Fundação Educacional do Município de Assis
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
Campus ''José Santilli Sobrinho''

EVERTON MARTINS DE FREITAS

APLICAÇÃO DE AGUAPÉ PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE CERVEJARIA

Assis

2015

EVERTON MARTINS DE FREITAS

APLICAÇÃO DE AGUAPÉ PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE CERVEJARIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA e a Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, como requisito do Curso de Graduação em Química.

Orientador: Me. Gilcelene Bruzon

Área de Concentração: Química.

Assis
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

FREITAS, Everton Martins de
Aplicação de Aguapé para Tratamento de Efluente de Cervejaria / Everton Martins de Freitas. Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA - Assis, 2015.
80 p.

Orientador: Me. Gilcelene Bruzon
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA

1. Efluente 2. Aguapé 3.Cervejaria

CDD: 660
Biblioteca da FEMA

APLICAÇÃO DE AGUAPÉ PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE CERVEJARIA

EVERTON MARTINS DE FREITAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis - IMESA, como requisito do Curso de Graduação, analisado pela seguinte comissão examinadora:

Orientadora: Me. Gilcelene Bruzon

Analisadora: Dra. Patrícia Cavani Martins de Mello

Assis

2015

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por estar comigo, guiando meus passos e sempre me dando sabedoria para alcançar meus objetivos. Minha família por ser minha base, minha maior fonte de alegria e dedicação. Estão comigo em todos os momentos da minha vida, me dando amor e muito carinho. E ao minha esposa que sempre está ao meu lado, me incentivando e apoiando minhas decisões e escolhas.

AGRADECIMENTOS

A professora, Gilcelene Bruzon pela orientação, dedicação, paciência e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho.

Aos familiares, que me acompanharam em cada conquista e objetivo alcançado e que sempre torceram pelo meu sucesso.

E aos professores, que não mediram esforços para nos ensinar e passar um pouco de seu conhecimento, contribuindo para nosso sucesso profissional, e a todos que colaboram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

RESUMO

O crescimento populacional juntamente com o aumento da atividade industrial tem ocasionado diversos problemas ambientais. Alterações como qualidade do solo, da água e do ar podem indicar as dimensões desses problemas. O despejo de efluentes domésticos e industriais sem tratamento adequado vem contaminando o ambiente, devido esses efluentes terem uma elevada carga de substâncias prejudiciais ao meio ambiente e aos que neles residem. Nas indústrias são utilizadas grandes quantidades de água tanto para obtenção do produto final, como para limpeza e outros fins, um exemplo são as cervejarias que utilizam uma enorme quantidade de água por ser sua matéria prima principal, gerando uma enorme quantidade de efluente, sendo necessário seu tratamento para ser descartado na natureza. Devido a esse grande aumento industrial e populacional houve a necessidade de se desenvolver métodos de descontaminação mais econômicos desses efluentes. A fitorremediação vem ganhando cada vez mais espaço em pesquisas e métodos de tratamento de efluentes, por ser um método que utiliza plantas que são capazes de eliminar matéria orgânica, metais pesados, entre outras substâncias, e por serem de fácil manejo e aplicável em grandes áreas de tratamento. O aguapé (*Eichornia crassipes)* pode ser aplicado no tratamento de efluentes, como se reproduz rapidamente, também pode ser utilizado para ração animal e adubo orgânico. O objetivo deste trabalho foi verificar a capacidade de diminuição do teor de matéria orgânica no efluente de cervejaria utilizando aguapé. Para a realização deste trabalho foram coletados 80 litros de efluente num período de quatro dias com quatro amostras por dia para uma amostragem mais uniforme. Neste efluente foram colocados aguapés da espécie *Eichornia crassipes* e realizou-se análises de DBO segundo método oxitop® por cinco dias a 20° C e DQO segundo metodologia CETESB LE. 121 1994 num período de dezessete dias. Obtendo-se uma considerável redução da DBO de 1000 ppm para 172,5 ppm, e DQO de 2605,5 ppm para 425 ppm. Tais mantiveram- se fora do que a legislação da CETESBE pede DBO até 5 mg/l e DQO não inferior a 5 mg/l, mesmo não

atendendo as especificações da legislação os resultados são positivos e pode ser uma alternativa de tratamento podendo ser mais efetiva a partir de mais pesquisas.

Palavras-chave: Efluente; Aguapé; Cervejaria.

ABSTRACT

Population growth along with increased industrial activity have caused many environmental problems. Changes such as soil quality, water and air can enter the dimensions of these problems. The dumping of domestic and industrial effluents untreated come contaminating the environment because these effluents have a high load of harmful substances to the environment and residing in them. In industries are employed large amounts of water both for the final product, such as for cleaning and other purposes, an example are breweries are using a large amount of water, as the main raw material, generating an enormous amount of effluent, and need treatment to be discarded in nature. Because of this major industrial and population growth was necessary to develop methods of decontamination of these effluents more economical and applicable on a larger scale. Phytoremediation is gaining space in study and methods of effluent treatment, as a method that uses plants that are capable of eliminating organic matter, heavy metals, among other substances, and because they are easy to handle, applicable in large treatment areas, and low cost . The water hyacinth (Eichhornia crassipes) can be applied in wastewater treatment, as it reproduces rapidly, can also be used for animal feed and organic fertilizer. The objective of this study was to evaluate the ability to decrease the content of organic matter in the brewery effluent using water hyacinth. For this work were collected 80 liters of effluent in a four day period with four samples per day for a more uniform sample, this effluent were placed water hyacinth species Eichhornia crassipes and held DBO analysis method according to the OxiTop® for five days 20 ° C and DQO according to the methodology CETESB LE. 121 1994, in a seventeen day period, obtaining a considerable reduction in DBO 1000 ppm to 172.5 ppm, and DQO 2605.5 ppm to 425 ppm, such remained outside the specifications that the lesgislação of CETESBE asks DBO to 5 mg / l and DQO not less than 5 mg / even not meeting the specifications of the legislation, the results are positive and can be an alternative treatment may be more effective from more researches

Keywords:Effluent; Water hyacinth;Brewery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- Flor de lúpulo in natura e prensada.....20
FIGURA 2- Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja.....24
FIGURA 3- Separadora de Pedras e Moinho.....28
FIGURA 4- Cozinhador de Malte.....30
FIGURA 5- Whirlpool e Resfriador de Mosto.....31
FIGURA 6- Curva de Fermentação.....34
FIGURA 7- Tanque de Fermentação e Tanque de Levedura.....35
FIGURA 8- Esquema simplificado de degradação anaeróbica.....43
FIGURA 9- Esquema de funcionamento do reator UASB.....44
FIGURA 10- Esquema de funcionamento do reator IC.....45
FIGURA 11- Esquema de mecanismos de plantas hiperacumuladoras.....51
FIGURA 12- Mecanismo utilizado pelas plantas no processo de fitorremediação.....54
FIGURA 13- Eichornia crassipes.....57
FIGURA 14- Meios de cultura aguapé (duplicata com efluente).....64
FIGURA 15- Método de análise de DBO.....66
FIGURA 16- Titulação do efluente após reações e aquecimento. 67
FIGURA 17- Resultados em ppm da DBO.....69
FIGURA 18- Resultados em ppm da DQO final.....71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Substâncias presentes no efluente de cervejaria.....40
TABELA 2- Tipos de produtos e aplicação.....41
TABELA 3- Padrões de lançamento de efluente.....48
TABELA 4- Lançamento de efluentes nas águas de classe II.....50
TABELA 5- Importância da fitorremediação nos dias de hoje.....55
TABELA 6- Resultados das análises de DBO.....68
TABELA 7- Resultado das análises de DQO.....71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16

2. MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE CERVEJA. 18

2.1 MALTE 18

2.2 ADJUNTOS 18

2.3 LEVEDURAS 18

2.4 ÁGUA 19

2.5 LÚPULO 19

2.6 DEFINIÇÕES DE CERVEJA 20

2.6.1 Tipos de cerveja. 20

2.6.1.1 Quanto ao extrato primitivo: 21

2.6.1.2 Quanto à cor: 21

2.6.1.3 Quanto a proporção de malte de cevada em: 22

2.6.1.4 Quanto a fermentação: 22

2.7 PRODUÇÃO DE CERVEJA 23

2.7.1 Processo de Maltação da Cevada 25

2.7.1.1 Limpeza e classificação dos grãos 25

2.7.1.2 Maceração com água. 25

2.7.1.3 Germinação. 25

2.7.1.4 Secagem 26

2.8 PREPARO DO MOSTO 26

2.8.1 Moagem do malte 27

2.8.2 Maceração do Malte e Adjunto ou Mosturação. 28

2.8.3 Filtração do mosto 29

2.8.4 Fervura de Mosto.....29

2.8.5 Filtração do mosto.....30

2.8.6 Resfriador de Mosto. 31

3. FERMENTAÇÃO DA CERVEJA. 33

4. MATURAÇÃO.....25

5. FILTRAÇÃO.....26

6 ENVASE.....27

6.1 PASTEURIZAÇÃO. 27

6.2 ROTULAGEM. 27

6.3 EXPEDIÇÃO. 28

7 EFLUENTE.....40

8 TRATAMENTOS DE EFLUENTE DE CERVEJARIA. 42

8.1. TRATAMENTO DO LODO 46

9 ANÁLISES E PARÂMETROS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES. 47

10 FITORREMEDIAÇÃO.**.....40**

10.1 FITOEXTRAÇÃO: 40

10.2 FITOESTABILIZAÇÃO: 41

10.3 FITOESTIMULAÇÃO/ RISODEGRADAÇÃO: 41

10.4 FITOVOLATILIZAÇÃO: 52

10.5 FITODEGRADAÇÃO: 52

10.6 RIZOFILTRAÇÃO: 53

10.7 BARREIRAS HIDRÁULICAS: 53

10.8 CAPAS VEGETATIVAS: 53

10.9 AÇUDES ARTIFICIAIS:.....42

11 AGUAPÉ 56

12 O TEMA FITORREMEDIAÇÃO COMO FERRAMENTA INTERDICIPLINAR NO ENSINO MÉDIO. 58

12.1 ATIVIDADES 58

12.1.1 Leitura e discussão de texto 59

12.1.2 Realização de experimentos 60

12.1.3 Aula experimental 60

12.1.4 Materiais 61

12.2 AVALIAÇÃO ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS 61

13 MATERIAIS E MÉTODOS 62

13.1 MATERIAIS 62

13.2 MÉTODOS 63

13.2.1 Coleta do efluente 63

13.2.2 Preparo dos materiais e meio de cultura 63

13.2.3 Cálculos 64

13.2.4 Análise de DBO 65

13.2.5 Análise de DQO 66

14 RESULTADOS E DISCUSSÃO 68

14.1 Resultados das análises de DBO 68

14.2 Resultado das análises de DQO 71

CONCLUSÃO 73

REFERÊNCIAS 74

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional juntamente com o aumento da atividade industrial tem ocasionado diversos problemas ambientais (FREIRE et al, 2000).

Alterações causadas pelas atividades humanas, como despejos de efluentes domésticos e industriais vêm contaminando o ambiente, pois contém elevada concentração de substâncias, tais como fósforo, compostos orgânicos, nitrogênio e metais pesados (LIMONS, 2008). As áreas contaminadas podem gerar danos a saúde humana, restrição ao uso de solos, comprometimento da qualidade das águas e consequentemente danos ao meio ambiente (MENEGHETTI, 2007).

Várias alternativas para a degradação de poluentes estão disponíveis, como bactérias, fungos ou plantas. Este mecanismo é possível, pois a estrutura química do poluente é semelhante ao de moléculas naturais (GAYLARD; BELLINASO; MANFIO, 2005).

A fitorremediação é uma técnica que utilizam vegetais e sua microbiota a fim de degradar, isolar ou remover contaminantes do ambiente (substâncias tóxicas). Para (MARTINS et al., 2008) essa técnica é vantajosa, pois necessita de baixo investimento, vários compostos podem ser fitorremediados em um mesmo local, é de fácil manejo e pode ser reutilizada para outros fins.

O aguapé é uma planta considerada daninha, com reprodução rápida. Suas raízes são capazes de retirar substâncias poluentes da água. Devido sua elevada concentração de proteínas, a biomassa pode ser utilizada para alimentação animal, suplemento alimentar entre outros (MEDEIROS et al., 2010).

Nas indústrias as águas possuem diversas finalidades tais como: incorporação aos produtos; limpezas de pisos; tubulações e equipamentos C.I.P (Clean In Place); resfriamento e para fins sanitários. Dependendo de sua origem as águas residuais, contêm excrementos humanos líquidos e sólidos, produtos orgânicos como proteínas, açúcares, óleos e gorduras, os inorgânicos formados de ânions (cloretos,

nitratos, sulfatos, fosfatos) e cátions (sódio, cálcio, potássio, ferro e magnésio), (BECKER, 1978).

Na indústria cervejeira se emprega uma grande quantidade de água, gerando efluentes provenientes de água de enxágue do processo de limpeza e desinfecção, pequenos efluentes dos sanitários, laboratórios e oficinas/utilidades. Esses efluentes contêm ácidos graxos livres provenientes de resto de produto e agentes de limpeza e desinfecção; íons inorgânicos provenientes de processos fermentativos, agentes de limpeza e desinfecção; hidrocarbonetos clorados, proveniente de seção oficina, pintura, veículos; formas halogênicas, provenientes de desinfecção com cloro; umectante catiônico, provenientes de agentes de desinfecção e aditivos para soda cáustica da lavadora de garrafas (REINOLD, 1997).

O lançamento destes efluentes na rede hídrica desencadeia uma sucessão de reações, resultando na progressiva degradação de sua qualidade, com crescimento maciço de organismos autótrofos e repercutindo em todo o metabolismo do corpo d'água afetado, (SOARES & MOZETO, 2006). Como consequência observa-se a redução dos usos múltiplos entre eles, o uso para abastecimento urbano e rural, provoca problemas estéticos e recreacionais, mortalidade de peixes, proliferação de algas e redução da navegação (VON-SPERLING, 1996).

Considerando o aumento da população e indústrias na região de Assis, torna-se necessário o estudo de métodos de tratamento de efluentes, métodos que sejam viáveis economicamente. Assim, a utilização de plantas torna-se uma alternativa possível. Diversas técnicas podem ser utilizadas para o tratamento de efluente, porém o alto custo pode ser um fator limitante principalmente para as indústrias de menor porte.

Este trabalho tem como objetivo verificar a capacidade de diminuição do teor de matéria orgânica do efluente de cervejaria utilizando aguapé *Eichornia crassipes.*

2. MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE CERVEJA.

Para fabricar uma cerveja necessita-se de basicamente de malte, adjuntos, leveduras, água e lúpulo.

2.1 MALTE

Segundo Reinold (2015) o malte tem influência decisiva sobre as características da cerveja como cor, sabor, sensação na boca, corpo e aroma da cerveja. A base para cor e sabor da cerveja é determinada na maltaria de acordo com as características da cerveja que se irá produzir. As enzimas presentes no malte são (α- amilase, β-amilase, maltase e protease). A α- amilase aparece em teores de 30 a 60 unidades de dextrina e o poder diastásico chega a 250%, quando na cevada é de cerca de 50%. Estas enzimas transformam o amido presente no malte em açucares para a ação das leveduras e produção de álcool.

2.2 ADJUNTOS

Segundo Reinold (1997) são fontes de carboidratos (não malteados) principalmente o amido fornecedor dos açucares fermentescíveis, que beneficiem, complementam ou suplementam o malte na produção do mosto cervejeiro.

