelas, sendo utilizadas alternadamente em eventos de limpeza. A seguir, os efluentes da cervejaria são encaminhados para um medidor de vazão tipo Parshall e um poço de recalque, onde um conjunto de três bombas centrífugas horizontais eleva o efluente para quatro peneiras estáticas (duas delas apresentam uma vazão de 190 m³/h cada e as restantes 150 m³/h cada) que removem materiais com granulometria e peso específico determinados. Dessa maneira, as águas residuárias são dirigidas por gravidade até o tanque de equalização. O tanque de equalização apresenta a capacidade de 900 m³ e possui um sistema de agitação hidráulica composto por bomba centrífuga horizontal promovendo uma leve agitação mantendo os sólidos em suspensão.

Ainda, na tubulação de saída das peneiras estáticas existe um *bypass* que desvia o efluente para um tanque de emergência, cuja função está em armazenar eventuais vazões com elevada toxicidade e com altas cargas orgânicas, ambos inapropriados ao sistema anaeróbio.

O tanque de emergência também apresenta um sistema de reciclo interno por bomba que auxilia na completa mistura destes descartes. O volume do tanque de emergência é bombeado de forma controlada diretamente ao tanque de aeração, assim não ocorrendo risco de sobrecarregar o tratamento do reator anaeróbio.

4.2.2 Tanque de Hidrólise/Acidificação

Do tanque de equalização o efluente é enviado para o tanque de hidrólise/acidificação, denominado também por reator de condicionamento e controle biológico. O tanque é aberto para a atmosfera e apresenta um sistema de agitação interna tipo “jet-flow”, composto de ramais de tubulação dotados de bicos ejetores. O afluente é recirculado constantemente para dentro do tanque através de três bombas centrífugas horizontais, estas sofrem um rodízio automático de operação, que bombeiam o fluxo garantindo uma eficiente homogeneização.

Nele ocorrem as primeiras reações que garantem o bom funcionamento do reator de metanização. A matéria orgânica insolúvel é primeiramente atacada por uma classe de microrganismos fermentativos, assim, as moléculas são solubilizadas, hidrolisadas e convertidas em ácidos orgânicos, etanol, hidrogênio e dióxido de carbono.

Ainda, no tanque podem ser adicionados nutrientes fundamentais para suplementar as quantidades presentes ou inexistentes (principalmente nitrogênio e fósforo através de uréia e ácido fosfórico) para o crescimento dos microrganismos. Além disso, o pH pode ser corrigido aos valores ideais de funcionamento do reator anaeróbio, por intermédio da adição de produtos químicos como soda cáustica, cal hidratada ou ainda ácido clorídrico.

4.2.3 Reator de Metanização/Anaeróbio – Reator UASB

As águas residuárias provenientes do tanque de acidificação são direcionadas a base do reator anaeróbio do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) por mediação de três bombas centrífugas horizontais. O biogás produzido no digestor é enviado para um queimador atmosférico, denominado Flare, passando por um medidor de vazão de gás antes de queimado.

O sistema de distribuição de efluentes é em forma de “loop” e em cada “loop” a direção do fluxo pode ser revertida através da manobra de válvulas, de modo a prevenir o acúmulo de lodo, evitando assim zonas mortas, possibilitar a realização de um bom contato entre o afluente e o lodo ativo metanogênico, bem como assegurar uma distribuição igual do fluxo, por toda seção da base do reator.

O efluente que sai do reator de metanização, com uma eficiência projetada de 80% de remoção de carga orgânica, é recebido por uma coluna seletora da qual segue por gravidade a um sistema de polimento final aeróbio. Interligada a coluna seletora existe uma bomba centrífuga horizontal que tem por função recircular o efluente anaeróbio para a própria linha de alimentação do reator ou para o tanque de acidificação. A finalidade deste último é de aclimatar as águas que entrarão no reator de metanização, ou seja, ocorre um condicionamento dessas águas no que se refere principalmente a manutenção da alcalinidade e pH no interior do reator. Ao mesmo tempo, o reciclo deste tipo de efluente fornece enzimas que serão responsáveis pela eficiência da hidrólise no tanque de acidificação.

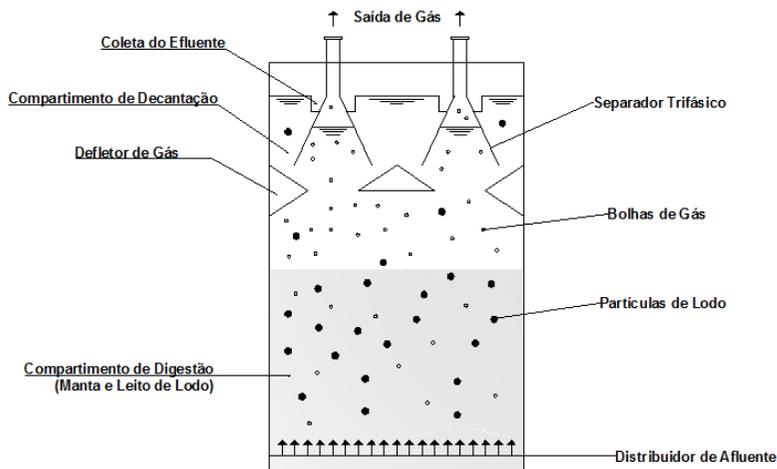
Por outro lado, quando o efluente anaeróbio é retornado para a linha de alimentação do mesmo, ocorre uma agitação do manto e leito de lodo fazendo com que partículas inertes, finos ou grânulos inativos saiam do sistema junto com efluente e permaneçam presentes apenas os grânulos saudáveis importantes ao processo. Este procedimento é realizado normalmente em períodos de posta em marcha (partida da planta) ou em situações de baixa velocidade hídrica (pouco efluente na alimentação do reator de metanização)

A produção de excesso de lodo anaeróbio é baixa, podendo em alguns casos ser considerada marginal e a sua retirada pode ser feita temporariamente. A carga máxima de lodo ativo varia de 25 a 30 kg de lodo por m³ de reator, acima do qual fica definido excesso de lodo, devendo, portanto ser retirado e enviado ao tanque de lodo excedente.

O tanque de excesso de lodo anaeróbio permite a evaporação da água (aberto na parte superior) e possui uma região tronca cônica, apropriada para o adensamento do lodo. Assim, esse lodo permanece armazenado e disponível para eventuais problemas que possam ocorrer com o lodo do reator de metanização, formando um “banco de lodo anaeróbio”.

A Figura 4 mostra de maneira esquemática o reator de metanização.

Figura 4: Desenho esquemático de um reator UASB.



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 2007; Khanal, 2008.

4.2.4 Tanque de Aeração – Pós-tratamento com Lodos Ativos

O sistema de polimento final da matéria orgânica remanescente é constituído por um tanque de aeração, com um sistema de injeção de ar forçada, proporcionada por três aeradores superficiais que espalham o ar em toda a massa líquida do tanque de aeração. Este sistema foi selecionado como pós-tratamento, a fim de alcançar a eficiência final de remoção de matéria orgânica, obedecendo-se desta maneira à legislação governamental vigente.

