

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

USO DA FLEGMAÇA NA DILUIÇÃO DO FERMENTO CENTRIFUGADO

ALESSANDRO MENDONÇA

Orientadora: Prof.^a Rita de Cassia Vieira Macri

Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de Tecnólogo em Biocombustíveis.

**Jaboticabal-SP
2º Semestre/2012**

Mendonça, Alessandro
M539u Uso da flegmaça na diluição do fermento centrifugado / Alessandro
Mendonça— Jaboticabal: Fatec, 2012.
42f.

Orientador: Prof^a. Rita de Cassia Vieira Macri

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em
Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2012.

1. Fermentação. 2. Tratamento. 3. Flegmaça. I. Macri, Rita de
Cássia Vieira. II. Título.

CDU 663.6

Curso de Tecnologia em Bicombustíveis

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: USO DA FLEGMAÇA NA DILUIÇÃO DO FERMENTO CENTRIFUGADO

AUTOR: ALESSANDRO MENDONÇA

ORIENTADORA: PROF^a RITA DE CASSIA VIEIRA MACRI

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à FATEC-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

RITA DE CASSIA VIEIRA MACRI

ROSE MARIA DUDA

MARIANA CARINA FRIGIERI SALARO

Data da apresentação: 21 de Dezembro de 2012.

Rita de Cassia Vieira Macri

Dedico ao meu pai Israel Mendonça *in memoriam*

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus primeiramente pelas vitórias alcançadas, que através de sua bondade concedeu-me saúde, sabedoria, força e disposição, requisitos que sobraram na luta por mais esta conquista.

Agradeço meus irmãos Elisângela e Alexandre pelos momentos vividos, momentos estes de poucas tristezas e muitas alegrias, ao meu pai Israel *in memoriam* e minha mãe Suely sou grato imensamente por educar-me com pulso firme, nos dando a base dos nossos aprendizados.

Agradeço a minha querida esposa Fabiana pela parceria, apoio e muita paciência que junto com nosso filho Felipe, compreenderam a minha ausência enquanto me dedicava aos estudos.

Os nomes aos quais citarei sou muito agradecido, pois todos possuem uma pequena e importante parcela na minha formação acadêmica; Matheus Tejima, Elaine Tedeschi, Pedro Kotzent, Elton Domingues e Natalie Ferreira foram parceiros que estiveram juntos desde a primeira etapa do curso. Muitas risadas, trabalhos e relatórios, reuniões de estudo, confraternizações, vários momentos eternizados em nossas memórias. Agradeço também aos demais colegas de classe que não foram citados, mas foram de grande valia.

A minha orientadora Professora Rita, pelo carinho e por sempre ter me apoiado e incentivado. A todos os professores pela doação e entrega na busca incessante de passar o conhecimento, ao pessoal da secretaria da faculdade em especial à Janaina e Simone, a minha prima Gabriela e minha amiga Michaela fica aqui registrado o meu agradecimento pela ajuda na conclusão deste documento. Agradeço aos coordenadores da usina São Francisco, senhores Antônio Possebon e Gualter Mendes Silva Jardim por disponibilizar e autorizar o uso do material de pesquisa, e aos meus colegas de serviço sou grato pela ajuda e compreensão.

O segredo é não correr atrás das borboletas... é cuidar do jardim para que elas venham até você.
Mario Quintana