2.3 LEVEDURAS

Segundo Curi (2006) as leveduras utilizadas na produção da cerveja pertencem ao gênero *Saccharomyces* e estão distribuídas na espécie *S. cerevisiae*. Hough (1985) “menciona que as leveduras são classificadas de acordo com seu comportamento

durante o processo fermentativo, podendo decantar ao fundo do fermentador, ou flotar na superfície do mosto ao final da fermentação". Reinold (1997) menciona que a denominação usada no meio cervejeiro para indicar seu comportamento é baixa fermentação (bottom) ou alta fermentação (top).

2.4 ÁGUA

Segundo Curi (2006) "a água é a principal matéria prima da cerveja podendo atingir de 92 a 95% do seu peso no produto final". Segundo Almeida e Silva (2005) "a água, ainda, deve ser potável, transparente, não possuir odor e estar livre de sabor estranho. Deve, também, apresentar alcalinidade de 50mg/L ou, preferencialmente, inferior a 25mg/L e possuir aproximadamente 50mg/L de cálcio".

Seja para a produção da cerveja ou para operações auxiliares, a água é um insumo de vital importância numa cervejaria, pois além de ser imprescindível em diversas etapas do processo é responsável por diversas características de sabor e cor da cerveja (SANTOS, 2005, p. 24).

Segundo Reinold (2015) a água é utilizada também para limpeza e desinfecção de equipamentos, transformando- se em efluentes. Em pequenas quantidades estas substâncias orgânicas não são tão graves, pois as bactérias presentes nas águas utilizam essas substâncias para sua alimentação transformando-as em CO_2 e substâncias minerais.

2.5 LÚPULO

Segundo Mega (2011) o lúpulo (*Humulus lupulus*) é uma trepadeira originária de climas temperados. Na produção de cerveja são utilizadas apenas as flores fêmeas por apesentarem as glândulas de lupulina rica em resinas e óleos essenciais que conferem a bebida sabor e amargor característicos. Hough (1985) relata que no lúpulo fresco são encontrados principalmente os alfas ou humulonas e pelos ácidos beta ou lupulonas, sendo que o amargor é conferido pelos ácidos alfa, enquanto que

os ácidos beta interferem muito pouco no sabor da cerveja. Grant (1977) “menciona que o lúpulo atua, também, como antisséptico apresentando efeito bacteriostático e contribui para a estabilidade do sabor e retenção de espuma na cerveja acabada”.

A Figura 1 ilustra uma flor de lúpulo na sua forma in natura e prensada como é vendida para as indústrias.

FIGURA 1: Flor de lúpulo in natura e prensada.

2.6 DEFINIÇÕES DE CERVEJA

“Segundo as Normas Técnicas Relativas a Alimentos e Bebidas, cerveja é o produto obtido da fermentação alcoólica, pela *Saccharomyces cerevisiae*, de um mosto preparado com cevada maltada, adicionado ou não de outros cereais não maltados, lúpulo e água” (OETTERER et al.,2006, p. 91).

2.6.1 Tipos de cerveja.

Segundo a SINDICERV:

> As cervejas são classificadas pelo teor de álcool e extrato, pelo malte ou de acordo com o tipo de fermentação. As cervejas de alta fermentação são aquelas cujas leveduras flutuam, durante o processo, em temperatura de 20ºC a 25ºC, após fermentar o mosto, gerando um produto de cor cobre-avermelhadas, de sabor forte, ligeiramente ácido e com teor alcoólico entre 4% e 8% (as alemãs, por exemplo). A maior parte das cervejas é de baixa fermentação, ou seja, quando expostas a temperaturas entre 9ºC e 14ºC, o levedo fica depositado no fundo do tanque.
>
> Conhecidas como lager, as cervejas de baixa fermentação só começaram a ser produzidas em larga escala no século passado, com a descoberta de Linde, que inventou a máquina frigorífica. Os tipos mais conhecidos de lager são as Pilsener, Munchener, Vienna, Dortmund, Einbeck, Bock, Export e Munich - a maioria delas um tributo às cidades de onde vieram as fórmulas.
>
> Estima-se que existam atualmente mais de 20 mil tipos de cervejas no mundo. Pequenas mudanças no processo de fabricação, como diferentes tempos e temperaturas de cozimento, fermentação e maturação, e o uso de outros ingredientes, além dos quatro básicos - água, lúpulo, cevada e malte - são responsáveis por uma variedade muito grande de tipos de cerveja.

Segundo Reinold (2015) as cervejas podem ser classificadas quanto ao extrato primitivo, quanto a cor, quanto a proporção de malte de cevada e quanto a fermentação

2.6.1.1 Quanto ao extrato primitivo:

- Cerveja leve, a que apresentar extrato primitivo > 5% e <10,5%, em peso;
- Cerveja comum, a que apresentar extrato primitivo > 10,5% e < 12,5% em peso;
- Cerveja extra, a que apresentar extrato primitivo >12,5% e <14% em peso;
- Cerveja forte, a que apresentar extrato primitivo > 14% em peso.

2.6.1.2 Quanto à cor:

- Cerveja clara, menos de 20 unidades EBC (European Brewery Convention).
- Cerveja escura, 20 ou mais unidades EBC.
- Quanto ao teor alcoólico em:
- Cerveja sem álcool, quando seu conteúdo for menor que 0,5% em volume, não sendo obrigatória a especificação no rótulo.

- Cerveja com álcool, quando seu conteúdo em álcool for igual ou superior a 0,5% em volume, devendo ser especificado no rótulo o percentual de álcool, sendo dividida em três categorias:
- Cerveja de baixo teor alcoólico: > 0,5% < 2,0% de álcool.
- Cerveja de médio teor alcoólico: >2,0% e < 4,5% de álcool.
- Cerveja de alto teor alcoólico: > 4,5% a 7% de álcool.

2.6.1.3 Quanto a proporção de malte de cevada em:

- Cerveja puro malte, aquela que possuir 100% de malte de cevada, em peso sobre o extrato primitivo, como fonte de açucares;
- Cerveja, aquela que possuir proporção de malte de cevada maior ou igual 50%, em peso, sobre extrato primitivo, como fonte de açucares.
- Cerveja com o nome do vegetal predominante, aquele que possuir proporção de malte de cevada maior do que 20% e menor do que 50%, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açucares.

2.6.1.4 Quanto a fermentação:

- Cervejas de baixa fermentação: Lager (Pilsener, Dortmunder, Malzibier), Winer, Marzen, Munchener, Bock, Doppelbock, Rauchbier. A levedura utilizada sedimenta e deposita-se no fundo do tanque. Tipo de levedura: *Saccharomyces uvarum*.
- Cervejas de alta fermentação: Ale (clara, suave, amarga, Porter, Barley Wine, Stout), Altbier, Kolsh, cervejas especiais (Trappiste, Abbey, Saison), Weinzenbier. Na fase de alta fermentação a levedura sobe a superfície. Tipo de levedura: *Saccharomyces cerevisiae*.

2.7 PRODUÇÃO DE CERVEJA

A cerveja é obtida pela fermentação da cevada, convertendo todos açucares presentes nos grãos de cevada em álcool. A fermentação é a principal etapa desse processo e sua efetividade depende de várias operações anteriores, incluindo o preparo das matérias-primas. Após fermentação são realizadas etapas de tratamento da cerveja para conferir as características organolépticas (sabor, odor, textura) desejadas no produto final (SANTOS, 2005, p. 16).

A Figura 2 ilustra um fluxograma dos principais etapas do processo cervejeiro com suas entradas (matéria-prima e insumos) e saída (produto e resíduos gerados).

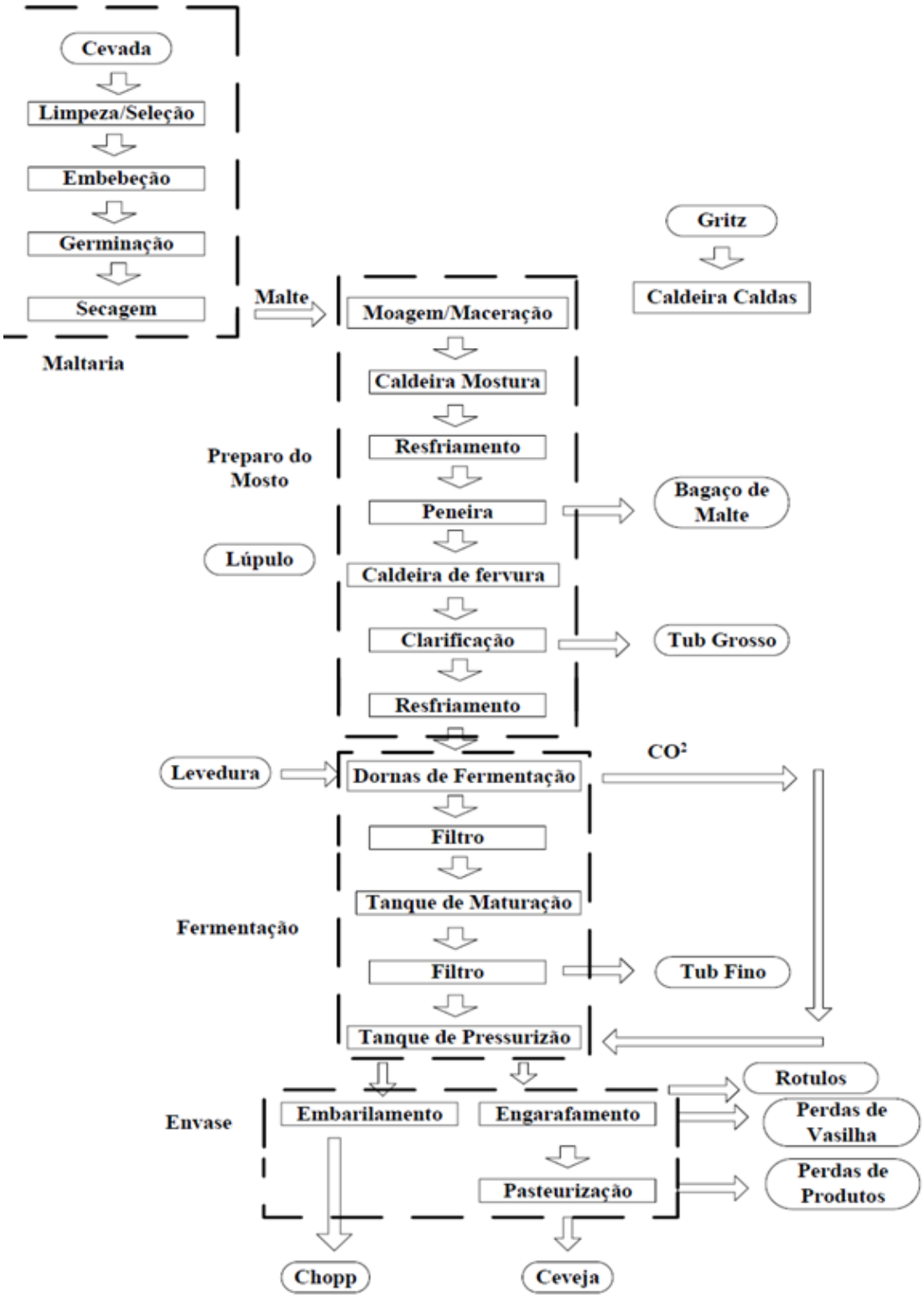


Figura 2. Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja. (In: Cervejas e Refrigerantes CETESB, 2005).

2.7.1 Processo de Maltação da Cevada

O malte é em geral obtido em matarias, que podem ou não ser anexadas a cervejarias, onde suas principais etapas de obtenção do malte são a limpeza e seleção de grãos, embebição, germinação e a secagem do malte (SANTOS, 2005 p.16).

2.7.1.1 Limpeza e classificação dos grãos

Após serem recebidos da lavoura os grãos são submetidos a um processo de limpeza para retiradas de pó, pedra, pedaços de madeira provenientes da lavoura, e separados de acordo com sua granulometria a modo de obter um malte homogêneo (SANTOS, 2005. p. 17).

2.7.1.2 Maceração com água.

Segundo Santos (2005), após serem selecionados os grãos são armazenados em silos e periodicamente são enviados a tanques de embebição até atingir um teor de umidade de 45% de seu peso, sendo controlados sua temperatura e teor de oxigênio, saindo do seu estado de latência, sendo o princípio de germinação da semente, dando origem a uma nova planta se não for interrompido.

2.7.1.3 Germinação.

Segundo Santos (2005), após o princípio da germinação, os grãos são mantidos em estufas sobre controle de temperatura e umidade até o brotamento das radículas (pequenas formações embrionárias da futura raiz da planta), o que demora de 5 a 8 dias.

2.7.1.4 Secagem

Segundo Oetterer et al. 2006, p. 63:

> A secagem é feita para paralisar a atividade biológica da germinação após ser atingido o tamanho necessário das radículas. Do malte verde (45% de umidade) obtém-se o malte seco, que tem de 2 a 5% de umidade.
>
> A secagem é feita em 2 fases, de início a temperaturas de 20 a 70º C, por 20 min. Na fase final, o secador estará a 70º a 95ºC, por 2 a 3 min, para se obter o malte claro destinado à fabricação de cervejas Lager, ou por 5 min., para malte escuro e fabricação das Ale.
>
> O controle da umidade e da temperatura nas fases do aquecimento são importantes porque há condições de desenvolvimento da reação de Maillard, o que caracterizará a cor do malte obtido. Tostadores podem ser utilizados quando se pretende obter o malte "caramelo", porém a atividade enzimática é reduzida.

Segundo Oetterer et al, (2006), após a secagem esse malte é estocado em silos de carga móvel, fazendo o revolvimento para outras unidades devido formação de gás CO_2 e calor presentes na respiração das sementes, evitando assim trincos nas paredes dos silos.

Segundo Berenhauser (1999), os processos de maltagem variam em determinadas fases conforme o tipo de cerveja que se deseja obter, no caso da cerveja Pilsen que é uma cerveja clara: o malte claro.

2.8 PREPARO DO MOSTO

Após obter o malte conforme descrito anteriormente, ou proveniente de uma maltaria como no caso do Brasil, a cervejaria dá inicio ao processo de produção da cerveja propriamente dita, onde a primeira etapa consiste em obter o mosto. O preparo do mosto consiste em cozinhar o malte com os devidos cuidados, o incluem etapas de preparo (como a moagem do malte, maceração, separação do mosto e sua filtração), o cozimento, clarificação e resfriamento, sendo assim livre de impurezas e rica em açucares resultantes deste processo, sendo então enviada para a fermentação (SANTOS, 2005, p. 18).