Deste tanque, o efluente tratado, sólidos e microrganismos novos (lodo ativado) são conduzidos por dois decantadores secundários cilíndricos com ponte removedora de lodo de acionamento periférico. Uma parte do decantado, sedimentado no fundo do decantador secundário, é recirculado para o tanque de aeração através de bombas centrífugas (decantador 01 contém duas bombas e decantador 02 três bombas).

A parte não recirculada para o tanque de aeração é dirigido a um tanque adensador de lodo e o efluente clarificado e tratado é encaminhado a uma caixa de saída onde recebe hipoclorito de sódio, a fim de que sejam eliminados microrganismos patogênicos presentes. Logo em seguida, o efluente tratado passa por meio de uma calha Parshal onde a vazão de saída é monitorada. Além da medição física de vazão existe um medidor ultra-sônico instalado próximo a calha.

4.2.5 Tratamento do Lodo e Disposição Final

No adensador o lodo tem sua concentração aumentada de aproximadamente 1,0% para até 2,5% em sólidos, fazendo verter pela sua parte superior, a água removida no processo de decantação. Esta água é enviada por gravidade para a caixa de saída de efluentes. O lodo concentrado é succionado do fundo do adensador através de duas bombas helicoidais e direcionado para uma prensa desaguadora.

A prensa desaguadora de lodo, responsável pela desidratação final, eleva a concentração de sólidos para 25 a 30%. Na linha de alimentação da prensa ocorre a dosagem de polieletrólito, para melhorar a coagulação e floculação dos sólidos e sua melhor separação no equipamento.

4.3 Levantamento das Principais Adversidades da ETEI

Dentre os meses de agosto e dezembro de 2011, foram identificadas certas adversidades ou oportunidades de melhoria do processo de tratamento relacionadas ao funcionamento da estação de tratamento de efluentes da indústria cervejeira como um todo. Para o levantamento dessas dificuldades, observações em campo e estudos de dados se fizeram necessários. Ao mesmo tempo, manuais de operação da estação foram consultados na intenção de se verificar as possíveis causas de um funcionamento insatisfatório.

Os principais dados averiguados foram DQO (Demanda Química de Oxigênio) e carga orgânica, assim como a eficiência de remoção da mesma. Essas informações foram retiradas do monitoramento diário realizado pela própria estação de tratamento.

4.3.1 Mapeamento da Carga Orgânica

4.3.1.1 Estimativa de Vazão

A estimativa da vazão do efluente final da área responsável pelo processamento da cerveja apenas foi possível por intermédio de um vertedor retangular, construído e adaptado ao poço de visita (PV) localizado na saída da rede coletora de efluentes do setor em questão.

Vale ressaltar que métodos mais exatos como os eletrônicos e calhas tipo Parshal seriam mais adequados, porém, apresentaram custos mais onerosos, inviáveis para o presente trabalho.

O vertedor retangular com duas contrações laterais teve sua estrutura construída de madeira e laterais envolvidas com finas tiras de borracha a fim de promover aderência e estanqueidade com a parede do PV. Com o intuito de fortalecer a armação do vertedor, as duas contrações laterais foram unidas com lâmina de metal acima dos pontos de medição. Suas principais dimensões encontram-se na Tabela 4:

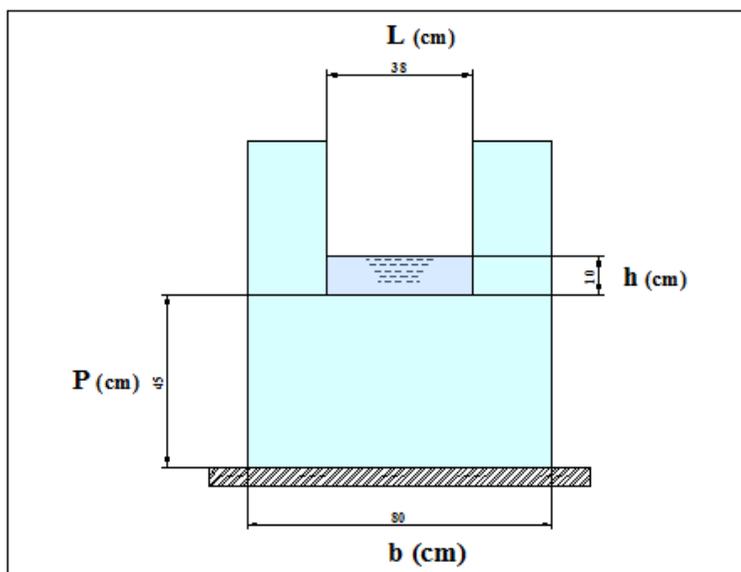
Tabela 4: Descrição das dimensões do vertedor retangular.

Dimensão Vertedor Retangular		
Largura da Soleira	L	38 cm
Largura do Canal	b	80 cm
Altura do Vertedor	P	45 cm

Fonte: Autor, 2011.

A Figura 5 apresenta os detalhes abordados quanto à dimensão e forma adotada.

Figura 5: Desenho esquemático do vertedor retangular utilizado no trabalho.



Fonte: Autor, 2011.

Por fim, a vazão em m^3/s pode ser estimada através da equação prática de Francis (1905) para vertedores retangulares de parede fina e duas contrações laterais:

$$Q = 1,838 \cdot (L - 0,20h) \cdot h^{3/2}$$

Onde:

- **Q:** vazão em m^3/s ;
- **L:** largura da soleira em m;
- **h:** carga ou altura da lâmina d'água na soleira do vertedor em m.

O valor de carga h foi definido a partir da medição horária realizada por quatro dias consecutivos. A frequência da medida, bem como outros detalhes serão discutidos nos próximos itens.

4.3.1.2 Amostragem

Entre os dias 13 e 16 de dezembro de 2011, após o vertedor ter sido instalado, deram-se início as coletas do efluente final do processo da cerveja. As coletas foram destinadas à análise de DQO (Demanda Química de Oxigênio) no final de cada dia.

Tendo em vista que a composição do efluente final é variável, devido aos diversos processos que ocorrem na fabricação da cerveja (perdas, descartes e assepsia dos equipamentos e tanques), foi feita uma amostragem composta, para se conhecer a composição média do efluente. Assim, foi utilizada uma periodicidade horária para a coleta das amostras parciais.

A fábrica funciona 24 horas por dia e tem sua jornada de trabalho diferenciada por turnos de 12 horas (dia e noite). Sabendo que os procedimentos essenciais para a fabricação do produto final ocorrem nos dois turnos e em quantidades similares, optou-se por realizar as coletas apenas no período do dia. Além disso, como a medição da vazão e as coletas eram desenvolvidas manualmente, tornou-se impraticável a medição e amostragem nos dois turnos de funcionamento para o trabalho em questão. Outro ponto a se justificar foi o fato de que o período de trabalho referente a estágio curricular impossibilitou a realização de coletas em períodos não autorizados, o que extrapolaria a carga horária estabelecida ao cargo.