RESUMO

USO DA FLEGMAÇA NA DILUIÇÃO DO FERMENTO CENTRIFUGADO

Mesmo com altos investimentos na concepção de novas tecnologias para aumento de rendimento fermentativo e equipamentos que aumentam o ganho energético da unidade produtora, a produção de etanol ainda é geradora de grandes volumes de resíduos entre eles a vinhaça e a flegmaça que juntas são volumes aproximados de 12 a 18 litros por litro de etanol. O custo da distribuição, a questão ambiental relativo à aplicação do resíduo ao solo e o uso da água potável na diluição do fermento, são agravantes que implicam diretamente no valor do produto final. O trabalho teve como objetivo analisar o uso da flegmaça na diluição do fermento pós-centrifugado, no tratamento da cuba para diluir a concentração do fermento em 50% usando somente um ciclo fermentativo. Foram feitos vários experimentos em laboratório diluindo o leite de fermento com água potável e flegmaça, colocado em processo fermentativo adicionando gradualmente o mosto, proveniente da mistura de méis finais da fabricação de açúcar, caldo clarificado e água. Ao término deste processo foram analisados vários parâmetros microbiológicos entre eles, viabilidade fermentativa, razão de infecção, brotamento e teores de álcoois. Constatado que não houve alterações significativas que influenciam no processo fermentativo. Ambos os experimentos foram observados e comparados e os resultados foram equivalentes, mostrando que a flegmaça pode ser utilizada como uma alternativa na diluição do fermento.

Palavras-chave: Fermentação. Tratamento. Etanol.

ABSTRACT

USE OF FLEGMASS IN THE DILUTION OF CENTRIFUGED YEAST

Even with high investments in the design of new technologies to increase yield and fermentation equipment that increase the energy gain of the production unit, the production of ethanol is still generating large volumes of waste, including vinasse and flegmass which together are approximate volumes 12-18 liters per liter of ethanol. The cost of distribution, environmental issues concerning the application of the residue to the soil and use of drinking water for dilution of yeast, are aggravating factors that directly affect the value of the final product. The study aimed to analyze the use of flegmass in the dilution of post-centrifuged yeast to treat the tank to dilute the concentration of yeast by 50% using only one fermentation cycle. We made several experiments in the laboratory by diluting the milk with water and yeast flegmass placed in fermentation gradually adding the wine, from the blend of honeys end of production of sugar, clarified broth and water. At the end of this process several microbiological parameters between them were analyzed, fermentative viability, infection rate, budding and alcohol content. It was found that there are no significant changes that affect the fermentation process. Both experiments were observed and compared and the results were equivalent, showing that flegmass can be used as an alternative in the dilution of the yeast.

Key-words: *Fermentation. Treatment. ethanol.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Coluna A - Destilação	24
FIGURA 2- Coluna B - Retificação	25
FIGURA 3 - Balanço de massa flegmaça.....	27
FIGURA 4 - Coleta flegmaça.....	29
FIGURA 5 - Coleta creme ou leite de fermento.....	30
FIGURA 6 - A. Coleta de água potável – B. Coleta mosto.....	30
FIGURA 7 - Ensaio fermentativos.....	32
FIGURA 8 - Consumo de açúcares fermentescíveis em função do tempo.....	34
FIGURA 9 - Gráfico variações de álcoois nos experimentos.....	35
FIGURA 10 - Câmara de Neubauer células de fermento e bastonetes.....	36
FIGURA 11 - Viabilidade vinho fermentado.....	36
FIGURA 12 – Relação brotamento Leveduras no vinho fermentado.....	37
FIGURA 13 – Razão de infecção no vinho fermentado.....	37
FIGURA 14 – Vinhaça, flegmaça e água potável.....	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Caracterização flegmaça.....	26
TABELA 2 - Caracterização do mosto.....	32
TABELA 3 - Tratamento do fermento.....	33
TABELA 4 - Resultados estatísticos - Médias avaliadas pelo programa SAS®.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO.....	14
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1	HISTÓRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.....	15
3.2	ETANOL COMBUSTÍVEL NO BRASIL	16
3.3	PROÁLCOOL AO ETANOL	17
3.4	INDUSTRIALIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR	18
3.4.1	Procedimentos que antecedem o processo de industrialização	18
3.4.2	O processo de industrialização.....	19
3.4.3	Produção do etanol.....	20
3.4.4	Fermentação	20
3.4.5	Destilação	23
3.5	JUSTIFICATIVAS DO EXPERIMENTO.....	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1	COLETA DOS MATERIAIS DE PESQUISA	29
4.2	EXPERIMENTO.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	TRATAMENTO DO FERMENTO CENTRIFUGADO, DILUIÇÕES COM ÁGUA POTÁVEL E FLEGMAÇA.....	33
5.2	RESULTADOS DE CONSUMO DE AÇÚCARES DURANTE O PROCESSO DE FERMENTAÇÃO.....	34
5.3	RESULTADOS ANÁLISES PORCENTAGEM DE ÁLCOOL NOS EXPERIMENTOS	35
5.4	RESULTADOS VIABILIDADE, BROTAMENTO E RAZÃO DE INFECÇÃO NO VINHO.....	35
5.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS EXPERIMENTOS.	38
6	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