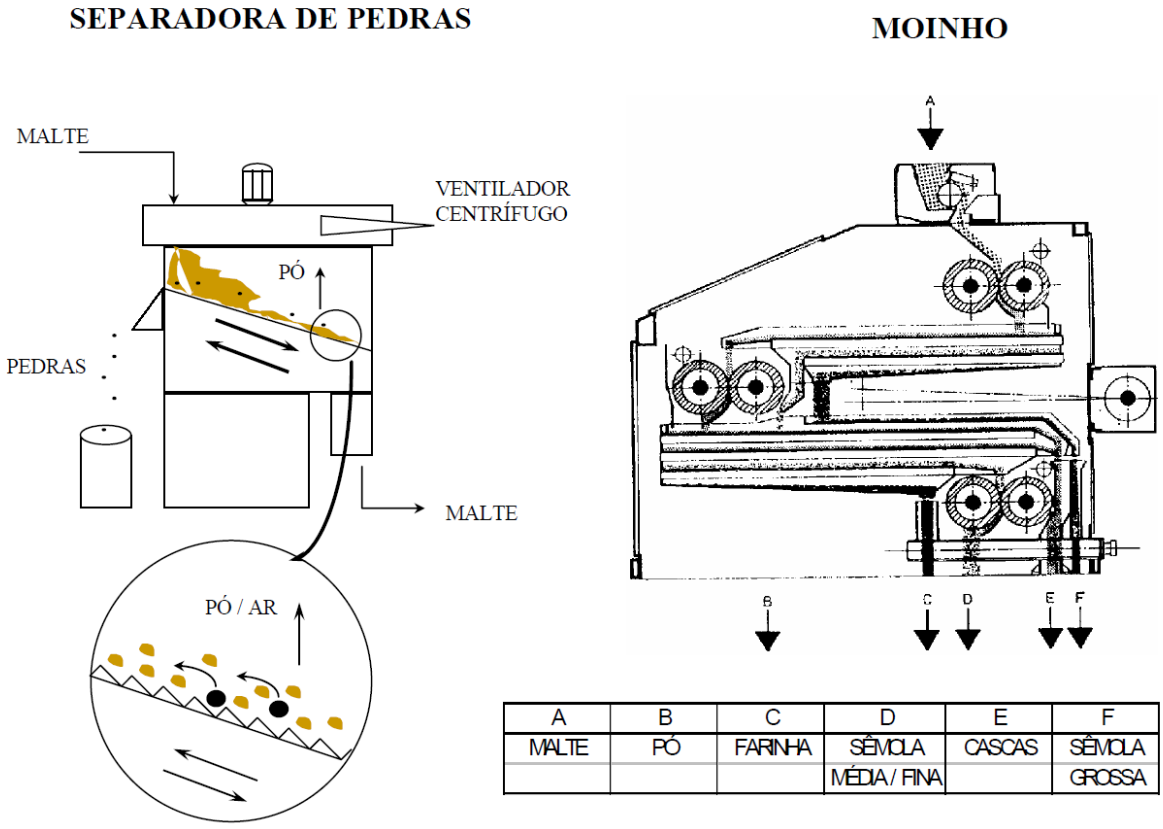
2.8.1 Moagem do malte

Segundo Reinold (1997), essa etapa tem grande importância, pois influência diretamente na rapidez das transformações físico-químicas, no rendimento, na clarificação e na qualidade do produto final.

A moagem do malte consiste em triturar o grão, que tem a sua casca rasgada longitudinalmente, deixando exposto o endosperma amiláceo, facilitando a ação enzimática durante a mosturação. Essa moagem deve, ainda, produzir uma quantidade mínima de farinha com granulometria muito fina (ALMEIDA E SILVA, 2005).

A moagem pode ser a seco em moinhos de rolos, discos ou martelos ou moagem úmida em moinhos de rolos (VENTURINI FILHO, 2000).

A Figura 3 ilustra um separador de pedras e um moinho de malte:



A	B	C	D	E	F
MALTE	PÓ	FARINHA	SÊMOLA	CASCAS	SÊMOLA
			MÉDIA / FINA		GROSSA

Figura 3: Separadora de Pedras e Moinho (In: Microbiologia Industrial/ Escola de Química/ UFRJ.)

2.8.2 Maceração do Malte e Adjunto ou Mosturação.

Segundo Santos (2005), a moagem tem como objetivo disponibilizar as proteínas e amido presente no interior dos grãos, sendo essa uma pequena quantidade solúvel em água, tendo a necessidade de uma preparação química desse malte, denominado maceração.

Após a moagem esse malte moído é misturado à água aquecida em torno de 65°C, ativando as enzimas presentes nos grãos, promovendo a quebra de substâncias complexas e insolúveis em outras menores mais simples e solúveis em água e assimiláveis pelas leveduras na etapa de fermentação.

Também pode ser adicionados adjuntos que são fontes de açucares não maltados com a função de agregar sabor, cor, aspecto ou até mesmo reduzir custo.

Segundo Santos (2005):

> Do ponto de vista operacional o que se faz nas empresas é realizar a maceração do malte na caldeira de mostura, aquecendo a água até 65ºC, enquanto o adjunto é misturado à água na temperatura de 120ºC na caldeira de caldas. Após cerca de uma hora, adiciona-se o conteúdo desta caldeira à caldeira de mostura, dando origem ao mosto, solução de açúcares oriundos da sacarificação do amido presente no malte e no adjunto, por ação das enzimas do malte.

2.8.3 Filtração do mosto

Segundo Oetterer et al. (2006), ao final da mosturação, quando as enzimas já estão inativas a 75ºC, procede-se à clarificação ou filtração do mosto, por gravidade na Tina Filtro, através das cascas do malte que formam uma cama no fundo da tina filtro. Após a drenagem, faz-se a aspersão de água a 75ºC, por várias vezes, até o resíduo se apresentar com 1% de extratos solúveis. Esse mosto filtrado é encaminhado para os cozinhadores de mosto.

2.8.4 Fervura de Mosto.

Segundo Santos (2005), o mosto é aquecido na caldeira de fervura até a ebulição (100ºC) por um período de 60 a 90 minutos, para que se obtenha sua estabilização. Esse processo inativa as enzimas, coagula e precipita as proteínas, concentra e esteriliza o mosto. É nesta fase que se adicionam os aditivos que proporciona característica organolépticas típicas de cada tipo e marca de cerveja, como o lúpulo, caramelo, açúcar, mel, extratos vegetais, etc.

A Figura 4 ilustra um Cozinhador de Malte, onde o mosto é aquecido:

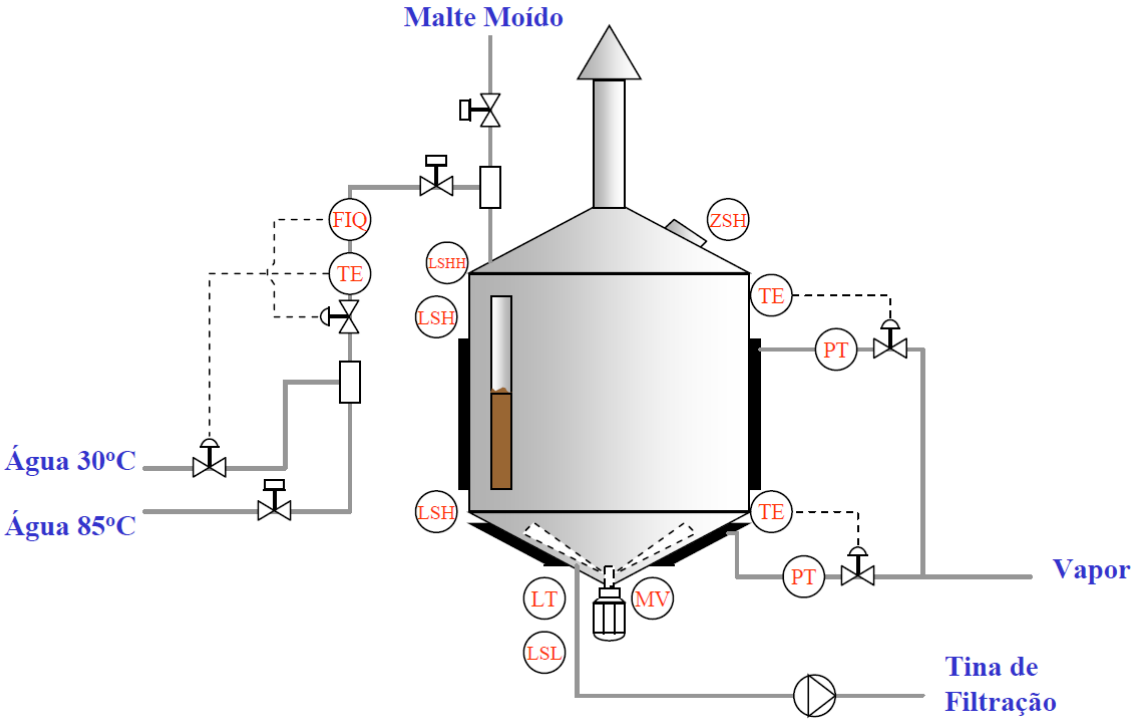


Figura 4: Cozinhador de Malte (In: Microbiologia Industrial/ Escola de Química/ UFRJ.)

2.8.5 Filtração do mosto.

Segundo Santos (2005) após a fervura do mosto se torna necessário a clarificação do mosto antes da fermentação, pois a presença de partículas que são provenientes do tipo de cerveja produzida, são partículas oriunda de proteína coaguladas, resíduos remanescentes de bagaço ou de outras fontes, podendo comprometer a qualidade da fermentação, dando origem a ésteres, álcoois de maior cadeia molecular ou outras substâncias indesejáveis.

Segundo Almeida e Silva (2005) a forma mais utilizada de realizar a clarificação é submeter o mosto a um processo de decantação hidrodinâmica, realizado em um equipamento denominado whirlpool, no qual o mosto é bombeado tangencialmente à parede interna do tanque, provocando um movimento que faz com que as partículas sólidas de maior massa, principalmente resinas do lúpulo, proteínas coaguladas e taninos do malte sejam depositados no centro do fundo cônico do tanque e

separados do mosto límpido. O resíduo sólido retirado nesta etapa do processo é denominado trub grosso.

A Figura 5 ilustra um tanque de clarificação (whirlpool), e resfriador de mosto.

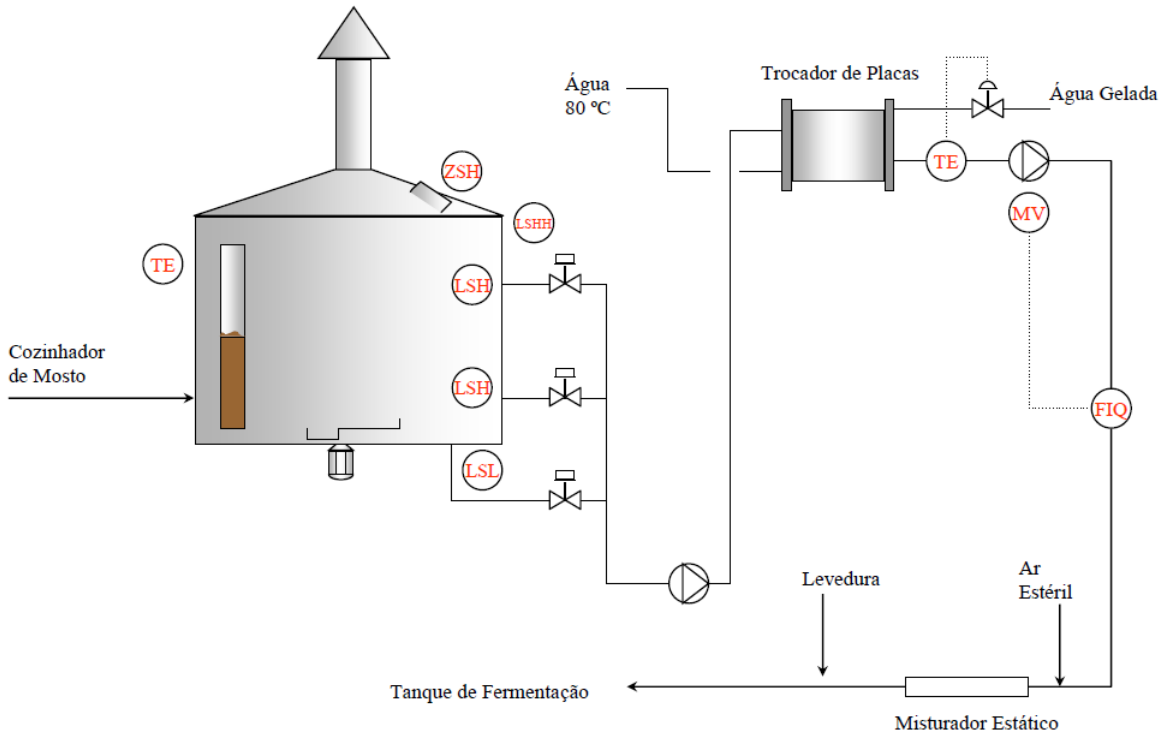


Figura 5: Whirlpool e Resfriador de Mosto (In: Microbiologia Industrial/ Escola de Química/ UFRJ).

2.8.6 Resfriador de Mosto.

Segundo Reinold (1997) após a retirada do trub o mosto é resfriado, passando de uma temperatura de aproximadamente 100°C para aquela adequada à inoculação do fermento, entre 6°C a 15°C. Nessa operação, o trocador de calor de placas é o mais utilizado pelas cervejarias e apresentam dois estágios: resfriamento com água fria e resfriamento com solução de etanol ou água gelada.

A aeração do mosto é essencial para o crescimento da levedura cervejeira no início do processo fermentativo. O oxigênio é requerido pelas leveduras no processo de respiração celular e para a síntese de ácidos graxos insaturados e esteróis, componentes das membranas intracelulares (VENTURINI FILHO, 2000). Ar

esterilizado ou oxigênio é injetado diretamente na tubulação por onde o mosto é bombeado para os fermentadores. A quantidade máxima de oxigênio utilizado é de 9 mg de O_2 por litro de mosto (TSCHOPE, 2001).

3. FERMENTAÇÃO DA CERVEJA.

Segundo Santos (2005), a fermentação se dividi em duas etapas: na primeira etapa denominada aeróbica é a fase onde as leveduras se adaptam ao meio e se reproduzem, aumentando de quantidade de 2 a 6 vezes; em seguida inicia-se a segunda etapa denominada anaeróbica, onde as leveduras realizam a fermentação propriamente dita, convertendo os açucares presentes no mosto em CO_2 e Álcool, conforme a reação descrita a seguir:

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{ENZIMA DE LEVEDURA}} 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 22\ Kcal$$

Segundo Venturini Filho (1993) a fermentação da cerveja pode ser feita por processos contínuos ou descontínuos (“batelada”), sendo este último mais utilizado. No processo de batelada as características da levedura determina o tipo de fermentação: alta ou baixa, esses termos indicam o comportamento da levedura durante o processo fermentativo, sendo que as leveduras de alta fermentação sobem na superfície do mosto, e a de baixa decantam no fundo do fermentador no transcorrer da fermentação.

O processo de fermentação dura de 6 a 9 dias, ao final dos quais se obtém, além do mosto fermentado, uma grande quantidade de CO_2, que após ser purificado é enviado para a etapa de carbonatação da cerveja (SANTOS, 2005, p. 20).

A Figura 6 ilustra uma curva de fermentação em função de tempo e temperatura.