Dessa forma, a amostragem abrangeu o período das 08h00min da manhã as 17h00min da tarde, espaçadas, como já citadas, em partes horárias. O início foi estabelecido devido à entrada dos funcionários do horário administrativo (das 08h00min às 18h00min). Já o término definiu-se pelo tempo de realização da análise de DQO, a fim de garantir a preparação da amostra composta. As amostras parciais foram sendo reunidas em um único recipiente, encaminhado para análise no final do período de amostragem.

De acordo com a vazão horária medida, um volume parcial de amostra era retirado. O programa de coleta foi estruturado da seguinte maneira (Quadro 1):

Quadro 1: Programa de Coleta

Programa de Coleta				
Intervalo	Hora	V _{th} (m ³)	Δ	vp (mL)
8 - 9	08:30			
9 - 10	09:30			
10 - 11	10:30			
11 - 12	11:30			
12 - 13	12:30			
13 - 14	13:30			
14 - 15	14:30			
15 - 16	15:30			
16 - 17	16:30			
	Soma			

Fonte: Autor, 2011.

Onde:

- **V_{th}**: volume total horário estimado de efluente referente ao intervalo relacionado ($V_{th} = Q_h/t$);
- **Δ**: razão entre o volume final de coleta (V_{fc}) e o somatório dos volumes totais horários ($\Delta = V_{fc}/\sum V_{th}$). V_{fc} é o volume necessário para a realização da(s) análise(s) pretendida(s);
- **vp**: volume parcial de coleta é o produto entre o Δ e o V_{th} do intervalo relacionado ($vp = \Delta * V_{th}$). Este fará parte da composição do V_{fc}.

O volume final de coleta foi pré-determinado na quantidade de 1 litro. Além disso, vale ressaltar que a cada coleta era verificado o aspecto da amostra, bem como os procedimentos mais relevantes que ocorriam na produção da bebida.

4.3.1.3 *Análise de DQO*

Escolheu-se o teste de DQO pela sua simplicidade de execução e principalmente pela rapidez de resultado quando comparado com a análise de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio), onde o valor obtido dá-se após cinco dias.

A metodologia de execução do teste seguiu o padrão cooperativo de análises laboratorial da empresa, fazendo com o que a sua publicação fosse impedida devida a política interna de sigilo de informações. De qualquer forma, o método segue o princípio de digestão do dicromato de potássio (fonte oxidante) em meio ácido a quente.

Além disso, por se tratar de uma amostra concentrada (faixa alta) o efluente teve de ser diluído na proporção de 1:100.

4.3.1.4 *Carga Orgânica*

De posse dos dados de vazão e dos resultados das análises de DQO, a carga orgânica do despejo relativo apenas ao setor de processamento da cerveja foi acurada seguindo a equação:

$$Carga = (Concentração * Vazão)/1000$$

Onde:

- **Carga (CO):** carga orgânica (kgDQO/dia);
- **Concentração:** concentração de DQO (mg/l);
- **Vazão (Q):** vazão do efluente (m³/dia).

A partir do cálculo da carga orgânica é possível ter noção da contribuição da área na carga orgânica de entrada da estação de tratamento de efluentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Adversidades Levantadas na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais – ETEI

A empresa realiza o acompanhamento de seu efluente através de um indicador de carga orgânica chamado ICO. Esse índice é formado pela razão entre a carga orgânica (CO) de entrada na estação de tratamento de efluentes e a produção líquida da fábrica (PL). A empresa trabalha com a hipótese de 0,90 kgDQO/hl, ser um ICO satisfatório. Valores acima deste, portanto, caracterizam perdas no sistema, que devem ser ajustadas.

A Tabela 5 exibe os ICOs referentes aos meses dedicados ao estudo (Agosto a Dezembro de 2011):

Tabela 5: Valores de ICO referente aos meses de agosto a dezembro de 2011.

Valores de ICO - Agosto a Dezembro de 2011	
Mês	ICO (kgDQO/hl)
Agosto	1,65
Setembro	1,29
Outubro	1,14
Novembro	1,20
Dezembro	1,25

Fonte: Autor, 2011.

Percebeu-se ainda que em determinados momentos o reator anaeróbio demonstrava sinais de ineficiência no que diz respeito a remoção de DQO conforme parâmetros de projeto. Nos meses de setembro e outubro, principalmente, a eficiência chegou a valores próximos a 60% quando o esperado é acima de 75%.

Além do reator anaeróbio, no tanque de aeração a eficácia de remoção de DQO foi ainda mais baixa considerando uma eficiência de projeto acima de 90 %. Os valores encontrados para estes meses foram em média 77,27 %.

É importante ressaltar que estes parâmetros de redução de eficiência de um dos sistemas não refletiram em nenhum momento o não atendimento aos requisitos legais aplicáveis (ou seja, ao lançamento de

efluente final fora de especificações), visto que a remoção global da estação (sistema de tratamento aeróbio e anaeróbio) era sempre superior a 90 % de remoção de matéria orgânica

A partir destas evidências verificadas parcialmente nos primeiros meses, começou-se a especular oportunidades de melhoria dentro e fora da estação. Deste modo, os itens posteriores sugerem ações tomadas e pretendidas ao longo do período do estudo, bem como as discussões pertinentes a cada uma delas.

5.1.1 Limites Externos a ETEI

5.1.1.1 Relação entre Perda de Extrato e Carga Orgânica

Um dos objetivos deste trabalho se deteve em entender como é formado o parâmetro Perda de Extrato pelo setor de processamento da cerveja e o que faz parte deste índice. Assim, tentar relacioná-lo com a carga orgânica originada pelo mesmo setor.

Para melhor compreensão é válido ressaltar o que vem a ser extrato. Para a indústria cervejeira, extrato são todos os materiais e substâncias aptas a se transformarem em cerveja por intermédio de um processo produtivo. Desse modo, considera-se perda de extrato tudo aquilo que por algum motivo não foi capaz de se modificar em cerveja.

A perda de extrato na subárea Brassagem inicia-se desde seu recebimento de matéria-prima, como o malte e o griz, por exemplo. Juntamente com o material vem uma especificação do produto e o rendimento do mesmo, ou seja, um percentual deste material poderá se transformar em bebida. Assim, a incumbência desta área é atingir 100 % do rendimento da substância. Não conseguindo, este extrato fica retido no bagaço que segue para os silos de bagaço, onde mais tarde é transferido para a sua destinação final.

Além desta perda de extrato, vazamentos no sistema, materiais retidos na etapa de moagem e até mesmo perdas durante o transporte do material são considerados no cálculo do índice.