A dependência histórica ao petróleo, o aquecimento global devido a problemas climáticos e a busca por um mundo sustentável trouxe à tona novamente a necessidade de fontes alternativas de energia. Os biocombustíveis vêm ganhando cada vez mais espaços nas matrizes energéticas dos países. No Brasil nas últimas décadas houve aumentos significativos na produção destes, com surgimento de unidades produtoras de biodiesel, biogás e principalmente bioetanol influenciado pela produção de carros flex-fuel.

O fato é que, para se produzir o etanol há necessidade do uso de grandes áreas para o plantio da cana de açúcar, que na maioria das vezes a região produtora torna-se dependente dessa cultura agrícola, em sua produção geram-se volumes expressivos de resíduos dentre eles a vinhaça e a flegmaça que necessita de cuidados com o seu descarte. Porém, rico em nutrientes minerais que o capacita para ser usado como adubo e aplicado ao solo da própria lavoura (PEREIRA, 2009).

O problema é quanto a sua distribuição, pois se aplicado em excesso ao solo, pode ocorrer lixiviação e contaminar os lençóis freáticos e rios, causando danos incalculáveis ao meio ambiente. Vale ressaltar que o custo do transporte relativo à distribuição é muito alto, influenciando diretamente no preço final do etanol. Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas, e muitas já aplicadas no processo para minimização da geração de resíduos, como evaporadores de vinhaça (A2, “*Reboiler*”) e biodigestores anaeróbicos, com intuito de diminuir o volume gerado e o poder poluidor. O teor de álcool das dornas e o sistema de injeção de vapor nos aparelhos de destilação (vapor direto ou indireto) influem também diretamente no volume de resíduo gerado.

É importante destacar que vinhaça e flegmaça são resíduos que provem da destilação para obtenção do etanol, porém são distintos em suas caracterizações, “embora contenham teores de álcool aproximadamente igual, a flegmaça é bem mais pura que a vinhaça, pois diversos contaminantes, em particular compostos não voláteis saem na vinhaça” (CORTEZ, 2008). A vinhaça contém cargas orgânicas de 20 a 30 vezes mais tóxicas que a flegmaça que por sua vez é praticamente composta por água e muito usada na limpeza de equipamentos em geral, e depois incorporada junto com a vinhaça.

Outro ponto negativo é o volume de água usado na planta industrial, nas destilarias, por exemplo, usa-se a água para o resfriamento de dornas de fermentação e condensadores dos aparelhos de destilação e com sistemas atuais existem unidades que já se faz o uso de circuito fechado de águas com torres de resfriamento, sendo necessária água na reposição por evaporação, diminuindo drasticamente a captação de águas para esses fins. Durante o processo fermentativo usa-se água potável na diluição do fermento, em quantidades que representa quase 8% do volume dos resíduos gerados. A diminuição dos resíduos gerados e a diminuição do uso de água potável fomentaram o estudo e o desenvolvimento deste trabalho.