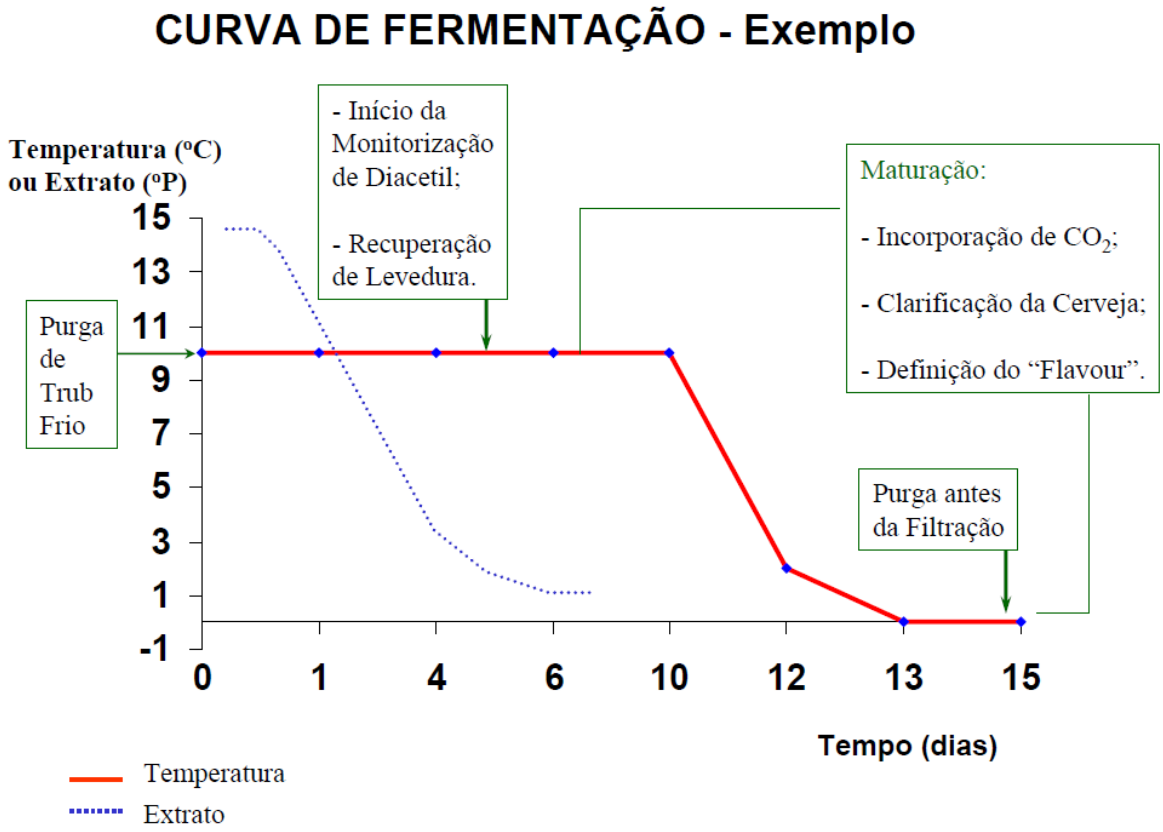


FIGURA 6: Curva de Fermentação. (In Microbiologia Industrial/ Escola de Química/ UFRJ).

Segundo Almeida e Silva (2005) para garantir um bom andamento ao processo de fermentação, é necessário que a temperatura se mantenha constante, em valores entre 8 e 15ºC dependendo de vários fatores, sendo esse processo realizado em fermentadores com controle de temperatura e pressão pois a fermentação é um processo exotérmico e também á liberação de CO_2 no processo de fermentação.

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 vendida para a indústria de alimentos (SANTOS, 2005, p. 20).

A Figura 7 ilustra um Tanque de Fermentação e um Tanque de Levedura:

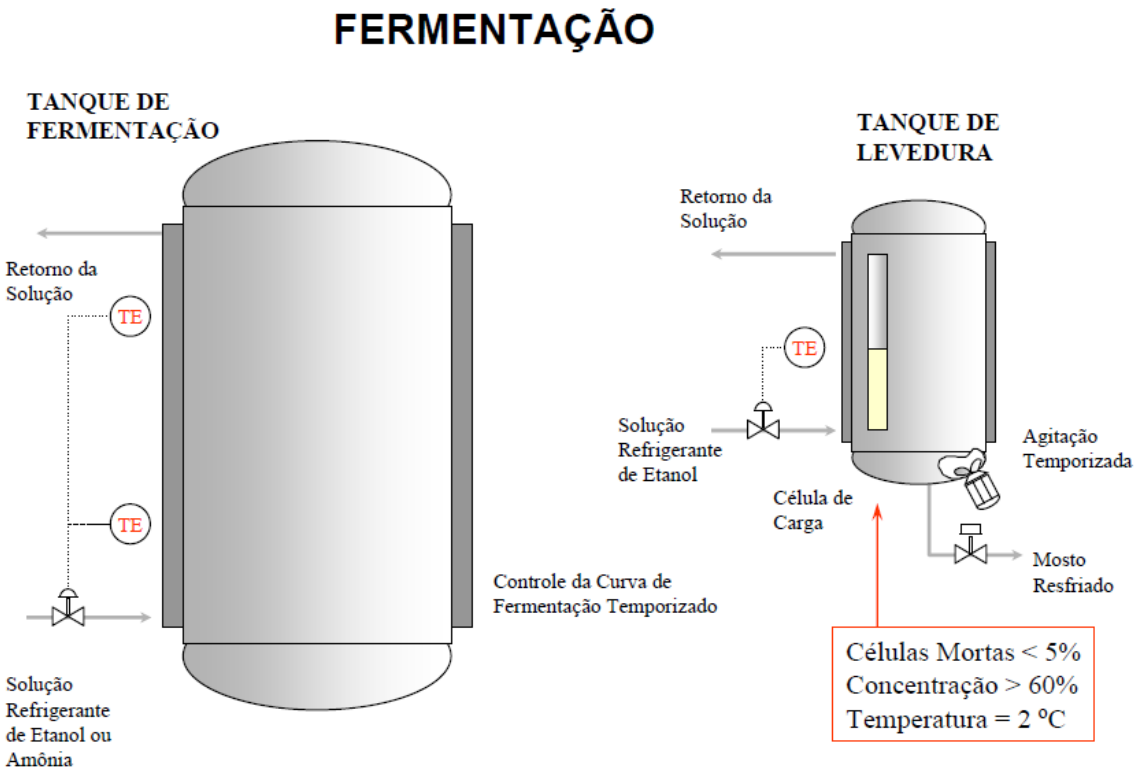


FIGURA 7: Tanque de Fermentação e Tanque de Levedura. (In: Microbiologia Industrial/ Escola de Química/ UFRJ).

4. MATURAÇÃO

Segundo Camargo (2012) ao encerrar a fase de fermentação (consumo de todos os açucares fermentescíveis) é feita a remoção das células de levedura no tanque de fermentação, após a remoção do fermento ainda existe uma grande quantidade de micro-organismos e substâncias indesejáveis misturados à cerveja. De modo a separá-los, promove-se a maturação, processo onde se mantém a cerveja em descanso nas dornas a uma temperatura de zero grau (ou menos), durante um período de 15 a 60 dias.

Além de promover a separação dos levedos da cerveja, esta etapa permite a ocorrência de algumas reações químicas que auxiliam no processo de estabilização do produto final, quanto a características relacionadas com o paladar e saturação com CO_2 (SANTOS, 2005, p.20).

5. FILTRAÇÃO

Segundo Curi (2006) esta operação tem como objetivo eliminar partículas em suspensão, principalmente células de fermento, bactérias e substâncias coloidais, proteínas de alto peso molecular, deixando a bebida transparente, com maior estabilidade físico-química e brilhante. A filtração não altera a composição e o sabor da cerveja, mas é fundamental para garantir sua apresentação.

Para essa operação a diversos tipos de meio filtrante, sendo os mais comuns os filtros de velas verticais ou placas horizontais, além do uso de terra diatomácea utiliza-se também (denominada kiesselguhr) como elemento auxiliar à filtração. Pode haver ainda uma etapa final, de filtração com filtro de cartucho, para polimento. A também a adição de aditivos como agentes estabilizantes, corantes ou açúcar, para o acerto final do paladar e característica específica da cerveja produzida (SANTOS, 2005, p.21).

Após a filtração a cerveja pronta é enviada para dornas específicas, denominadas “adegas de pressão”, que são recipientes onde a bebida é mantida sobre condições controladas de pressão e temperatura, de modo a garantir o sabor e o teor de CO_2 até o envase (CAMARGO, 2012, p. 21).

6 ENVASE

Segundo Santos (2005, p. 22):

> A cerveja proveniente da filtração é encaminhada para o processo de envasamento em máquinas denominadas enchedoras, onde se envasa a cerveja em garrafas de vidro ou em latas de alumínio, ou então em máquinas de embarrila mento, onde se enchem os barris, de aço inoxidável ou de madeira. O percentual da produção que é destinado a cada uma destas formas de envase depende das condições de mercado, variando entre empresas; plantas de uma mesma empresa, e até mesmo entre um lote e outro da mesma planta.
>
> Cabe dizer que a bebida envasada em garrafas e latas é enviada à pasteurização, sendo então denominada cerveja. Aquela envasada em barris não passa por este processo, e é denominada chope, um produto de menor vida de prateleira, devido a ausência deste processo.

De acordo com o Decreto nº 28.323, da Receita Federal, Brasil de 2 de setembro de 2005, é possível utilizar as seguintes embalagens para as cervejas: garrafa retornável até 360 mL, garrafa descartável de 361 a 999 mL, barril acima de 999 mL, lata de 311 660 mL.

6.1 PASTEURIZAÇÃO.

A pasteurização é um processo de esterilização no qual se submete o produto a um aquecimento (até 60ºC), seguido de um rápido resfriamento (até 4ºC). Esse processo confere a cerveja maior estabilidade e durabilidade (até seis meses) devido a eliminação de microrganismos (SANTOS, 2005, p. 22).

6.2 ROTULAGEM.

De acordo com Decreto nº 6.871, da Casa Civil, Brasil de 4 de julho de 2009, a rotulagem de bebidas no Brasil segue a seguinte Legislação:

No rótulo deve conter toda “inscrição, legenda, imagem ou matéria descritiva, gráfica, escrita, impressa, estampada, afixada, afixada por encaixe, gravada ou colada, vinculada à embalagem, de forma unitária ou desmembrada” sobre a embalagem da bebida, a parte plana da cápsula, outro material empregado na vedação do recipiente, ou em todas essas formas dispostas (DECRETO Nº 6.871, DA CASA CIVIL, BRASIL DE 4 DE JULHO DE 2009).

O Decreto nº 6.871, da Casa Civil, Brasil de 4 de julho de 2009, diz que no rótulo da bebida deve estar presente, em cada unidade, em caracteres visíveis e legíveis, os seguintes dizeres:

> Nome empresarial do produtor ou fabricante, do padronizador, do envasilhador ou engarrafador ou do importador, endereço do produtor ou fabricante, do padronizador, do envasilhador ou engarrafador ou do importador, número do registro do produto no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento ou o número do registro do estabelecimento importador, quando bebida importada, denominação do produto, marca comercial, ingredientes, a expressão: Indústria Brasileira, por extenso ou abreviado; conteúdo, expresso na unidade de medida correspondente, de acordo com normas específicas, graduação alcoólica, expressa em porcentagem de volume alcoólico, quando bebida alcoólica, grau de concentração e forma de diluição, quando se tratar de produto concentrado, forma de diluição, quando se tratar de xarope, preparada líquida ou sólida, identificação do lote ou da partida, prazo de validade e frase de advertência, conforme estabelecido em legislação específica.

O rótulo da bebida não deve ter informação duvidosa, falsa, incorreta ou insuficiente que possa causar equívoco, erro, confusão ou engano, “em relação à identidade, composição, classificação, padronização, natureza, origem, tipo, qualidade, rendimento ou forma de consumo da bebida, nem lhe atribuir qualidade terapêutica ou medicamentosa” (DECRETO Nº 6.871, DA CASA CIVIL, BRASIL DE 4 DE JULHO 2009).

6.3 EXPEDIÇÃO.

Após o envase e a pasteurização, segue-se a rotulagem das garrafas e a embalagem para transporte, que incluem o encaixotamento e o envolvimento em filme plástico.

7 EFLUENTE

Em geral, a carga orgânica presente no efluente de uma cervejaria é de moderada à elevada em seus 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 m^3 ao dia) (SANTOS,2005,p. 25).

A Tabela 1 mostra uma tabela com as substâncias presentes no efluente de cervejaria

SUBSTÂNCIAS PRESENTES NO EFLUENTE DE CERVEJARIA	
Ácidos graxos livres	Resto de produto (mosto, cerveja), agentes desinfetantes (ácido acético).
Íons inorgânicos: Nitrito	Processos microbiológicos (nitratos), resto de produto (mosto, cerveja), agentes de limpeza e desinfecção que contem ácido nítrico.
Iodeto	Agentes de desinfecção (iodo, iodóforos)
Fosfato	Agentes de limpeza e desinfecção que contêm ácido fosfórico, agentes que impedem a formação de incrustação na lavadora de garrafa.
Cloretos	Resto de produtos (mosto, cerveja), regeneração de trocadores catiônicos.
Sulfato	Resto de produtos (mosto, cerveja), agentes de limpeza e desinfecção que contem ácido sulfúrico.
Hidrocarbonetos clorados	Seção de oficinas (solventes), pintura, marcenaria, veículos.
Formas halogenadas	Contaminação da água da rede pública, formação através da desinfecção com cloro e desdobramento do cloro.
Umectante catiônico	Agentes de desinfecção que contêm umectantes catiônicos, aditivos para a soda cáustica da lavadora de garrafas, desinfecção de superfícies.
Ligações fenólicas e benzoicas	Substâncias contidas na matéria-prima cervejeira, conservação de produtos técnico-químicos (lubrificantes), agentes conservantes em colas. Antioxidantes de solventes, produtos de reações (ex.: cloro), desinfeção manual de superfícies, produtos de limpeza caseiros. Produtos para limpeza de sanitários.

TABELA 1: Substâncias presentes no efluente de cervejaria. (In: Reinold, 1997, p.120).

A Tabela 2 mostra uma tabela com principais detergentes e desinfetantes utilizados na indústria cervejeira:

Tipo de produto	Local de aplicação
Detergente alcalino (NaOH)	Equipamento da sala de brasagem, tubulações de mosto, tanques, filtros.
Detergente alcalino- clorado	Limpeza de tanques de fermentação/ maturação/ pressão, tubulações, bombas, mangueiras, limpeza manual de peças e acessórios.
Desinfetantes a base de cloro ativo (hipoclorito de sódio, dióxido de cloro)	Tubulações, tanques, enchedoras, zona de enxague das lavadoras de garrafa e rinsers.
Desinfetantes a base de quaternário de amônia	Banho de acessórios e componentes, desinfecção externa de maquinas e equipamentos.
Desinfetante a base de peróxido de hidrogênio e ácido pera cético	Tubulações, bombas, mangueiras, filtros.
Removedor ácido de pedra de cerveja	Retirada do oxalato de cálcio dos tanques e equipamentos.
Detergente alcalino (espuma)	Limpeza de instalações (parede, teto) e limpeza externa de equipamentos.
Detergente ácido	Limpeza de tanques cilindro- cônicos out- door de fermentação maturação e pressão.

TABELA 2: Tipos de produtos e aplicação. (In: Reinold, 1997, p.115).

8 TRATAMENTOS DE EFLUENTE DE CERVEJARIA.

Segundo Camargo (2012) o tratamento de efluentes na cervejaria é necessário para a manutenção e segurança de um meio ambiente limpo e intacto. Especialmente os fabricantes de cerveja e refrigerantes, que utilizam a água como matéria-prima, na limpeza e desinfecção, com isso transformando-se em um efluente com várias substâncias orgânicas provenientes de: resto de produtos, produtos de limpeza e desinfecção, cola de rótulos, antiespumantes, lubrificantes de esteira, entre outros, que diluídos em água transformam-se em efluente.

“A maioria das indústrias de bebidas requer algum grau de tratamento de efluentes, já que são descartados em águas públicas (como rios), em estações de tratamento municipais, em aplicações no campo” (CAMARGO, 2012, p.25).