Nas adegas de fermentação, a perda é considerada a maior do que nos outros dois processos (brassagem e filtração). Isto é devido à transformação do extrato oriundo da Brassagem (mosto) em CO₂ e em novos microrganismos. Do mesmo modo, entra ainda nesta composição o descarte de fermento, cuja sua formação é constituída por 55 % de

leveduras e 45 % de cerveja. Este descarte é transferido aos silos de fermento onde mais tarde terá sua adequada destinação.

Já na filtração a perda de extrato é considerada literalmente perda de cerveja. Assim, vazamentos de cerveja, rompimento de válvulas de segurança, bem como transbordos de terra infusória entram na perda de extrato e na contribuição da carga orgânica.

Como se pode observar, com exceção do setor responsável pela filtração da cerveja, o índice de perda de extrato não contempla e não diferencia o que pode ir para a rede coletora de efluentes transformando-se em carga orgânica e a parcela destinada aos silos ou a reprodução da levedura.

Dessa forma, para este momento não será possível converter a perda de extrato em carga orgânica como se julgava possível no início deste trabalho.

5.1.1.2 Estimativa de Vazão e Carga Orgânica

Os quadros e figuras demonstram os valores das vazões estimadas no ponto final da rede coletora de efluentes localizada no setor de processamento da bebida em cada dia observado. É válido ressaltar que a escolha deste setor para iniciar as atividades de estimativas de vazão e carga orgânica se deveu por considerar que a área possui o maior número de subprodutos orgânicos que podem influenciar na elevada carga orgânica da ETEI.

Devido a estrutura da rede coletora ser antiga, possuir poços de visitas muito profundos e tubulações posicionadas rente ao solo nos mesmos, impossibilitou outros métodos mais simples de estimativas de vazão. Dentre eles, destacam-se volumétrico, cujo princípio baseia-se no tempo gasto para que um determinado fluxo de água ocupe um recipiente com volume já conhecido; método do flutuador, onde a velocidade superficial do escoamento é estimada através de um objeto flutuador e multiplicada pela área molhada da seção e fórmula de Manning para canais considerando regime uniforme. Dessa maneira, a estimativa de vazão pelo método do vertedor se mostrou bastante eficiente para o momento.

As Figuras 6 e 7 apresentam o medidor de vazão em funcionamento.

Figura 6: Vertedor em funcionamento. Visão geral.



Fonte: Autor, 2011.

Figura 7: Vertedor retangular em funcionamento. Visão aproximada.



Fonte: Autor, 2011.

A seguir serão apresentados marcadores cronológicos a fim de melhor discutir os resultados referentes aos dias de coleta e medição.

- 13 de Dezembro de 2011

O Quadro 2 apresenta os volumes totais horários (m^3) estimados referente ao intervalo relacionado, bem como os volumes parciais coletados para a análise de DQO.

Quadro 2: Volumes totais horários estimados para o dia 13 de dezembro de 2011.

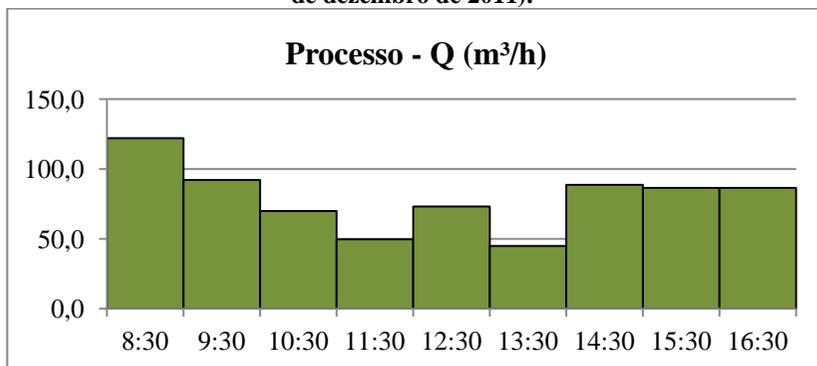
Volumes totais e parciais – Dia 13/12/2011					
Intervalo	Hora	Vth (m^3)	Δ	vp (L)	vp (mL)
8 - 9	08:30	122,01	0,00140	0,17	171,06
9 - 10	09:30	92,12	0,00140	0,13	129,16
10 - 11	10:30	69,94	0,00140	0,10	98,07
11 - 12	11:30	49,61	0,00140	0,07	69,55
12 - 13	12:30	73,16	0,00140	0,10	102,58
13 - 14	13:30	44,85	0,00140	0,06	62,89
14 - 15	14:30	88,69	0,00140	0,12	124,35
15 - 16	15:30	86,42	0,00140	0,12	121,17
16 - 17	16:30	86,42	0,00140	0,12	121,17
Soma		713,22			

Fonte: Autor, 2011.

A vazão de entrada de efluente na estação de tratamento medida para este dia foi de $6.575 m^3/dia$. Estimando a vazão média diária do setor de processo, conseguiu-se verificar que a contribuição na vazão de entrada da ETEI foi de apenas 29%, tendo em vista a vazão de $1901,92 m^3/dia$.

A Figura 8 representa a variação de vazão de efluente de saída do processo no período analisado.

Figura 8: Representação das variações de vazão no período observado (13 de dezembro de 2011).



Fonte: Autor, 2011.

Essas variações de vazão se devem aos procedimentos observados durante o turno. As maiores vazões podem ser justificadas pelas execuções de CIP (Clean in Place) ocorridas nas Adeegas de Fermentação. Hoje na indústria são utilizados CIPs móveis e fixos. Os fixos apresentam a característica de serem reaproveitados, uma vez que os produtos químicos retornam a tanques para outras utilizações e apenas o último enxágue é descartado. Ao contrário do CIP fixo, no móvel todas as etapas de assepsia com água e produtos químicos são descartadas diretamente a rede coletora de efluentes.

Outros processos de assepsia também foram realizados nas sub-áreas de Brassagem e Filtração, colaborando assim para o aumento e picos de vazão. Vale lembrar que todos os procedimentos apesar de ocorrerem diariamente não acontecem em horários determinados.

Outra justificativa para as maiores vazões se encontra na contribuição do setor de Utilidades na rede que abrange a área de processo, o qual emprega lavagem de CO₂ oriundo do processo de fermentação. Há na fábrica três usinas de CO₂, sendo que a vazão do efluente de cada uma pode atingir valores máximos de 2250 l/h, 1500 l/h e 1800 l/h. Nos dias que se decorreram as medições, em média foram despejadas uma vazão de 750 l/h de cada usina.

As águas residuárias provenientes da lavagem de CO₂ contêm muitos açúcares o que pode ter colaborado para a carga orgânica de saída do processo.

Seguindo o princípio da produção sustentável no que diz respeito a preservação de uma recurso natural e ainda na busca por métodos mais

eficazes e menos poluentes, uma alternativa para área de Utilidades seria a reutilização dessas águas em operações menos nobres. Do mesmo modo, essas águas poderiam ser armazenadas, juntamente com outras que possuem características semelhantes e que são desprezadas (utilizadas, por exemplo, em partidas de filtração), e envidadas para a Estação de Tratamento de Água (ETA) da própria indústria.