2 OBJETIVO

O trabalho teve em vista analisar experimentalmente, o uso da flegmaça na diluição do leite de fermento pós-centrifugação, substituindo ou incorporando-a junto com água potável, aplicando o leite de fermento diluído em processo fermentativo verificando via resultados analíticos, se afeta a viabilidade do fermento e o rendimento alcoólico. Os resultados obtidos para flegmaça foram comparados com resultados com a diluição com água potável, método tradicional usado nas destilarias.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Histórico da cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar foi trazida no início do século XVI por Martim Afonso de Souza, poucos anos após o descobrimento do Brasil. Com clima propício e terras de bom cultivo a cultura da cana se propagou sendo no início a produção voltada para ração animal e açúcar, “em menos de 50 anos do seu descobrimento, o Brasil já detinha o monopólio mundial da produção de açúcar, e durante décadas firmava-se como grande produto de exportação” (TÁVORA, 2011).

Durante três séculos o Brasil manteve-se como líder mundial na produção de açúcar, mas o século XIX foi marcado por inúmeros fatos que o fizeram perder essa hegemonia, dentre eles destacam-se os problemas políticos entre Portugal e Espanha, guerras, novos países produtores de açúcar como Ilhas do caribe, Antilhas, África do sul, Austrália, Colônias Inglesas e a intensificação da produção de açúcar de beterraba na Europa (MIRANDA, 2008). As exportações caíram consideravelmente e a produção de açúcar entrou em crise levando muitos engenhos a fecharem e decretar falência, mas em contra partida, despontavam as exportações de café, com auge de 1840 até 1930 aproximadamente. Ambos passaram por maiores dificuldades com a crise da bolsa de valores de Nova York em 1929 (TÁVORA, 2011).

Mesmo com o mercado de açúcar estagnado, imigrantes principalmente de origem italiana, viram na facilidade do trato cultural da cana-de-açúcar, oportunidades de investimentos, adentraram para o interior do estado de São Paulo comprando terras onde a cultura do café estava em decadência. “Esses pioneiros iniciaram a lavoura, fazendo pinga, e os engenhos viraram usinas” (GORDINHO, 2010).

3.2 Etanol combustível no Brasil

No início do século XX, mais precisamente no ano de 1902, foi dado o primeiro passo para o uso do etanol como combustível no Brasil, com apoio do então presidente Francisco de Paula Rodrigues Alves, incentivando a utilização em motores assim como o uso de etanol na iluminação pública (BRASIL, 1979). Várias exposições ocorreram nessa época, surgiram equipamentos a etanol e em 1925 ocorreu primeira viagem de carro a etanol pelo interior do Brasil. Com a produção de açúcar em baixa, havia a necessidade de novas utilizações para a cana-de-açúcar. A partir de 1930 com Getúlio Vargas no poder, houve maior apoio a agroindústria sucroalcooleira, houve intervenções, regulamentações e maior controle sobre os preços e limites de produção, incentivos e isenção para importadores de automóveis, maquinários para fabricas e aparelhos de destilação do etanol além de prêmios para produções (TÁVORA, 2011).

Nesse mesmo período foi criado o Instituto de Açúcar e Alcool (IAA). Em 1931 foi criada a medida provisória mais importante, Decreto nº19717 que “estabeleceu a obrigatoriedade da aquisição do álcool pelos importadores de gasolina, para ser, a esta, adicionado em determinadas porcentagens, com intuito de generalizar o uso do álcool-motor” (GORDINHO, 2010). A entrada do Brasil na II Guerra Mundial afetou as importações do petróleo e derivados, impulsionando ainda mais a necessidade do uso álcool como combustível.

Com o fim da II Guerra Mundial, o petróleo era oferecido ao mundo em grandes quantidades e preços baixos. Em 1953 foi criada a PETROBRÁS (Petróleo Brasileiro S/A) e em 1959 foi criada a COOPERSUCAR (Cooperativa de Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo) e com incentivos ao combustível derivado do petróleo e a produção de açúcar, nessa década o álcool ficou em segundo plano, pois não apresentava competitividade com a gasolina (BRASIL, 1979). O mesmo autor destaca que a década de 60 foi marcada pelo excesso na oferta de açúcar no mercado internacional, houve fechamento de usinas, mas com a crise política em Cuba, nacionalização da produção de açúcar pelo governo cubano, o mercado norte-americano começou a comprar açúcar do mercado brasileiro

3.3 Proálcool ao etanol

Década de 70, açúcar em excesso no mercado, inflação alta, desvalorização da moeda, inúmeros problemas que economia brasileira passava, vieram a se agravar em 1973 com a primeira crise do petróleo. O Brasil, assim como todo o mundo, era dependente das importações deste combustível fóssil e com absurda alta dos preços deste produto entrou em crise profunda os pagamentos referentes à balança comercial (BRASIL, 1979).