Para o tratamento biológico dos efluentes temos à disposição dois métodos diferentes: o tratamento anaeróbio, com microrganismos que independem de oxigênio e, por outro lado, o tratamento aeróbio, no qual se fornece oxigênio para os microrganismos através de aeração (REINOLD, 1997, p. 179).

Para esse processo biológico se tornar viável são necessários equipamentos com grande capacidade de tratamento e boa eficiência de remoção de poluentes orgânicos, devendo ser capaz de trabalhar com altas taxas de carregamento orgânico em baixo tempo de detenção.

Para o tratamento deste efluente são utilizados processos compostos por três etapas: tratamento preliminar, tratamento secundário (com prévia correção do pH e adição artificial de nutrientes, com uso de reatores anaeróbios do tipo UASB ou IC) e pós-tratamento em lagoa aerada seguida de decantação (polimento). Esse sistema de tratamento associado o sistema anaeróbico com o aeróbico traz vantagens como baixa geração de lodo e formação de gás metano que pode ser utilizado no próprio processo industrial (caldeiras, empilhadeiras) (FILHO et al., 2013, p. 21- 42).

Segundo Reinold (1997) o tratamento de efluentes anaeróbico, nos permite através da fermentação com produção de gás metano despoluir por redução do volume de

material orgânico e estabilizá-lo; a produção de biogás, que contém de 50 a 70 % de metano (CH_4). Ocorre que $1m^3$ de biogás a 70% de metano e 30% de CO_2 libera cerca de 6.000 kcal (25,1 MJ), que pode ser utilizado em caldeiras e veículos.

A Figura 8 ilustra um esquema simplificado da degradação anaeróbica:

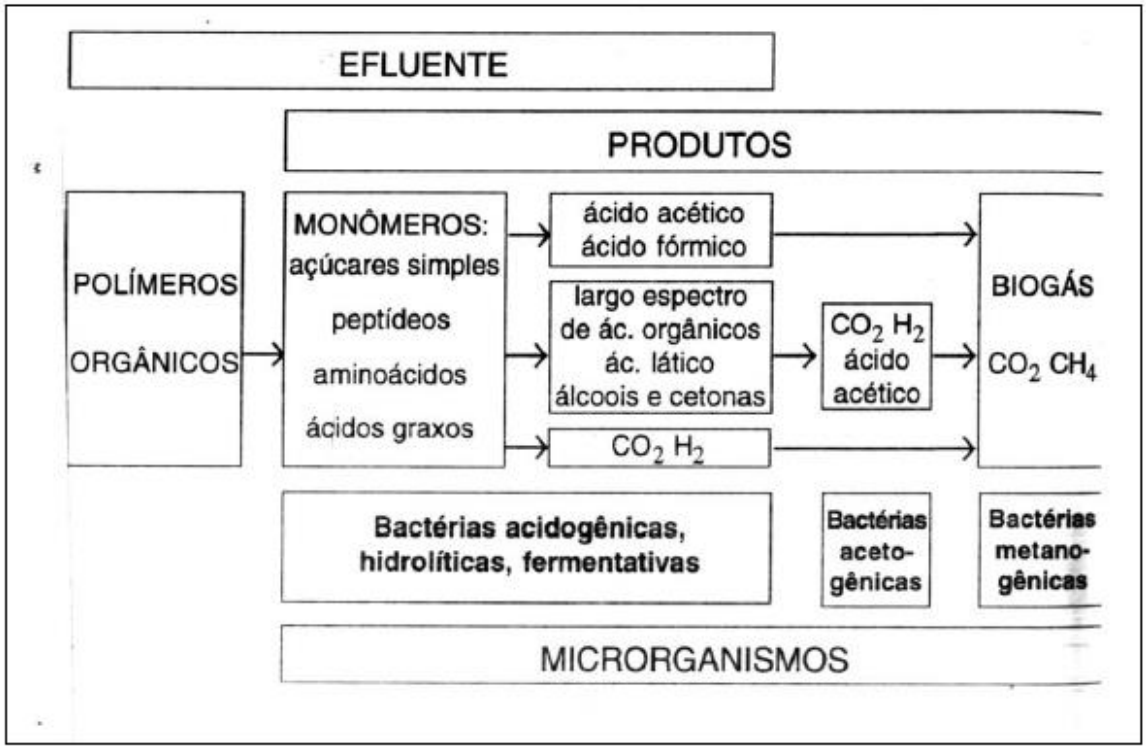


FIGURA 8: Esquema simplificado de degradação anaeróbica. (In: Reinold, 1997, p. 179).

Segundo Santos (2005) antes de se iniciar o tratamento biológico deve-se construir um tanque de neutralização, com a finalidade de corrigir o pH, deixando próximo da neutralidade, fornecendo condições para o bom desempenho do reator anaeróbio. Ainda no tanque de neutralização, podem ser adicionados os nutrientes (fósforo e nitrogênio) ao efluente, quando necessário.

Segundo Neto (2014) para esse tipo de efluente é utilizado com grande frequência reatores anaeróbico UASB, EGSB ou IC, cujas eficiências na remoção de matéria orgânica são da ordem de 75 a 85%, podendo superar 90% em casos específicos.

Segundo Neto (2014, p. 38):

> O reator tipo UASB (Up Flow Sludge Blanket) foi desenvolvido na Holanda por Lettinga no final década de 70 para o tratamento de efluentes indústrias com elevadas cargas orgânicas. Esse processo de tratamento ocorre com fluxo ascendente do efluente que atravessa o manto de lodo, composto por diversos microrganismos estritamente anaeróbios. Esta biomassa rapidamente converte a carga orgânica do efluente em biogás, através do processo de fermentação e também gera novas células (lodo). No topo do reator existe um separador trifásico que separa o lodo, o efluente líquido tratado e o biogás.

A Figura 9 representa o esquema de funcionamento do reator UASB:

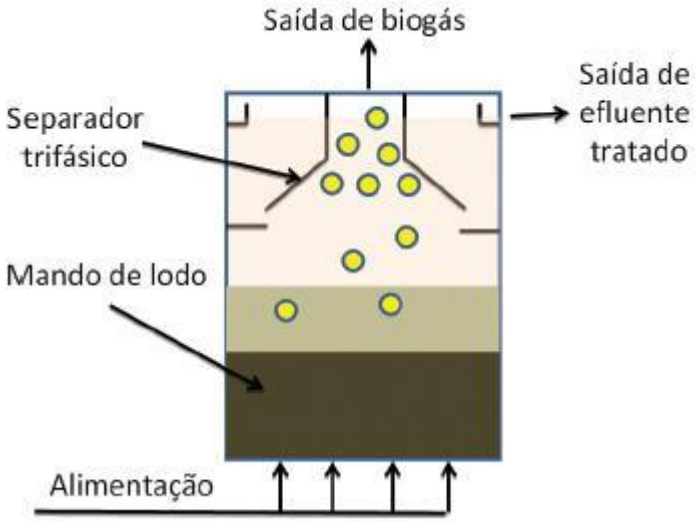


FIGURA 9: Esquema de funcionamento do reator UASB. (In: Revista TAE especializada em tratamento de Agua & Efluentes, p. 40).

O reator UASB opera com baixas cargas (inferior a 10 Kg DQO/m^3), são reatores de 4 a 8 metros de altura, de grande volume e longo período de detenção. Já o reator tipo EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) corresponde a evolução do UASB com mesmo esquema interno, com uma velocidade ascensional maior formando um lodo mais robusto e em maior tamanho e quantidade, permitindo assim maiores cargas nesse reator (de 14 a 16 kg de DQO/m^3), gerando reatores de menor volume, porém com altura variando de 10 a 15 metros (NETO, 2014, p. 40).

Foi adicionada uma etapa de recirculação interna nos reatores EGSB para aumentar sua eficiência dando assim origem aos reatores IC (Internal Circulation), que tem como característica ocupar pequenas áreas e elevada altura do reator (acima de 20 metros), com capacidade de operar com alta carga orgânica (20 a 25 kg DQO/ m^3 por dia), utilizando dois tanques um pequeno para condicionamento do efluente e outro para a fermentação propriamente dita que utiliza pelo menos dois separadores trifásicos (NETO, 2014, p. 41).

A Figura 10 representa o esquema de funcionamento do reator IC:

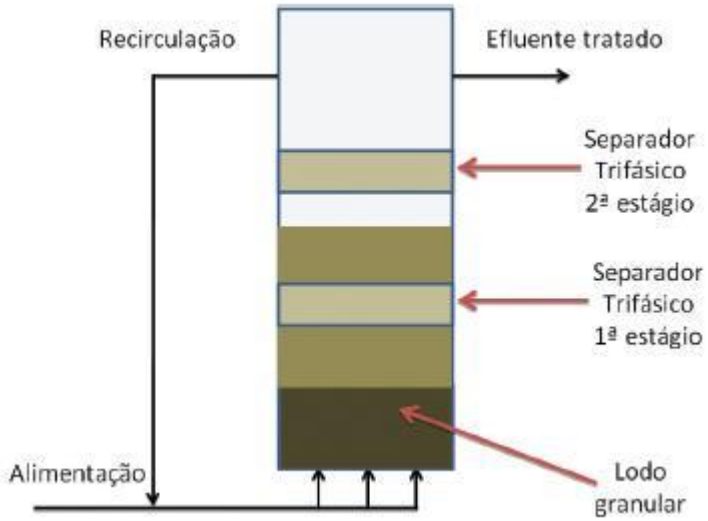


FIGURA 10: Esquema de funcionamento do reator IC. (In: Revista TAE especializada em tratamento de Agua & Efluentes, p.41).

Segundo Reinold (1997) após realizar o tratamento anaeróbico dos efluentes com elevadas cargas até atingir uma carga reduzida, ainda é superior ao permitido para lançamento em cursos d'água, necessitando de um tratamento aeróbico no final.

O sistema aeróbio é de operação mais simples, versátil (flexível), pode-se estender o efeito de degradação (limpeza) e possui boa segurança operacional. As vantagens do tratamento anaeróbio estão no baixo consumo de energia e na pequena geração de lodo excedente, em comparação com o tratamento aeróbio.

Segundo Reinold (2015):

> Os novos sistemas aeróbios utilizam suportes plásticos que suportam o crescimento biológico. Estes meios podem ser lâminas rotativas como no contator biológico rotativo, material de suporte autoportante como nas biotorres ou material de baixa densidade mantido em suspensão por movimentação de fluido (sistemas de leito fluido).
> Todos necessitam de menos espaço do que os sistemas convencionais de lodo ativado, por promoverem um contato mais eficiente entre a água de efluente e o lodo. No contator biológico rotativo uma série de lâminas plásticas são montadas num eixo. As lâminas pouco espaçadas entre si (cerca de 20 mm), giram na água de efluente a cerca de 1,5 R.P.M. e permanecem 40% submersas. O crescimento biológico nas lâminas degrada o efluente e é aerado quando as lâminas emergem da água. O excesso de biomassa formada é arrastado pelo efluente para um clarificador. A biotorre é basicamente um leito envolto com material plástico com elevada área de superfície específica e porosidade. A biomassa cresce como um fino filme no revestimento enquanto que a água de efluente flui sobre a biomassa. A água de efluente é normalmente reciclada para obter um fluxo suficiente para um umedecimento uniforme. Odores desagradáveis pode ser um problema nestes sistemas.
> O excesso de lodo é recuperado diretamente por meio de remoção mecânica do tanque das esponjas carregadas de lodo, seu esvaziamento e retorno para o tanque. Outro novo sistema aeróbio que requer uma pequena área de terra é o sistema de poço profundo aeróbio, que opera com sucesso em uma cervejaria canadense. Neste processo, a água de efluente é colocada em contato com biomassa e ar comprimido em um poço subterrâneo com 152 metros de profundidade, que promove uma oxidação biológica acelerada. O sistema de tratamento aeróbio é de operação mais simples, versátil (é flexível), pode-se estender o efeito de degradação (limpeza) e possui boa segurança operacional.

8.1. TRATAMENTO DO LODO

Segundo Reinold (1997) o manuseio e desidratação é uma das etapas mais caras no tratamento de efluentes líquidos, devido ao tratamento aeróbico produzirem grandes quantidades de lodo, devendo ser desidratado para reduzir seu custo com transporte, e com energia caso ele seja queimado, pode ser também utilizado como fertilizantes conforme testes realizados na década de 80 nos Estados Unidos.

9 ANÁLISES E PARÂMETROS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES.

A resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA aborda as seguintes condições para lançamento de efluentes:

No Art. 28. Os efluentes não poderão conferir ao corpo de água características em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e finais, do seu enquadramento.

No Art. 34. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis onde o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente (ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente).

As condições de lançamento de efluentes: o pH entre 5 a 9; temperatura inferior a 40° C, não excedendo uma variação de 3° C na zona de mistura; materiais sedimentares até 1 ml/L em teste em cone Imhoff. Para lançamento em lagos ou lagoas cuja circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentares deverão estar virtualmente ausentes, a vazão de lançamento devera ser no máximo 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitido pela autoridade competente; óleos minerais até 20 mg/L; óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L, e deve estar ausente de materiais flutuantes.

A Tabela 3 ilustra uma tabela de lançamento de efluentes:

LANÇAMENTO DE EFLUENTES	
PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	**VALOR MÁXIMO**
Arsênio total	0,5 mg/l As
Bário total	5,0 mg/l Ba
Boro total	5,0 mg/l B
Cádmio total	0,2 mg/l Cd
Chumbo total	0,5 mg/l Pb
Cianeto total	0,2 mg/l CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/l Cu
Cromo total	0,5 mg/l Cr
Estanho total	4,0 mg/l Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/l Fe
Fluoreto total	10,0 mg/l F
Manganês dissolvido	1,0 mg/l Mn
Mercúrio total	0,01 mg/l Hg
Níquel total	2,0 mg/l Ni
Nitrogênio amoniacal	Total 20,0 mg/l N
Prata total	0,1 mg/l Ag
Selênio total	0,30 mg/l Se
Sulfeto	1,0 mg/l S
Zinco total	5,0 mg/l Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	**VALOR MÁXIMO**
Cloroformio	1,0 mg/l
Dicloroetano	1,0 mg/l
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4- aminoantipirina)	0,5 mg/l C_6H_5OH
Tetracloreto de carbono	1,0 mg/l
Tricloroetano	1,0 mg/l

TABELA 3: Padrões de lançamento de efluente. (In: Relatório de Qualidade das Águas Superficiais | Anexo A – Legislações CETESB).

Segundo o DECRETO N.º 8.468, DE 8 DE SETEMBRO DE 1976 que Aprova o Regulamento da Lei n.° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente:

No título II Da Poluição das Águas, no capítulo I sobre a Classificação das Águas relata que:

Artigo 7.º — As águas interiores situadas no território do Estado, para os efeitos deste regulamento, serão classificadas segundo os seguintes usos preponderantes:

As Águas de classe II são águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho);

No capitulo II, dos padrões, na seção I, dos padrões de qualidade diz que:

Artigo 11 — Nas Águas de Classe 2 não poderão ser lançados efluentes, mesmo tratado, que prejudiquem sua qualidade pela alteração dos seguintes parâmetros ou valores.

I — virtualmente ausentes:

a) materiais flutuantes inclusive espumas não naturais;

b) substâncias solúveis em hexana;

c) substâncias que comuniquem gosto ou odor;

d) no caso de substâncias potencialmente prejudiciais, até os limites máximos abaixo relacionados:

A Tabela 4 ilustra lançamento de efluentes nas águas de classe II.