Tem-se em mente de que não se trata de um projeto simples e de rápida execução, porém com um estudo bem elaborado sobre o assunto, poder-se-ia obter ganhos maiores no que diz respeito à minimização de efluentes líquidos e na captação de água para consumo da empresa.

A carga orgânica para este dia foi de 14.218,75 kgDQO/dia correspondendo a 32% da carga orgânica de entrada na estação que foi de 44.736 kgDQO/dia. Por estes dados obtidos pode-se concluir que a soma das cargas dos demais setores foi maior que a do setor de fabricação da cerveja.

Vale ressaltar que durante as medições e coletas ocorridas neste dia, foram presenciadas duas ocorrências não rotineiras. A primeira foi vazamento de fermento juntamente com resquícios de cerveja (Figura 9) na centrífuga (cerveja fermentada antes de ser transportada para tanques de maturação passa por centrífugas para retirada de fermento). A ocasião seguinte foi o transbordo de terra infusória na filtração (meio filtrante pertencente a um dos três diferentes filtros existentes). Ambos os casos ocorreram pela alta pressão exercida nos equipamentos que fizeram com que válvulas de emergência abrissem a fim de não danificar os mesmos. Os volumes derramados não foram exageradamente altos, porém contribuíram para a carga orgânica encontrada.

Figura 9: Efluente com resquícios de fermento e cerveja.



Fonte: Autor, 2011.

Em eventos como estes, meios absorventes ou simplesmente a retenção destes materiais deve ser priorizada, pelo fato já discutido referente à carga orgânica, e não somente lavar o piso e equipamentos com água, fazendo com que todo transbordo seja encaminhado a rede coletora. Fato este detectado pelo aspecto da amostra coletada no momento (esbranquiçada e com presença de terra).

- 14 de Dezembro de 2011

O Quadro 3 mostra os volumes totais estimados para cada hora verificada. De acordo com a vazão de entrada na estação de tratamento, a qual foi de 5.020 m³/dia, presumi-se que 38% dessa vazão se deveram a participação a área do processo da bebida (1.924,14 m³/dia).

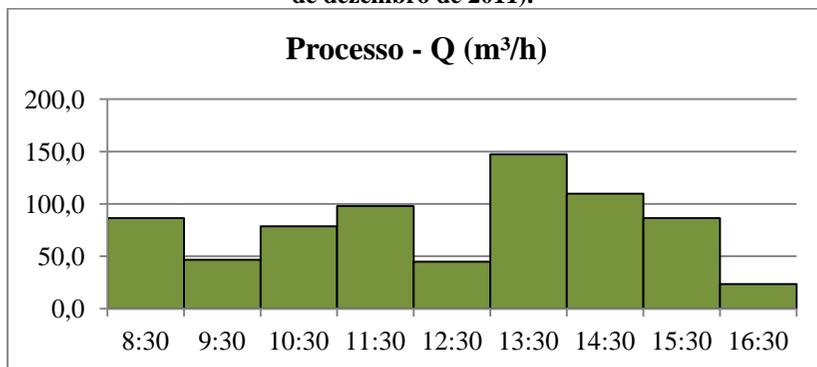
Quadro 3: Volumes totais horários estimados para o dia 14 de dezembro de 2011.

Volumes totais e parciais – Dia 14/12/2011					
Intervalo	Hora	Vth (m³)	Δ	vp (L)	vp (mL)
8 - 9	08:30	86,42	0,00139	0,12	119,77
9 - 10	09:30	46,74	0,00139	0,06	64,77
10 - 11	10:30	78,61	0,00139	0,11	108,95
11 - 12	11:30	97,92	0,00139	0,14	135,71
12 - 13	12:30	44,85	0,00139	0,06	62,16
13 - 14	13:30	147,37	0,00139	0,20	204,24
14 - 15	14:30	109,79	0,00139	0,15	152,16
15 - 16	15:30	86,42	0,00139	0,12	119,77
16 - 17	16:30	23,43	0,00139	0,03	32,48
	Soma	721,55			

Fonte: Autor, 2011.

As variações de vazão observadas na Figura 10 podem ser justificadas pelas mesmas causas explanadas anteriormente para o dia 13 de dezembro, devido à ocorrência de CIP's móveis e fixos ser diária e a contribuição da área de Utilidades ser permanente.

Figura 10: Representação das variações de vazão no período observado (14 de dezembro de 2011).



Fonte: Autor, 2011.

A carga orgânica estimada para o dia 14 na saída do processo foi de 16.325,10 kgDQO/dia. Sabendo que a carga orgânica na entrada da estação foi registrada com o valor de 10.191 kgDQO/dia, pode-se julgar que houve algum erro de análise ou medição.

Para este dia, a rotina observada durante o período estudado foi considerado normal, não sendo verificado qualquer distúrbio ou anomalia no processo, como encontrado no dia anterior.

As amostras coletadas, em sua maioria, apresentaram pouca ou nenhuma turbidez e em algumas coletas presença de bagaço e trub (proteínas e resquícios de bagaço presentes no decantador de mosto - Brassagem), porém em poucas quantidades.

- 15 de Dezembro de 2011

Os volumes totais e parciais de coleta medidos para o dia 15 de dezembro encontram-se no Quadro 4.

Quadro 4: Volumes totais horários estimados para o dia 15 de dezembro de 2011.

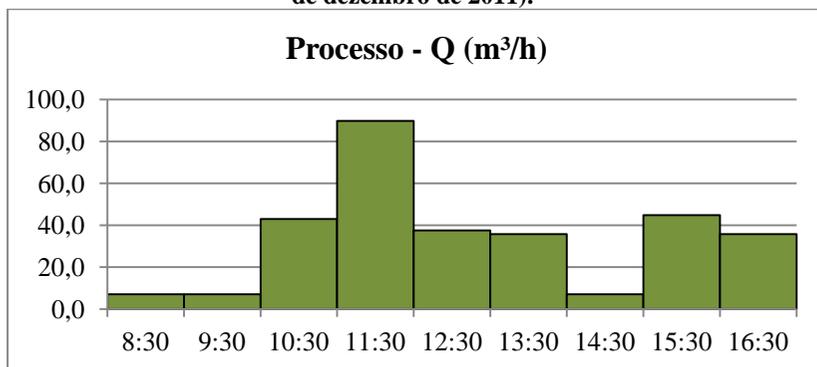
Volumes totais e parciais – Dia 15/12/2011					
Intervalo	Hora	Vth (m³)	Δ	vp (L)	vp (mL)
8 - 9	08:30	7,04	0,00325	0,02	22,85
9 - 10	09:30	7,04	0,00325	0,02	22,85
10 - 11	10:30	42,99	0,00325	0,14	139,62
11 - 12	11:30	89,83	0,00325	0,29	291,74
12 - 13	12:30	37,55	0,00325	0,12	121,95
13 - 14	13:30	35,79	0,00325	0,12	116,23
14 - 15	14:30	7,04	0,00325	0,02	22,85
15 - 16	15:30	44,85	0,00325	0,15	145,67
16 - 17	16:30	35,79	0,00325	0,12	116,23
Soma		307,91			

Fonte: Autor, 2011.