A idéia de promover a cultura da cana para produção de etanol estava adormecida até então, pois esbarrava nos interesses da Petrobras, mas com a primeira crise do petróleo aflorou a necessidade de buscar novas fontes energéticas (TÁVORA, 2011). Houve o envolvimento de empresários como Lamartine Navarro Jr. e Cícero Junqueira Franco com a COOPERSUCAR que tinha interesse em aproveitar a capacidade ociosa de destilarias anexas de unidades açucareiras, e o IAA desenvolveram um projeto para reduzir a dependência do petróleo importado (BNDES - CGEE, 2008).

Em 1974 com o general Ernesto Geisel no poder, foi possível implantar um projeto inovador, em 1975 com Shigeaki Ueki como ministro de Minas e Energia, surge então o Programa Nacional do Álcool, PROALCOOL como foi intitulado, criado pelo Decreto n°76.593/75. O ano de 1977 entra para história do Brasil e do mundo, quanto ao ganho ambiental, a obrigação da adição do etanol como aditivo à gasolina, ocorreu a substituição completa do chumbo tetraetila ($Pb(C_2H_5)_4$) aditivo para gasolina cuja fórmula faz com que a octanagem da gasolina seja elevada porém é tóxico e libera partículas de chumbo, metal pesado no ar (GORDINHO, 2010). Em 1979, segunda crise do petróleo, os seus preços sofreram nova alta, o Proálcool foi intensificado, estimulando-se o uso de bioetanol hidratado em motores adaptados ou especificamente produzidos o uso desse biocombustível (BNDES - CGEE, 2008), a ideia se tornou realidade, centenas de destilarias surgiram e unidades anexas produziam o álcool em larga escala.

Final da década de 80 e durante a década de 90, o programa oscilou em altos e baixos até que novamente fatores políticos e econômicos fizeram com que o Proálcool deixasse de ser prioridade estratégica. Somente em 2003 com novas tecnologias aplicadas aos motores chamadas de “*flex fuel*”, problemas climáticos com aquecimento global e a necessidade de

novas fontes energética ecologicamente correta deram ao álcool, agora então chamado de etanol, um novo e crescente mercado, de âmbito nacional e internacional (SOUZA, 2010).

3.4 Industrialização da cana-de-açúcar

De acordo com Marques *et al.* (2001) a industrialização da cana-de-açúcar é um processo de transformação que tende obter a sacarose na forma cristalizada com maior grau de pureza possível. Para se chegar ao produto final (açúcar e etanol) há uma sequência de etapas que envolvem várias operações unitárias. O plantio, a colheita, o transporte, recepção, extração do caldo e concentração dos açúcares são exemplos de atividades que se sucedem no dia a dia do processo sucroalcooleiro.

3.4.1 Procedimentos que antecedem o processo de industrialização

O plantio é diretamente ligado por localização geográfica, dependência de altos índices de luminosidade, temperaturas altas e altos índices pluviométricos (SEGATO *et al.*, 2006) e a qualidade da matéria prima é influenciada por variedades da cultura, qualidade do solo, impurezas minerais e vegetais decorrentes do corte e pelo tempo entre colheita e processamento. A maturação da cana de açúcar se dá o momento da colheita caracterizado pelo máximo acúmulo de sacarose na planta (MARQUES *et al.*, 2001).