LANÇAMENTO DE EFLUENTES NAS ÁGUAS DE CLASSE II	
PADRÕES	
PARÂMETROS INORGANICOS	**VALOR MÁXIMO**
Amônia	0,5 mg/l de N
Arsênico	0,1 mg/l
Bário	1,0 mg/l
Cádmio	0,01 mg/l
Cromo (total)	0,05 mg/l
Cianeto	0,2 mg/l
Cobre	1,0 mg/l
Chumbo	0,1 mg/l
Estanho	2,0 mg/l
Fenóis	0,005 mg/l
Flúor	1,4 mg/l
Mercúrio	0,002 mg/l
Nitrato	10,0 mg/l de N
Nitrito	1,0 mg/l de N
Selênio	0,01 mg/l
Zinco	5,0 mg/l

TABELA 4: Lançamento de efluentes nas águas de classe II. (In: Decreto n.º 8.468, de 8 de setembro de 1976).

II — Proibição de presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

III — Número Mais Provável (NMP) de coliformes até 5.000 (cinco mil), sendo 1.000 (mil) o limite para os de origem fecal, em 100 ml (cem mililitros), para 80% (oitenta por cento) de, pelo menos, 5 (cinco) amostras colhidas, num período de até 5 (cinco) semanas consecutivas;

IV — Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em 5 (cinco) dias, a 20°C (vinte graus Celsius) em qualquer amostra, até 5 mg/l (cinco miligramas por litro);

V — Oxigênio Dissolvido (OD), em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/l (cinco miligramas por litro).

10 FITORREMEDIAÇÃO.

Segundo Garcia (2015) a fitorremediação é uma tecnologia onde se usa plantas para minimizar poluentes do meio ambiente. Auxiliam na remoção de contaminantes como metais, pesticidas e até óleos do ambiente ou local degradado, ajudando para que os mesmos não sejam levados para outros lugares por chuva, vento. O termo fitorremediação (*phyto*=plantas) é muito recente, sendo surgido na década de 1990.

Segundo Dinard et al. (2003) a fitorremediação pode ser classificada de acordo com a técnica a ser empregada, de sua natureza química ou do poluente podendo ser dividida em:

10.1 FITOEXTRAÇÃO:

É a capacidade da planta de remover contaminantes do solo, armazenando em suas raízes, ou em outros tecidos (folhas, caule), É aplicada principalmente para metais (Cd, Ni, Cu, Zn, Pb) podendo ser usada também para outros compostos. Estima-se que a fitoextração possa reduzir a concentração de contaminantes a níveis aceitáveis num período de 3 a 20 anos.

A Figura 11 ilustra esquema de mecanismos de plantas hiperacumuladoras:

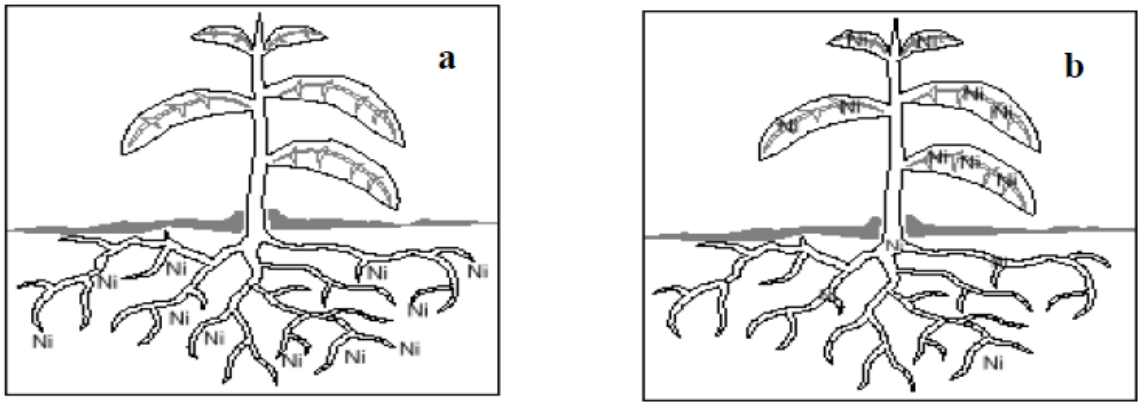


FIGURA 11: esquema de mecanismos de plantas hiperacumuladoras: (a) contaminantes no solo. (b) contaminantes absorvidos pela planta. (In: Dinard et al., 2003, p. 3).

10.2 FITOESTABILIZAÇÃO:

É a capacidade de a planta reter os contaminantes orgânicos e inorgânicos do solo através de imobilização, lignificação ou umidificação dos poluentes no seu tecido vegetal com objetivo de evitar a mobilização do contaminante, e limitar sua difusão no solo.

10.3 FITOESTIMULAÇÃO/ RISODEGRADAÇÃO:

Sua aplicação limita-se aos contaminantes orgânicos onde a planta estimula a proliferação de microrganismos de gradativos na rizosfera para a biodegradação microbiana de contaminantes presentes no solo e na água, utilizando os metabólicos exudados da planta como fonte de carbono e energia. Podendo também a própria planta secretar enzimas de gradativas.

10.4 FITOVOLATILIZAÇÃO:

Alguns íons como selênio, arsênio, mercúrio, são absorvidos pelas raízes das plantas e convertido em formas não toxicas e liberados na atmosfera, esse mecanismo também é empregado para compostos orgânicos.

10.5 FITODEGRADAÇÃO:

Os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas.

10.6 RIZOFILTRAÇÃO:

É o uso de plantas terrestres para absorver, concentrar ou precipitar contaminantes (particularmente metais pesados e radioativos) de um meio aquoso por meio do seu sistema radicular.

10.7 BARREIRAS HIDRÁULICAS:

Utilização de árvores de grande porte, com longas raízes capazes de absorver água do subsolo ou lençóis aquáticos subterrâneos a qual é evaporada pelas folhas. Os contaminantes presentes na água são metabolizados pelas enzimas da planta sendo evaporado junto com a água ou retido nos tecidos vegetais.

10.8 CAPAS VEGETATIVAS:

Uso de capins ou árvores sobre aterros sanitários, usados para minimizar o efeito da chuva, disseminação dos resíduos poluentes. As raízes incrementam a aeração do solo favorecendo a biodegradação, evaporação e transpiração.

10.9 AÇUDES ARTIFICIAIS:

São ecossistemas formados por solos orgânicos, microrganismos, algas e plantas aquáticas que trabalham em conjunto através de ações combinadas de filtração, troca iônica, absorção e precipitação para o tratamento dos efluentes.

A Figura 12 ilustra mecanismo utilizado pelas plantas no processo de fitorremediação:

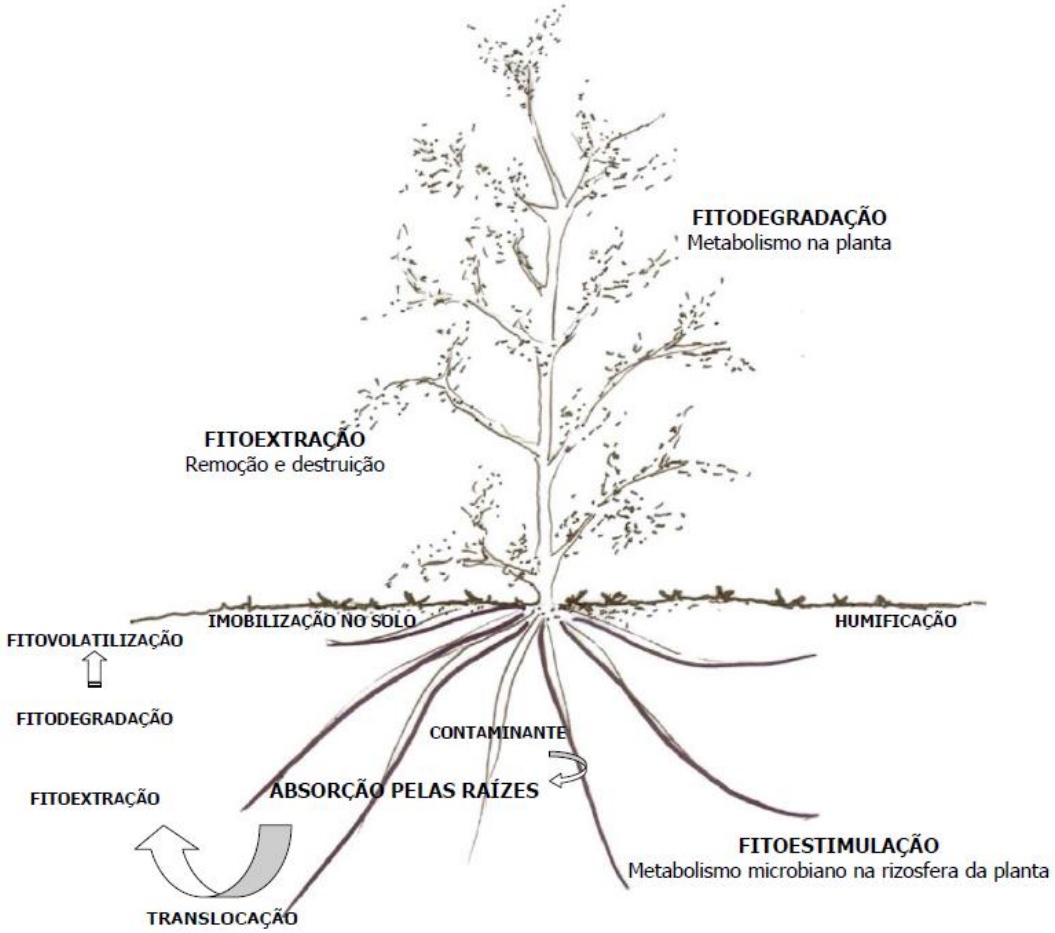


FIGURA 12: Mecanismo utilizado pelas plantas no processo de fitorremediação. (In: Tavares 2009 apud Andrade et al., 2007).

A Tabela 5 mostra a importância da fitorremediação nos dias de hoje:

IMPORTÂNCIA DA FITORREMEDIAÇÃO NOS DIAS DE HOJE	
Um investimento de capital e operacional de baixo custo por usar a luz solar como fonte de energia.	Aplicado *in situ* sendo que o solo pode ser posteriormente reutilizado;
Aplicado a uma grande variedade de poluentes, podendo remediar vários poluentes ao mesmo tempo, incluindo metais pesados, pesticidas e hidrocarbonetos;	Esteticamente bem aceita pela sociedade, não alterando bruscamente o meio ambiente comparado a outras tecnologias, pois evita tráfego pesado e escavações;
Fácil monitoramento, pois plantas são mais fáceis de monitorar do que microrganismo, além de muitas plantas serem capazes de se desenvolver em lugares com altos contaminantes tóxicos que microrganismos não sobrevivem;	Responsável pela melhoria da qualidade do solo nas suas características físicas e químicas, além de aumenta a porosidade do solo, a infiltração de água, além de fornecerem e reciclar nutrientes, além da prevenção da erosão.
Aplicado em grandes áreas onde outras tecnologias não se aplicam;	

Tabela 5- Importância da fitorremediação nos dias de hoje.

11 AGUAPÉ

O aguapé, *Eichornia crassipes* é uma monocotiledônea que pertence a família dos *pontederiáceos*, é constituída de cerca de 95% de água, constituído de raízes, rizomas, estolões, pecíolos, folhas e inflorescência. Pode atingir até cerca de um metro, suas raízes são fibrosas, sem ramificação com uma coifa conspícua, podendo ser suspensa e livre na água ou fixas em águas rasas (PERAZZA et al., 1981).

Sua reprodução pode ocorrer por estolões, caules que crescem lateralmente a partir dos rizomas, ou então sexualmente por meio de sementes, embora a planta floresça quase o ano todo não a liberação de semente até a estação fria, além de o aguapé ter grande capacidade regenerativa, se quebrado ou triturado o rizoma pode regenerar uma nova planta isto dependendo do tamanho do fragmento do rizoma, devido a essa grande capacidade de multiplicação uma planta pode se duplicar em duas semanas, podendo ser um problema com crescimento desordenado podendo prejudicar atividades marítimas (PERAZZA et al., 1981).

O uso de macrófitas aquáticas na recuperação de ambientes aquáticos tem ganhado bastante destaque pelo mundo. Isto pode ser constatado pelos inúmeros trabalhos encontrados na literatura.

As plantas de aguapé são utilizadas para diferentes fins, Obeid (1975) abordou a utilização do aguapé como adubo (simples ou em mistura com produtos químicos ou estrume), forage, matéria prima para indústria (de papel e plástico), fonte de proteínas, e como fonte de gás e álcool combustível. Na remoção do composto orgânico bisfenol Gattullo et al (2012). Na remoção de íons de Fe, Zn, Cu, Cr e Cd Misha e Tripathi (2008). Na remoção de metais pesados e tratamento de efluentes industriais Wolverton & Mc Donald (1975). Também pode ser utilizada para produção de bio- óleo e bio- fertilizantes Buller (2012).

A Figura 13 ilustra o aguapé *Eichornia crassipes:*

FIGURA 13: *Eichornia crassipes*. (In: www.discoverlife.org).

12 O TEMA FITORREMEDIAÇÃO COMO FERRAMENTA INTERDICIPLINAR NO ENSINO MÉDIO.

A apresentação dos conteudos relacionadas às Ciências Naturais durante o Ensino Médio ocorre de forma fragmentada, tornando- as disciplinas isoladas. Prejudicando temas como questões ambientais e os problemas de saúde que tem a necessidade de combinar conhecimentos de diferentes disciplinas (CORREIA, et al., 2003).

A adoção de uma abordagem interdisciplinar pode ser considerada uma maneira de superar a fragmentação do conhecimento, evitando uma visão reducionista, permitindo utilizar assuntos mais interessantes para contextualizar as aulas, favorecendo a integração de conteudos e expondo o aluno á complexidade do processo de geração de conhecimento, tornando mais significativa a aprendizagem dos conceitos científicos (CORREIA, et al., 2003).

Os conteúdos abordados na disciplina de Química permite uma grande interação com outras disciplinas do Ensino Médio. Algumas discussões interdisciplinares podem ser promovidas apartir de temas de grande relevância, com a utilização de plantas para redução de ions metalicos e substâncias prejudicias ao homem (fitorremediação) nos solos e rios que envolvem reações químicas, processos bioquímicos e fotossintese que é um nicho interdisciplinar que pode ser estabelecido entre a Biologia e a Química. No entanto ocorrem superficialmente no Ensino Médio devido à falta de aulas interdisciplinares.

A fitorremediação pode ser uma boa forma de estabelecer discussões bioquímicas no Ensino Médio. A utilização de temas que promovem o uso de materiais junto com aulas praticas é essencial para que o aluno possa ter um conhecimento mais abrangente, e assim facilitando sua compreenção.

12.1 ATIVIDADES

A apresentação das atividades relacionadas à fitorremediação pode ser aplicada em

três momentos diferentes:

12.1.1 Leitura e discussão de texto

A introdução teórica sobre fitorremediação pode ser feita por meio de texto e discussão. Os conceitos químicos e biológicos necessários para a compreensão dos experimentos devem ser abordados no texto, desta maneira os conhecimentos interdisciplinares podem ser progressivamente integrados aos alunos:

Segundo Garcia (2015) a fitorremediação é uma tecnologia onde se usa plantas para minimizar poluentes do meio ambiente. Auxiliam na remoção de contaminantes como metais, pesticidas e até óleos do ambiente ou local degradado, ajudando para que os mesmos não sejam levados para outros lugares por chuva, vento. O termo fitorremediação (phyto=plantas) é muito recente, sendo surgido na década de 1990.