A Figura 11 demonstra melhor as variações de vazão ocorridas no dia 15 de dezembro. Mais uma vez os picos de vazão podem ser justificados pelos CIP's ocorridos no processo.

A vazão média estimada para este dia foi de 821,08 m³/dia, contribuindo desta forma com apenas 18% da vazão resultante de entrada da estação, a qual se registrou o valor de 4.585 m³/dia.

Figura 11: Representação das variações de vazão no período observado (15 de dezembro de 2011).



Fonte: Autor, 2011.

A carga orgânica calculada foi de 8,989,79 kgDQO/dia para a área do processamento da cerveja, fazendo com que a colaboração para carga orgânica geral para o dia 15 fosse de 34%. A estação registrou 26.570 kgDQO/dia na entrada. Assim, novamente a área não deve ser responsabilizada pela maior contribuição na carga orgânica da estação como se presumia, antes de verificar as demais áreas conjuntamente. É importante salientar que as coletas foram realizadas apenas no período do dia. Fato que pode esconder nos resultados perdas, vazamentos e outras anormalidades durante o turno da noite.

Praticamente em todas as amostras coletadas neste dia, foi observado presença de trub e terra. Todavia não foi presenciada nenhuma anomalia, como vazamento ou transbordo de terra.

O ponto escolhido para as medições de vazão e coletas de amostras englobaram também a área de silos dos subprodutos oriundos do processamento da bebida (Bagaço, Levedura e Terra Infusória). Assim, nesta área há um funcionário responsável pela coordenação de caminhões para descarga desses produtos, pela limpeza do local bem como responsável pelo alinhamento entre as áreas de silos e processo, no que diz respeito aos eventuais transbordos de subprodutos dos silos. Contudo, no período noturno os trabalhos na área continuam (descarregamento de subprodutos), apesar de serem menos frequentes. O

que pode alavancar problemas no controle da lavagem de pisos e derramamentos dos silos, fazendo com que boa parte deste material chegue à estação de tratamento, além de contribuir consideravelmente na carga orgânica de entrada.

Uma explicação para a verificação de terra infusória em grandes proporções podem ser oriundas deste local, devido à limpeza e vazamento de caçambas. Nesta área encontram-se duas caixas de passagem, posicionadas em lados opostos, porém circundando a área de silos, que recebem os efluentes de canaletas e os transferem para a rede coletora.

A Figura 12 mostra a área dos silos que armazenam os subprodutos provindos do setor de processamento da cerveja.

Figura 12: Área de silos de subprodutos. a) Silos de Terra Infusória; b) Silos de Fermento; c) Silos de Bagaço.



Fonte: Autor, 2011.

Uma das medidas, para minimizar este problema, não somente relacionado com a terra infusória, mas também com os demais subprodutos, seria a adaptação desta caixa de passagem (Figura 13) em uma espécie de decantador com paredes perpendiculares ao fluxo. Deste modo, este reteria a maior parte dos sólidos e apenas o líquido passaria. Sabe-se que o líquido também contém uma proporção de matéria orgânica significativa, porém, os sólidos não danificariam o sistema de tratamento, como ocorre hoje em dia.

Figura 13: Caixa de passagem ao lado da área dos silos.



Fonte: Autor, 2011.

Outra medida simples e que já foi executada, foi a colocação de um cadeado na válvula de água de lavagem. A noite ela permanece fechada a fim de evitar consumo excessivo de água e limpeza descontrolada da área.

- 16 de Dezembro de 2011

Os volumes horários estimados para o dia 16 de dezembro encontram-se no Quadro 5.

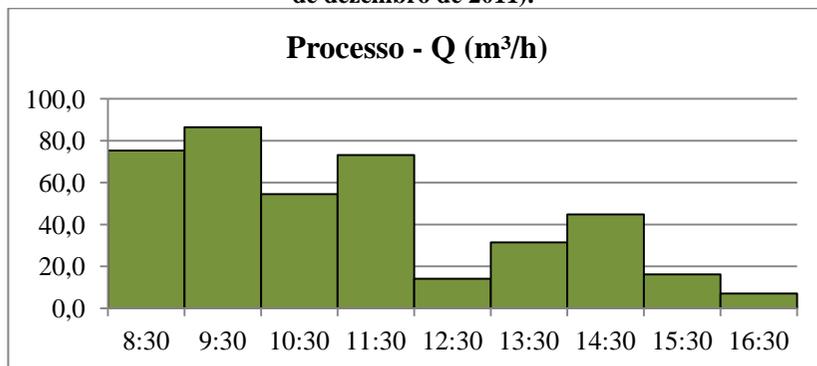
Quadro 5: Volumes totais horários estimados para o dia 16 de dezembro de 2011.

Volumes totais e parciais – Dia 16/12/2011					
Intervalo	Hora	Vth (m ³)	Δ	vp (L)	vp (mL)
8 - 9	08:30	75,33	0,00248	0,19	186,87
9 - 10	09:30	86,42	0,00248	0,21	214,39
10 - 11	10:30	54,50	0,00248	0,14	135,20
11 - 12	11:30	73,16	0,00248	0,18	181,49
12 - 13	12:30	14,15	0,00248	0,04	35,10
13 - 14	13:30	31,49	0,00248	0,08	78,13
14 - 15	14:30	44,85	0,00248	0,11	111,27
15 - 16	15:30	16,16	0,00248	0,04	40,09
16 - 17	16:30	7,04	0,00248	0,02	17,46
Soma		403,10			

Fonte: Autor, 2011.

As variações de vazão estão melhores representadas na Figura 14. A vazão média considerada para este dia foi de 1.074,93 m³/dia, representando 22% da vazão de entrada na estação (4.964 m³/dia).

Figura 14: Representação das variações de vazão no período observado (16 de dezembro de 2011).



Fonte: Autor, 2011.

Também representando 22% da carga orgânica de entrada do sistema de tratamento, a carga orgânica estimada para o processo foi de

4.290,05 kgDQO/dia. Sendo a da estação registrada com o valor de 19.370 kgDQO/dia.

No dia 16 de dezembro, uma das salas de brassagem se encontrava em Parada Controlada para Manutenção (PCM). Essa parada é aproveitada para realizar CIP's completos ao longo da sala inteira, englobando todos os equipamentos e linhas. Isso explica, por exemplo, a presença nas amostras, em quase sua totalidade, de trub e bagaço (Figura 15).

Figura 15: Efluente com excesso de bagaço e trub.



Fonte: Autor, 2011.

As demais subáreas tiveram seus procedimentos efetuados normalmente, com CIP's parciais e assepsias.