Segundo Hamescki (2009 *apud* PAPP, 2011) antes da industrialização da cana-de-açúcar há uma sequência de operações que envolvem desde o plantio, avaliação de maturação, o corte, o carregamento e descarregamento chamados de operações preliminares. Sendo a colheita de cana-de-açúcar ou o chamado corte de cana, manual através de facões, ou mecanizado através de colhedoras. Para melhor rendimento no corte manual, utiliza-se a queima da cana com antecedência ao corte, na colheita mecanizada o corte é feito com a cana crua (MARQUES *et al.*, 2001). Após o corte, a etapa que se segue é do carregamento, feito manualmente ou por mecanização que é o modelo mais utilizado pelas usinas, o transporte pode ser através de meios ferroviários, hidroviário e o mais usual o rodoviário. O sistema de

transporte é influenciado pelo custo relativo à distância e a situação do terreno se plano ou montanhoso (SEGATO *et al.*, 2006).

3.4.2 O processo de industrialização

Ao chegar à unidade industrial, a matéria prima é pesada, retirada amostras para análises preliminares, encaminhadas para o descarregamento e o veículo vazio é pesado novamente e obtido a tara, os resultados analíticos e o peso é possível quantificar e qualificar a matéria prima, analisando a produtividade agrícola. Os resultados servem também como parâmetros para pagamento dos fornecedores de cana (PAYNE, 1989). Tem unidades que adotam o provisionamento, que é o armazenamento de cana no pátio ou armazém, que visa abastecer a unidade esmagadora no período noturno onde a colheita só é feita durante o dia (MARQUES *et al.*, 2001), com a mecanização da colheita a tendência é o desuso dessa prática, pois o transporte da matéria prima passou a ser de 24 horas.

Após o descarregamento a cana-de-açúcar passa por esteiras de locomoção, onde ocorrem o seu preparo para extração do caldo (PAYNE, 1989). Os colmos são submetidos a ações de facas e martelos fazendo um procedimento chamado desfibrilamento (MARQUES *et al.*, 2001), ao qual rompe as fibras da cana abrindo a células para extração de sacarose contida no interior delas, essa ação é denominada de “*Opencell*”.

A extração do caldo se dá por moendas (pressão) ou por difusores (difusão e lixiviação). Sua função é extrair o maior volume possível de caldo da cana preparada e entregar o bagaço para a caldeira com umidade adequada, utilizando a mínima quantidade de energia e água possíveis. Durante o processo é adicionado água aquecida sobre o bagaço retirando o máximo de açúcares, esse processo é denominado embebição (PAPPA, 2001).

De acordo com Camargo (1990 *apud* SILVA, 2010) o caldo é filtrado em uma peneira retendo as sujidades grosseiras (bagacilho, pedaços de cana, terra, areia). Segue para um processo de retirada de impurezas coloidais solúveis ou insolúveis chamado de tratamento químico que é a parte do processo que tem como finalidade clarear o caldo, deixando transparente e limpo assegurando-lhe os teores de açúcares (ALBUQUERQUE, 2009). Pós-tratamento químico o caldo é aquecido à 105°C aproximadamente, com o propósito de

diminuir a viscosidade do meio, eliminar microrganismos por esterilização floccular as impurezas e remover os gases (MARQUES *et al.*,2001).

Como dito, o aquecimento do caldo visa também eliminação de microrganismos presentes no meio, fungos e bactérias que se alimentam dos açúcares presente e remover os gases incondensáveis (PAYNE, 1989). Na sequencia do processo de industrialização, o caldo é enviado a tanques onde ocorre a decantação das sujidades ficando então clarificado (CORTEZ, 2008) O tratamento do caldo varia de acordo com o processo usado na unidade, tipos de açúcar produzido ou se a produção for voltada somente para destilarias sendo as etapas iniciais do processamento para bioetanol basicamente as mesmas empregadas para a produção de açúcar (BNDES - CGEE, 2008).

Em usinas com destilarias anexas, parte do caldo clarificado segue para o preparo do mosto e parte segue para o processo de cristalização do açúcar. Em unidades que possui somente destilarias a maior parte do caldo clarificado é enviado para o preparo do mosto e outra parte segue para o processo de evaporação da água contida (CAMARGO, 1990).