Esse porcesso de fitorremediação só é possivel devido a um processo que as plantas realizam denominado fotossíntese, onde água e os sais minerais são retirados do solo através da raiz da planta e chega até as folhas pelo caule em forma de seiva, denominada seiva bruta. A luz do sol, por sua vez também é absorvida pela folha, através da clorofila, substância que dá a coloração verde das folhas. Então a clorofila e a energia solar transformam os outros ingredientes em glicose. Essa substância é conduzida ao longo dos canais existentes na planta para todas as partes do vegetal. Ela utiliza parte desse alimento para viver e crescer; a outra parte fica armazenada na raiz, caule e sementes, sob a forma de amido.

A fotossíntese por ser resumida pela seguinte reação:

$$6CO_2(g) + 6\ H_2O(l) + \text{luz solar} \longrightarrow C_6H_{12}O_6(aq) + 6O_2(g)$$

Sendo assim a fotossíntese também desempenha outro importante papel na natureza: a purificação do ar, pois retira o gás carbônico liberado na nossa respiração ou na queima de combustíveis, como a gasolina, e ao final, libera oxigênio para a atmosfera.

Um exemplo de planta que pode realizar esse processo de fitorremediação é o

aguapé *Eichornia crassipes,* ao invez de ser uma planta de solo, ela é uma planta aguatica, e a muitas pesquisas sobre sua capacidade de fitorremediação em rios.

O aguapé, *Eichornia crassipes* é uma monocotiledônea que pertence a família dos *pontederiáceos*, é constituída de cerca de 95% de água, constituído de raízes, rizomas, estolões, pecíolos, folhas e inflorescência. Pode atingir até cerca de um metro, suas raízes são fibrosas, sem ramificação com uma coifa conspícua, podendo ser suspensa e livre na água ou fixas em águas rasas (PERAZZA et al., 1981).

Sua reprodução pode ocorrer por estolões, caules que crescem lateralmente a partir dos rizomas, ou então sexualmente por meio de sementes, embora a planta floresça quase o ano todo, não a liberação de semente até a estação fria, além de o aguapé ter grande capacidade regenerativa, se quebrado ou triturado o rizoma pode regenerar uma nova planta isto dependendo do tamanho do fragmento do rizoma, devido a essa grande capacidade de multiplicação uma planta pode se duplicar em duas semanas, podendo ser um problema com crescimento desordenado podendo prejudicar atividades marítimas (PERAZZA et al., 1981).

12.1.2 Realização de experimentos

Os conhecimentos teóricos transmitidos em sala de aula estão disponíveis em livros, internet, porém, a prática apresentada para o aluno em sala de aula favorecerá em uma completa compreenssão do assunto abordado.

Na parte experimental um roteiro contendo a descrição das atividades programadas e as informações necessárias devem ser previamente distribuídas entre os alunos.

12.1.3 Aula experimental

Para esse experimento será utilizado duas bacias de pequeno volume aproximadamente 5 litros, aguapé *Eichornia crassipes* coletado em um rio ou lago que contenha aguapé.

Serão colocados aproximadamente 5 litros de água em cada bacia, será colocado o aguapé nas duas bacias, uma bacia será colocada na presença da luz solar e a outra em um local sem a presença da luz solar, será observada dia a dia o que está acontecendo com o aguapé, e relatado no questionario elaborado pelo professor.

Utilizando o aguapé *Eichornia crassipes* o professor terá a oportunidade de transmitir aos alunos a forma de reprodução do aguapé, reação de fotossíntese.

12.1.4 Materiais

- Aguapé *Eichornia crassipes*;

-Bacia de 5 litros;

- Água

12.2 AVALIAÇÃO ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS

Será entregue um questionario aos alunos com perguntas referentes ao experimento e o conteúdo abordado.

13 MATERIAIS E METODOS

13.1 MATERIAIS

- Balão volumetrico 100 ml
- Bastão de vidro
- Bastão magnético (peixinho)
- Base para inserir NaOH
- Becker 1000 ml
- Bureta
- Bloco digestor (Dry Block TECNAL 021)
- HCl de baixa molaridade
- Inibidor de nitrificação N- aliltiouréia
- NaOH de baixa molaridade
- NaOH em escamas ou pastilhas
- Oxitop (Is12)
- pH metro. (Técnopon modelo mPa- 210).
- Pipetas volumetricas 5, 25, 50 ml.
- Pipetas graduadas
- Piceta
- Proveta
- Solução digestora
- Solução catalítica
- Suporte para tubos de ensaio
- Tubos de ensaio
- Tubos de Duran

13.2 MÉTODOS

13.2.1 Coleta do efluente

Foram coletados 80 litros de efluente em uma cervejaria na região de Assis- SP, em quatro dias, divididos em quatro alíquotas por dia a cada seis horas para uma amostragem mais uniforme, os experimentos físicos-químicos foram propostos para serem feitos a cada quatro dias, num total de dezessete dias do efluente na presença do aguapé *Eichornia crassipes.*

13.2.2 Preparo dos materiais e meio de cultura

Foram colocados 26 litros de efluente em dois tambores (amostra em duplicata) cortados em vertical, colocado a mesma quantidade de aguapé em cada efluente.

As amostras em duplicata foram nomeadas como efluente 1 e efluente 2 para lançamento de dados.

A Figura 14 mostra como foram dispostas os meios de cultura:

FIGURA 14: Meios de cultura aguapé (duplicata com efluente).

O meio de cultura foi coberto com sombrite utilizados em estufas de mudas nos dias de chuva para não sofrer interferencia da água da chuva.

13.2.3 Cálculos

Para os cálculos de DBO utilizou- se a seguinte equação:

Valor da tabela de diluição x multiplo na tabela de diluição = resultado em ppm

Exemplo: no efluente inicial na diluição para 0 a 2000 ppm a leitura deu 20ppm então:

20ppm x 50 (multiplo da diluição 0/2000 ppm)= 1000 ppm.

Para os cálculos de DQO utilizou- se a seguinte equação:

Onde:

DQO= Demanda química de oxigênio em mg/l O_2

V_2= ml $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ gastos para titular a prova em branco

V_1= ml $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ gastos para titular a amostra

N= normalidade da solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

1,0025= fator de correção sulfato ferroso.

$$DQO = \left\{\frac{(V2-V1)*N*8000}{ml\ amostra}\right\} * 1{,}0025$$

Calculando a amostra inicial

$$DQO = \left\{\frac{(8{,}4-7{,}4)*0{,}25*8000}{1\ ml}\right\} * 1{,}0025 = \ 2606{,}5\ \text{ppm}$$

13.2.4 Análise de DBO

As análises de DBO foram feitas de acordo com a APHA (2005) seguindo o seguinte procedimento:

Foram coletados 1000 ml da amostra, corrigido seu pH na faixa de 6,8 a 7,2 com NaOH ou HCl, após a correção foram adicionados 2 ml de N- aliltiouréia, e tranferidos para o ambar escuro com o volume de acordo com a tabela de diluição. Foi colocado o agitador magnético, inserido o NaOH no suporte e o sistema foi tampado com Oxitop®, ligado e armazenado na incubadora a 20° C por 5 dias.

A Figura 15 ilustra os efluentes na incubadora:

FIGURA 15: Método de análises de DBO.

13.2.5 Análise de DQO

As análises de DQO foram feitas de acordo com a CETESB L5. 121 DE 1994, seguindo o seguinte procedimento:

Foram feitas duas diluições dos efluentes na proporção de 1/20; 1/50; dessas diluições foram retirados 20 ml e adicionado 10 ml de solução digestora faixa alta e 30 ml de solução catalítica, o mesmo foi realizado com 20 ml de água destilada para produzir a amostra padrão (branco) em seguida foram aquecidas no bloco digestor com refluxo a 150°C por duas horas.

Após o aquecimento essas amostras foram resfriadas e adicionadas 40 ml de água destilada, 8 gotas de indicador de ferroim e tituladas com solução de sulfato ferroso.

A Figura 16 ilustra a titulação do efluente após seu aquecimento com os reagentes no bloco digestor com refluxo.

FIGURA 16: Titulação do efluente após reações e aquecimento.

14 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos foram realizados num periodo de dezessete dias, com análises num intervalo de quatro em quatro dais, na presença de luz solar constante, alguns dias chuvosos, mas o meio foi coberto com sombrite utilizados em estufas de mudas nos dias de chuva para não sofrer interferencia da água da chuva.

14.1 Resultados das analises de DBO

Os resultados das análises de DBO são mostradas na tabela 6 e figura 17.
A tabela 6 mostra os resultados obtidos nas analises de DBO.

Data das Análises	**Efluente inicial (ppm)**	**Efluente 1 (ppm)**		**Efluente 2 (ppm)**	
Diluição para leitura	0 a 2000	0 a 800	0 a 2000	0 a 800	0 a 2000
Dia 01/09/15	1000	x	x	x	x
Dia 04/09/15	x	780	800	790	820
Dia 08/09/15	x	640	700	600	650
Dia 11/09/15	x	500	450	550	600
Dia 14/09/15	x	180	200	160	150
Dia 17/09/15	x	190	250	190	200

Tabela 6: Resultados das análises de DBO.

A Figura 17 ilustra um gráfico com resutados final da DBO.

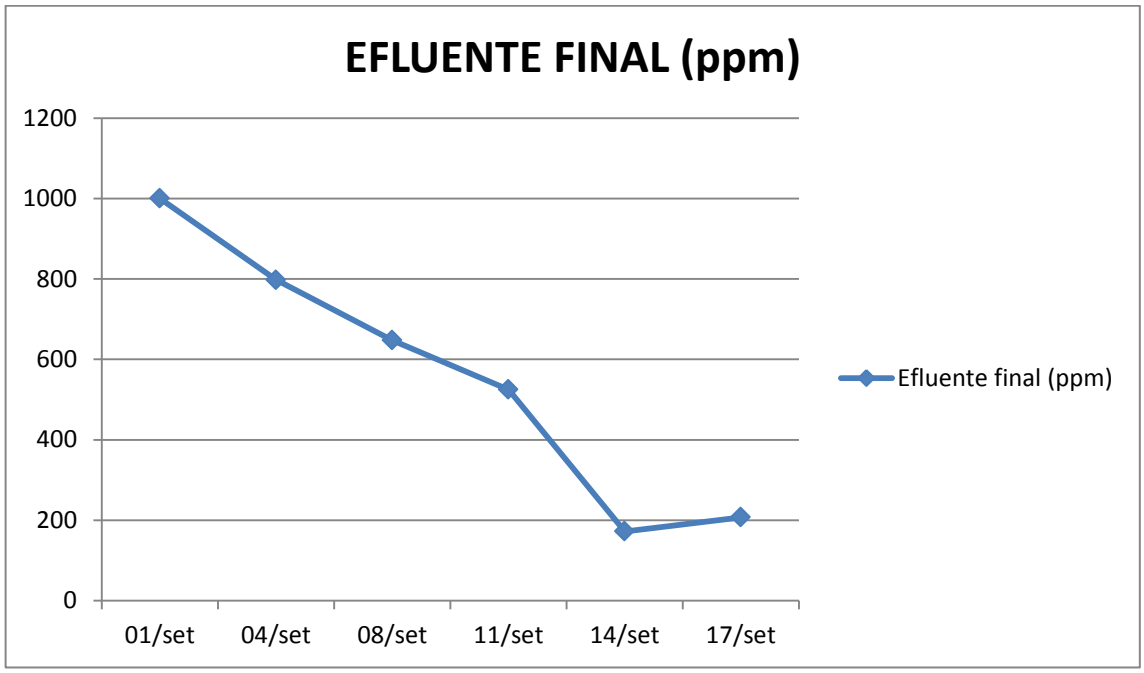


FIGURA 17: Resultados em ppm da DBO.

Os resultados apresentados na figura 17 mostram os valores de uma média aritmética entre as leituras de DBO de 0 a 800 ppm e 0 a 2000 ppm no método Oxitop® do efluente 1 e 2 por serem amostras em duplicata.

Houve um aumento no valor da DBO na análise do dia 17 em relação á análise anterior, essa alteração pode se dar devido ao dia da coleta estar com uma pequena quantidade de efluente no galão com o meio de cultura, devido a evaporação desse efluente e o consumo do mesmo pelo aguapé, tendo assim um maior número de matéria orgânica no meio analisado.

Além do aguapé existem outros fatores que foram responsáveis pela degradação da matéria orgânica nesse efluente, como a fotodegradação que é a decomposição da matéria orgânica pela ação da luz solar, a ação de bactérias anaeróbicas que degradam a matéria orgânica em efluentes com ausência de oxigênio, e a medida que essa matéria orgânica é consumida aumenta a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) no meio favorecendo a ação de bactérias aeróbicas, todos esses

mecanismos de degradação ocorreram no meio de cultura auxiliando o aguapé na degradação da matéria orgânica.

Os resultados obtidos nas análises de DBO mostram que o aguapé foi eficiente na remoção de compostos orgânicos. Conforme citado por Wolverton & Mc Donald (1975) onde efetuaram experimentos para determinar o valor do aguapé como agente filtrador biológico na remoção de metais pesados e compostos orgânicos, os resultados demostraram que o aguapé foi eficiente na remoção de matéria orgânica.

O efluente aqui apresentado é lançado no Rio Jacu, esse rio é classificado como um rio de classe II e de acordo com o DECRETO N.º 8.468, DE 8 DE SETEMBRO DE 1976 que Aprova o Regulamento da Lei n.° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, no Artigo 11 diz que Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em 5 (cinco) dias, a 20°C (vinte graus Celsius) em qualquer amostra, até 5 mg/l (cinco miligramas por litro); nas condições do experimento os resultados obtidos apesar de ter uma queda consideravel não atingiu os valores que a legislação pede, sendo assim necessário melhorias na parte experimental como aumentar o número de plantas de aguapé, colocar um mecanismo de recirculação para circular o efluente aumentando seu oxigênio dissolvido favarecendo a degradação por bactérias aerôbicas, auxiliando o aguapé na degradação da matéria orgânica.

14.2 Resultado das análises de DQO

Os resultados das análises de DBO são mostradas na tabela 7 e figura 18.

A tabela 7 mostra os resultados obtidos nas análises de DQO.

Data das Análises	Efluente inicial (ppm)	Efluente 1 (ppm)	Efluente 2 (ppm)
Dia 01/09/15	2605,5	x	x
Dia 04/09/15	X	1403,50	1604
Dia 08/09/15	X	1500	1400
Dia 11/09/15	X	1200	1250
Dia 14/09/15	X	500	450
Dia 17/09/15	X	450	400

TABELA 7: Resultado das análises de DQO.

A Figura 18 ilustra a análise de DQO final.