Uma das medidas encontradas para diminuir a quantidade de trub presente nas amostras foi aumentar o tempo de enxágüe no decantador de mosto. Hoje o trub é reutilizado no início do processo da cerveja, porém, de toda essa substância que decanta do mosto, parte dela permanece no decantador, assim a cada utilização, o decantador passa por enxágüe a fim de limpar e retirar este trub retido. A ideia em acrescer 2 minutos do enxágüe está em apanhar maior quantidade de trub para a reutilização e diminuir a parcela que vai para a rede coletora de efluentes.

Essa ação esteve em andamento no fim do mês de Dezembro e foi adotada apenas em uma das salas de brassagem. A outra, porém,

necessitaria de uma adaptação em seu sistema de esguicho, aumentando a sua área de alcance, para depois crescer em dois minutos o enxágüe.

Outra alternativa que está em vigor é montar uma espécie de bacia de contenção na saída deste trub. Assim, esta bacia possuiria uma válvula que seria aberta em tempos determinados para a liberação apenas do líquido e o trub permaneceria retido para posterior remoção.

5.1.2 Limites Internos a ETEI

5.1.2.1 Eficiência do Reator Anaeróbio

A partir do mês de setembro foram intensificados os trabalhos de conscientização e de informação sobre a negociação de descartes que a fábrica segue, ou seja, todo descarte proveniente de assepsias e limpeza, ou perdas no sistema devem ser avisados ao setor de meio ambiente, em especial a ETEI, e seu recebimento na estação negociado. Assim, despejos com características tóxicas (produtos químicos) ou com potencial orgânico elevado puderam ser desviados ao tanque de emergência e liberados ao longo do tempo com a vazão controlada após análise da estação.

O número de descartes negociados na estação aumentou de 255 para 372 no mês de dezembro. Porém, o crescimento dos descartes ainda não é satisfatório, pois por avaliação visual do efluente é possível identificar a chegada de certas substâncias, como por exemplo, fermento, bagaço de malte, terra infusória ou ainda soda de regeneração utilizada na filtração da cerveja, devido a sua coloração avermelhada, sem aviso prévio das áreas.

Além deste trabalho, o controle da vazão de alimentação do reator foi diariamente corrigido, sendo assim, a partir do mês de setembro, a vazão diária ganhou um valor ideal de 260 m³/h. O objetivo principal desta melhoria foi evitar os choques hidráulicos, possíveis causadores do arraste de biomassa, pois a abertura da válvula de entrada de efluente no reator dependia do nível em que se encontrava o tanque de hidrólise, ou seja, quanto mais alto o nível deste tanque, maior a vazão de entrada. Assim a expansão do leito de lodo pôde ser controlada, auxiliando na formação dos grânulos e selecionando uma biomassa ativa com boas características de sedimentação. Ao mesmo tempo, o controle da carga

hidráulica promoveu uma constante mistura do reator, o que beneficia o contato entre o efluente e a biomassa existente.

Apenas com estas medidas, a partir do final do mês de outubro até o mês de dezembro houve um ganho considerável na eficiência de remoção de DQO, apresentando no último mês todos os dias com eficiências acima de 75 % e uma média para o mesmo período de 85,59 %.

Fato este comprovado também pelo crescimento da atividade da massa de lodo presente no reator anaeróbio, como demonstrado pela Tabela 6:

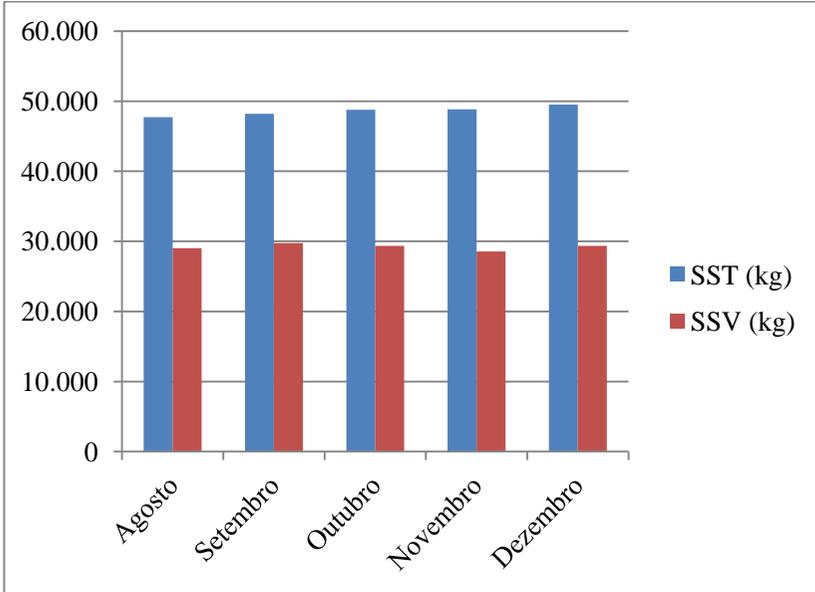
Tabela 6: Crescimento da massa de lodo anaeróbio e atividade metanogênica.

Crescimento de Massa de Lodo Anaeróbio				
Mês	SST (kg)	SSV (kg)	Atividade (kg DQO/KgSST)	SSV/SST
Agosto	47.708	29.025	0,33	61%
Setembro	48.204	29.750	0,36	62%
Outubro	48.780	29.350	0,41	60%
Novembro	48.844	28.551	0,40	58%
Dezembro	49.499	29.351	0,40	59%

Apesar do crescimento dos sólidos suspensos totais (SST) ter ascendido em proporções maiores que a dos sólidos suspensos voláteis (Figura 16), o crescimento da atividade metanogênica evoluiu de 0,33 para 0,40 kgDQO/kgSST. Para se ter um parâmetro de comparação, a empresa considera o valor de 0,30 como o mínimo de eficiência de remoção de DQO pela biomassa existente.

É relevante destacar que este indicador é realizado por análises laboratoriais onde são utilizadas amostras de lodo anaeróbio do próprio reator da estação e não são distinguidas as quantidades voláteis e fixas para o teste. Por este motivo, a unidade é expressa em kgDQO/kgSST.

Figura 16: Variação dos SST e dos SSV durante os meses de agosto a dezembro de 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Contudo, a relação entre nutrientes (DQO:N:P) ainda é desproporcional, estando hoje em torno de 3000:5:10. Sabendo que os valores ideais para a estação de tratamento seguem a relação de 350:5:1, a concentração de nitrogênio está apenas 11,67 % da concentração desejada (42,87 mgN/l).

O sistema de dosagem de nutrientes está sendo reativado, porém, ainda não está em total funcionamento, o que deverá ocorrer somente no início de 2012.

5.1.2.2 Eficiência do Tanque de Aeração

Como comentado anteriormente, semelhante ao reator anaeróbio a baixa eficiência de remoção de DQO também foi percebida no tanque de aeração. Assim, nos primeiros meses do presente estudo, foi detectada uma grande concentração de lodo no tanque de aeração e isso se agravou ao longo dos meses pela quebra de um dos três aeradores e também pela tela da prensa de lodo. A solução chegou com a doação de lodo aeróbio

a uma empresa da região, a qual daria partida a sua própria estação de tratamento de efluentes. Porém, os problemas voltaram a aparecer com a quebra novamente da prensa de lodo.