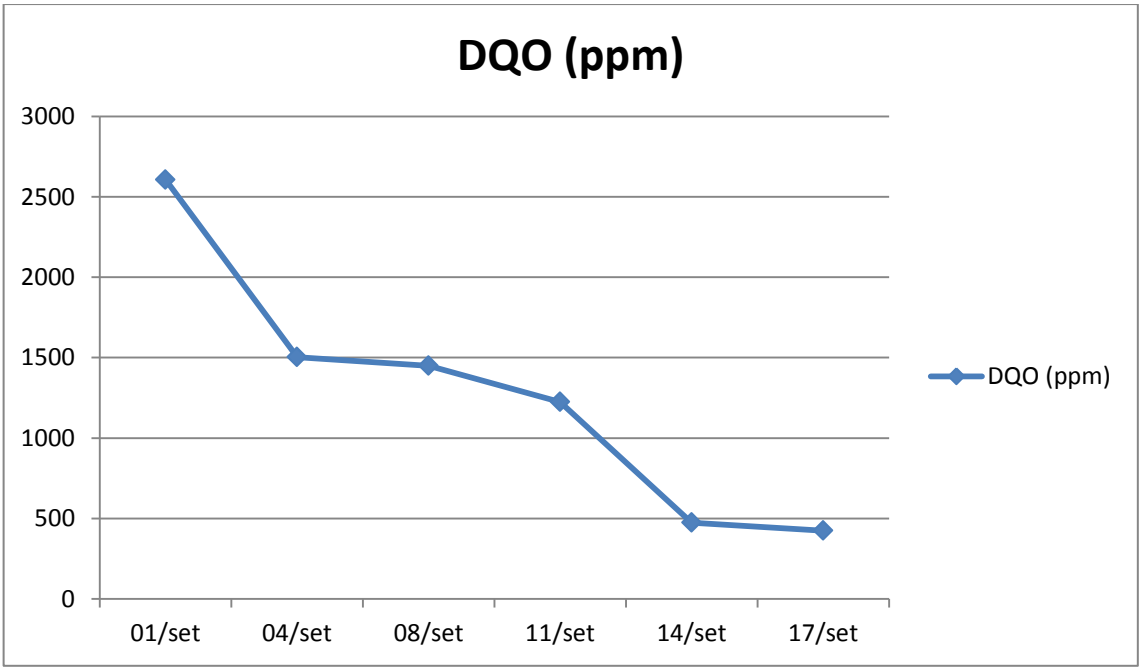


FIGURA 18: Resultados em ppm da DQO final.

Os valores apresentados na figura 18 mostram os valores de uma média aritmética entre as leituras de DQO realizadas no método L5. 121 de 1944 da CETESB do efluente 1 e 2 por serem amostras em duplicata.

Os resultados do dia 4 de setembro e 8 de setembro houve pequena queda, mas não houve nenhum fator que interferisse nesses resultados, já no dia dezessete houve uma pequena queda em relação ao anterior, podendo ser devido ao mesmo fator que interferiu na DBO baixa quantidade de efluente no meio resultando em maior quantidade de matéria orgânica.

Além do aguapé existem outros fatores que foram responsáveis pela degradação da matéria orgânica nesse efluente, como a fotodegradação que é a decomposição da matéria orgânica pela ação da luz solar, a ação de bactérias anaeróbicas que degradam a matéria orgânica em efluentes com ausência de oxigênio, e a medida que essa matéria orgânica é consumida aumenta a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) no meio favorecendo a ação de bactérias aeróbicas, todos esses mecanismos de degradação ocorreram no meio de cultura auxiliando o aguapé na degradação da matéria orgânica.

Os resultados obtidos nas análises de DQO mostram que o aguapé foi eficiente na remoção de compostos orgânicos. Conforme citado por Wolverton & Mc Donald (1975) onde efetuaram experimentos para determinar o valor do aguapé como agente filtrador biológico na remoção de metais pesados e compostos orgânicos, os resultados demostraram que o aguapé foi eficiente na remoção de matéria orgânica.

Nas condições do experimento os resultados obtidos apesar de ter uma queda consideravel pode ser reduzido a valores mais baixos sendo assim necessário melhorias na parte experimental como aumentar o número de plantas de aguapé, colocar um mecanismo de recirculação para circular o efluente aumentando seu oxigênio dissolvido favarecendo a degradação por bactérias aerôbicas, auxiliando o aguapé na degradação da matéria orgânica.

15 CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos e discutidos e o objetivo deste trabalho em verificar a capacidade de diminuição do teor de matéria orgânica do efluente de cervejaria utilizando o aguapé *Eichornia crassipes* e os jabordados em outros trabalhos podemos concluir que a utilização de plantas (fitorremediação) para tratamento de efluentes neste caso o aguapé *Eichornia crassipes* mostrou ser um método de tratamento de efluente bem efetivo, em poucos dias teve uma redução considerável de matéria orgânica no efluente, álem de ser um método de baixo custo e fácil aplicação, e com uma grande velocidade de reprodução do aguapé, tornando possível a renovação das plantas doentes por sadias e o excedente utilizados em outros processos industriais como adubo, ração animal, celulose.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA E SILVA, J.B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W.G. (Coord.) **Tecnologia de bebidas**: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgard Blücher, 2005, cap. 15, p. 347-382.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 20. ed. Washington: American Public Health Association; AWWA; WPCF, 2005. 1569 p.

BERENHAUSER, A.H.T. **Fabricação de cervejas e refrigerantes: Tratamento de efluentes.** 1999. 50p. Dissertação (mestrado em Caracterização e Tratamento de Despejos Industriais). 1999.

BRASIL. Casa Civil. **Decreto N°6.871, de 4 de julho de 2009: "Regulamenta a lei 8.918,de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação , o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas".** Brasília, DOU: Diário Oficial da União, 2009.

BRASIL. Receita Federal. **Decreto N°28.323, de setembro de 2005. "Dispõe sobre a substituição tributaria do ICMS nas operações com cerveja, chope, refrigerantes, xarope ou extratos destinados ao preparo de refrigerantes e água mineral ou potável, e introduz alterações na Consolidação da Legislação Tributaria do Estado".** Pernambuco, DOE: Diário Oficial do Estado, 2005.

BULLER, Luz Selene. **Modelagem sistêmica do ciclo de vida do aguapé no pantanal e analise do uso desta biomassa para a produção de bio- óleo e bio-fertilizante.** 2012. 150p. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia de Alimentos- Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Campinas, 2012.

CAMARGO, Renata Campolim. **Avaliação do potencial poluidor dos efluentes gerados em processo de fabricação de cervejas.** 2012. 98p. Programa de Pós

Graduação em Tecnologia Ambiental- Centro de Ciências exatas, Naturais e Tecnológicas – Universidade de Ribeirão Preto, São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

CETESB. Anexo A Legislações. In: **Relatório de qualidade das águas superficiais.** Palácio dos Bandeirantes, São Paulo, 2005, 167p.

COUTINHO, H. D; BARBOSA, A. R. **Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização**. Silva Lusitana, 2007.

CUNNINGHAM, S. D; ANDERSON, T. A; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron**. 1996.

CURI, Roberto Abdallah. **Produção de cerveja usando cevada como adjunto de malte.** 2006. 123p. Tese (DOUTORADO)- Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, São Paulo, Botucatu, 2006.

DINARD, Ana Ligia; FORMAGI, Vanessa Moraes; CONEGLIAN, Cassiana M. R.; BRITO, Nubia Natalia; SOBRINHO, Geraldo Dragoni; TONSO, Sandro; PELEGRINI, Ronaldo. **Fitorremediação.** Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET)-UNICAMP. Curso de tecnologia em saneamento ambiental. Disponível em: <http://www.universoambiental.com.br/AGUA/Imagens_Arq/fito.pdf>. Acesso em: 30 jun.2015.

FILHO, José Amaro; SANTOS, André Felipe de Melo Sales; BAHÉ, Jackeline Maria Cardoso de França; GOBBI, Clarice Neffa; LINS, Gustavo Aveiro; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. Tratamento de efluentes da indústria de bebidas em reato anaeróbico de circulação interna (IC). **Revista Internacional de Ciências,** V.3, n° 1,Jan/ Jun, 2013,p. 1-89.

FREIRE, R. S. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo organocloradas**. Química Nova. 2000.

GARCIA, José Henrique. **Fitorremediação.** Infoescola Navegando e Aprendendo. Disponível em: <http://www.infoescola.com/meio-ambiente/fitorremediacao/>. Acesso em 10 jul. 2015.

GATTULLO, C. Eliana et al. Removal of biphenol a by the freshwater green alga monoraphidium braunni and the role of natural organic matter. **Science of the total environment,** v. 416, 2012, p. 501- 506.

GRANT, H.L. Lúpulo. In: BRODERICK, H.M. (Dir.) **El cervecero en la practica: um manual para la industria cervecera.** 2.ed, Lima: Editora Graficas SUR, 1977.

GAYLARD, C. C; BELLINASO, M. L; MANFIO, G. P. **Aspectos biológicos e técnicas da biorremediação de xenobióticos. Biotecnologia**, Ciência e Desenvolvimento. 2011.

HOUGH, J.S. **The biotechnology of malting and brewing**. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. 159p.

LEAL, I. G; ACCIOLY, A. M. de A; NASCIMENTO, C. W. A. do; FREIRE, M. B. G. dos S; MONTENEGRO, A. A. de A; FERREIRA, F. de L. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **R. Bras. Ci. Solo**. 2008.

LIMONS, R. da S. **Avaliação do Potencial de Utilização de Macrófita Aquática Seca *Salvinia sp.* No Tratamento de Efluentes de Fecularia**. Toledo: Unioeste. 2008.

MARTINS, V. G; KALIL, S. J; COSTA, J. A. V. **Co-produção de lipase e biossurfactante em estados sólido para utilização em biorremediação de óleos vegetais e hidrocarbonetos**. 2008.

MENEGHETTI, L. R. R. **Biorremediação na descontaminação de um solo residual de basalto contaminado com óleo diesel e diodiesel**. Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. 2007.

MARTINS, D., CARBONARI, C.A., TERRA, M.A. e MARCHI, S.R. AÇÃO DE ADJUVANTES NA ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE GLYPHOSATE EM PLANTAS DE AGUAPÉ (Eichhornia crassipes). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p. 155-163, 200

MEDEIROS, Rosalina M. L., SABAA SRUR Armando U. O; ROQUETTE Carmen. L; PINTO A. C. **Estudo da biomassa de aguapé, para a produção do seu concentrado protéico**. Instituto Nacional de Tecnologia – Divisão de Meio Ambiente – RJ, 2009.

MEGA, Francieli; NEVES, Etney; ANDRADE, José de. A produção da cerveja no Brasil. **Revista Citino,** v. 1, n° 1, out/dez, 2011, p. 1- 65.

MISHRA, V. K. ; TRIPATHI, B.D. Concurrent removal and accumulation of heavy metal by the three aquatic macrophytes. **Bioresourse Technology,** v. 99, 2008, p. 7091- 7097.

MOSSE, R. A.; CHAGAS, J. M.; TERRA, A. R. S. Utilização de aguapé em lagoas de maturação para remoção de algas e coliformes em efluentes de lagoas de estabilização. In: 8° Congresso Latino- americano de Microbiologia. 1979. Chile. **Resumo.** Chile, 1979.

NETO, Henrique Martins. Tratamento de efluentes na fabricação de bebidas. **Revista TAE Especializada em Tratamento de Água & Efluentes,** V. 3, n° 16, 2014, p. 1- 46.

OBEID, M., **Utilization of water hyacinth- Introduction. Aquatic weeds in the sudan, with special reference to water hyacinth.** Khartoum, sudam: Editora Nat. counc. Res., agric. Res., 1975.

OETTERER, Marilia; REGITANO D'ARCE, Marisa Aparecida Bismara; SPOTO, Marta Helena Fillet. **Fundamento de ciência e tecnologia de alimentos.** 1. Ed. Barueri: Editora Manole Ltda, 2006.

OETTERER, Marilia Oetterer. **Tecnologia de obtenção da cerveja.** Universidade de São Paulo. Escola superior de Agricultura "Luiz Queiroz" Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição. Disponível em: <www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/Tecnologia%20de%20obtencao%20cerveja.pdf > Acesso em: 02 jul. 2015.

PERAZZA, Maria Claudia D.; PEREIRA, Denise Navas; MARTINS, Maria Therezinha. Aguapé: Meios de controle e possibilidades de utilização. **Revista DAE,** v.1, n°. 125, jun., 1981, p. 1- 25.

PERKOVICH, B. S; ANDERSON, T. A; KRUGER, E. L; COATS, J.R. Enhanced mineralization of [^{14}C] atrazine in K. scoparia rhizosferic soil from a pesticide-contaminated site. **Pestic. Sci.** 1996.

QUÍMICA, Escola de Química. **Produção de cerveja.** Escola de Química/UFRJ. Disponível em: <http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/MaterialsuplementarcervejaUFRJ.pdf >Acesso em: 1 jul. 2015.

REINOLD, Matthias R. **Manual Prático de Cervejaria**, 1° edição. São Paulo: Editora ADEN, 1997.

REINOLD, Matthias Rembert Reinold. **Tipos de cerveja.** Matthias Reinold Tecnologia em Qualidade e Produtividade Ltda. Disponível em:< http://www.cervesia.com.br/tipos-de-cerveja.html>. Acesso em: 30 jun. 2015.

REINOLD, Matthias Rembert Reinold. **O Tratamento de efluentes na cervejaria.** Matthias Reinold Tecnologia em Qualidade e Produtividade Ltda. Disponível em:

< http://www.cervesia.com.br/tratamento-de-efluentes/18-o-tratamento-de-efluentes-na-cervejaria.html> Acesso em: 30 jun. 2015.

SÃO PAULO. Assembleia legislativa do estado de São Paulo. **DECRETO N.º 8.468, DE 8 DE SETEMBRO DE 1976, "Aprova o Regulamento da Lei n.° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente".** São Paulo, Assembleia legislativa do estado de São Paulo, 1976.

SINDCERV,Sindicato Nacional da Industria de Cerveja. **A cerveja**. SRTVS, Qd. 701, BLOCO "E" - Ed. Palácio do Rádio II - Salas 123 e 124, Asa Sul - CEP 70340-902 - Brasília /DF. Disponível em< http://www.sindicerv.com.br/tipo-cerveja.php>. Acesso em 25 jun. 2015.

SILVA, Alinne Dué Ramos da, SANTOS, Robson Batista dos, BRUNO, Arthur Murilo da Souza; GENTELINI, André Luis Ana Helena Gomes da SILVA, Emerson Carlos SOARES. **ACTA AMAZÔNICA**. VOL. 44(2) 2014, p. 255 – 262.

SILVA, Neuselyda; JUNQUEIRA, Valéria Christina Amstalden; SILVEIRA, Neliane Derraz de Arruda. **Manual de métodos de análises microbiológicas de alimentos**. 3° ed. São Paulo: Varela. 2007.

SCRAMIN, S; SKORUPA, L. A; MELO, I. S. **Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas – levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar**. EMBRAPA. 2001.

SOARES,A.;MOZETO,A.A. Water quality in the reervoirs (Billings, Barra Bonita, Bariri and promição, SP- Brasil) and nutriente fluxes across the Sediment- Water interface (Barra Bonita). **ACTA LIMNOLOGIA BRASILIENSIS**. V. 18, p. 247-266. 2006.

TAVARES, Silvio Roberto de Lucena. **Fitorremediação em solos e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos.** 2009. 371p. Tese (doutorado)- UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

TSCHOPE, E.C. **Micro cervejarias e cervejarias: a história, a arte e a tecnologia.** São Paulo: Aden, 2001. 223p.

VON-SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996. 243p.

VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de Cerveja**. Jaboticabal: Funep, 2000. 83 p.

VENTURINI FILHO, W.G. **Fécula de mandioca como adjunto de malte na fabricação de cerveja.** 1993. 233p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Botucatu, 1993.

WOLVERTON, B.C. & MC DONALD, R.C. **Water hyacinths and aligátor weeds for removal of lead and Mercury from polluted waters.** NASA Technical Memorandum TM-x-72723, 12p. 1975.