A solução para este excesso será a instalação do Geotube[®] (sistema de contenção de geotextil desenvolvido para a filtração e retenção de lodo) com programação de início de funcionamento em fevereiro de 2012. Estima-se que a validade deste equipamento seja de 1 ano, dependendo de seu uso. Para projetos futuros pretende-se instalar uma centrífuga de lodo.

Vale lembrar que apesar das baixas eficiências dos reatores, a eficiência global de remoção de DQO no sistema manteve-se acima dos 97,8 % ao longo dos meses considerados, pois as eficiências de cada reator acabavam por se compensar. Em nenhum momento houve o lançamento de efluente fora dos parâmetros regularizados pela legislação vigente. O presente trabalho visou apenas retomar as condições e eficiências originais de projeto da estação de tratamento de efluentes.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se deste trabalho que:

- A contribuição de vazão e de carga orgânica do setor de processamento da bebida no efluente recebido pela estação de tratamento ficou em torno de 30 % da vazão e carga orgânica total da estação. Sendo assim, concluiu-se que a área de maior colaboração considerada a princípio como sendo a de processo não pode ser encarada como tal antes de se fazer o mesmo trabalho nas demais áreas da empresa.
- Apesar das soluções propostas para a redução da carga orgânica oriunda do setor de processamento da cerveja não terem sido, em sua maioria, executadas conclui-se que as melhorias expostas podem auxiliar na redução da carga orgânica.
- Para as adversidades encontradas no sistema de tratamento da indústria, pode-se concluir que os controles operacionais como o comedimento da vazão de entrada no reator anaeróbio, a negociação de descartes e o controle do excesso de lodo aeróbio contribuíram para a melhora no funcionamento da estação. Isso se remete principalmente ao fato da ETEI, no período analisado, receber cargas orgânicas elevadas e ao mesmo tempo o reator anaeróbio (parte considerada a mais sensível) aumentar sua atividade metanogênica juntamente com sua eficiência de remoção de DQO.
- A Perda de Extrato no setor de processamento da bebida é um indicador complexo que envolve variáveis de todas as subáreas e que nem sempre essa perda pode ser considerada representativa de carga orgânica.

7 RECOMENDAÇÕES

É possível sugerir alguns pontos de atenção e de melhoria para trabalhos futuros. Assim, dessa maneira recomenda-se:

- Ao elaborar um levantamento da contribuição à carga orgânica de entrada da estação de tratamento de efluentes, como realizado neste trabalho, é importante que se avalie em conjunto, além do setor de processamento da cerveja como um todo, as subáreas como brassagem, adegas e filtração pertencentes à área. A seção de envase (outro setor de grande representatividade na indústria) deverá ser considerado igualmente. Desse modo, conseguir-se-ia um mapeamento completo da carga orgânica na indústria;
- A medição de vazão deve ser feita por intermédio de métodos mais eficazes e precisos, como calhas parshall, sensores ou ainda medidores portáteis. Facilitando, portanto, o trabalho de medição e a rapidez do resultado;
- Propor a construção de um ICO (índice de carga orgânica) para controle interno da estação com o mesmo limite máximo de 0,90 kgDQO/hl. Ao invés de utilizar a carga orgânica de entrada na estação, empregaria a carga orgânica aplicada ao sistema (equalizador);
- Verificar a eficácia do tanque de equalização localizado na ETEI. Deve-se oferecer maior atenção a este item a fim de garantir a sua funcionalidade dentro da estação, evitando choques de cargas orgânicas e hidráulicas nas etapas posteriores de tratamento;
- Detalhar todos os componentes e suas respectivas quantidades presentes no indicador Perda de Extrato oriunda da área de processo da bebida e verificar quais desses impactam na carga orgânica.
- Estudar a fundo como funciona o processo da cerveja e desenvolver um programa de Produção Sustentável na empresa a fim de reduzir as perdas no processo produtivo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBEV, **Site corporativo**. Disponível em: www.ambev.com.br, Acesso em 01 out. 2011

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria SVS/MS n.º 326, de 30 de julho de 1997**. Aprova o Regulamento Técnico Condições Higiênicos-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/326_97.htm. Acesso em: 01 out. 2011.

AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. **Acúmulo de Ácidos Graxos Voláteis (AGVs) em Reatores Anaeróbios sob Estresse: Causas e Estratégias de Controle**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.10, n. 2, p. 152-161, abr/jun, 2005.

_____. *et al.* **Metodologias para Determinação da Atividade Metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.12, n. 2, p. 192-201, abr/jun, 2007.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual De Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. São Paulo, 1979 e 1993.

BRASIL, Decreto nº 44, de 13 de fevereiro de 2008. **Dispõe sobre a Política de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis**. Brasília, Versão para Consulta Pública, set. 2010.

CALLAN, S. J.; THOMAS, J. M. **Economia Ambiental: Aplicações, Políticas e Teoria**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 556p.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2ª edição 2007. 380p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias ; v. 5).

FGV & SINDCERV. **Pesquisa econômica sobre o setor cervejeiro**. Disponível em: <http://www.cervejaebrazil.com.br/Default.aspx>. Acesso em: dez. 2011.

GERARDI, M. H. **The Microbiology of Anaerobic Digesters**, 1ª ed., Wiley-Interscience (2003).

KHANAL, S.K. **Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and application**. 2008. 308p.

MINISTÉRIO DO ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria n.º 368, de 04 de setembro de 1997**. Aprova o Regulamento Técnico Condições Higiênicos-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Brasília/DF, 1997

SANTOS, M.S. **Cervejas e refrigerantes**. Série P+L. CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo / 2005. Disponível em< <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2011.

SHAMMAS, N. K; WANG, L. K. **Characteristics and Quantity of Bio-solids**. In: WANG, L. K.; SHAMMAS, N. K.; HUNG, Y. T. Handbook of Environmental Engineering, Vol. 6, Humana Press Inc., Totowa, NJ, U.S.A. Chapter 1. (2007). pp. 1-44.

SINDCERV, **Sindicato Nacional das Indústrias da Cerveja**. Disponível em: <http://www.sindicerv.com.br/mercado.php>. Acesso em: dez. 2011.

THE MARRAKECH PROCESS. Disponível em: <<http://esa.un.org/marrakechprocess/index.shtml>>. Acesso em: 19 jun 2011.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAME. **International Declaration on Cleaner Production**. Paris, França, 1995.

____. **Stockholm 1972 – Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment**. Disponível em: <<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=97&articleid=1503>>. Acesso em: 19 jun 2011.

____. **Rio Declaration and Development**. Disponível em:
<<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=78&articleid=1163>>. Acesso em: 19 jun 2011.