3.4.3 Produção do etanol

A produção do etanol ocorre em um setor chamado de destilarias, local onde abrigam construções e equipamentos que aperfeiçoam o processo de maneira industrial. São dotadas de salas de fermentações com dornas, máquinas centrifugas, pré-fermentadores e aparelhos de destilação.

3.4.4 Fermentação

A fermentação alcoólica é um processo bioquímico que envolve reações em sequencia promovidas por enzimas catalíticas, no qual glicose e frutose são transformadas por um processo fermentativo principalmente em etanol e CO₂ por leveduras do gênero *Saccharomyces*, das espécies *Saccharomyces cerevisiae*. Ressaltando que a levedura *Saccharomyces* é um aeróbio facultativo, se ajusta metabolicamente, tanto em condições de aerobiose como na ausência de ar (LIMA *et al.*, 2001). Segundo Cortez (2008) a conversão

de açúcares em álcool se dá dentro das células, em uma sequência de reações, todas catalisadas, em cada direção, por enzimas específicas.

Em condições de aerobiose (Equação 1) ocorre a respiração e os produtos formados são o dióxido de carbono e água, sendo sua multiplicação mais rápida e produz mais células, quando da ausência do oxigênio (Equação 2), anaerobiose ocorre a fermentação com a conversão dos açúcares em etanol e CO₂, obtida pela alta concentração de açúcar. A intenção principal da levedura é consumir metabolicamente a glicose e gerar energia, que posteriormente será usada para a realização de diversos trabalhos fisiológicos. (LIMA *et al.*, 2001).

EQUAÇÃO 1: Estequiometria aerobiose - Respiração (LIMA *et al.*, 2001)



EQUAÇÃO 2: Estequiometria anaerobiose - Fermentação (LIMA *et al.*, 2001)



De acordo com Cortez (2008) a fermentação é apenas produtora primária de energia que é utilizada para sintetizar mais células pois através de sua reprodução que uma comunidade consegue permanecer num determinado nicho. Durante o processo fermentativo na obtenção do etanol forma-se também produtos secundários que são necessários para adaptação e sobrevivência, composto de quantidades menos expressivas, segundo Lima *et al.* (2001) na sequência de reações enzimáticas rotas metabólicas aparecem para formar materiais necessários à constituição da biomassa bem como para formação de outros produtos de interesse metabólico.

Na obtenção do álcool distinguem-se três fases: o preparo do substrato, a fermentação e a destilação. Quando em destilarias anexa, o preparo do substrato açucarado com nome de mosto dá-se por uma mistura de méis finais oriundos da fabricação do açúcar com caldo

clarificado. No caso de unidades somente com destilarias o mosto é uma mistura de xarope e caldo clarificado, suas concentrações são ajustadas para facilitar a fermentação. Há adição de água no mosto quando não se tem volume desejado de caldo para diluição dos méis ou xarope até o Brix desejado. O mosto é resfriado aproximadamente a 33°C evitando temperaturas altas que ocasionam proliferação de bactérias maléficas ao processo de fermentação e acima de 40°C pode causar a mortandade das leveduras (LIMA *et al.*, 2001).

São enviados a tanques fermentadores, que são reatores onde acontecem as reações químicas que envolvem a produção do etanol. Nos sistemas de fermentação existem processos contínuos e descontínuos, meios que variam de destilaria para destilaria devido decisões estratégicas de operações da unidade industrial (CAMARGO, 1990). O processo fermentativo dura em média 7 a 10 horas, tratado com certos cuidados destacando o controle de temperatura que por ser um processo exotérmico libera grande quantidade de calor. Para uma boa eficiência fermentativa controla-se a temperatura das dornas por trocadores de calor próximos de 32°C. Ao término da alimentação a medição de brix é acompanhada de hora em hora para verificar o fim da redução dos açúcares fermentescíveis. O teor médio de álcool é de 7 a 10% contendo 10 a 12% de levedo em média. Essa mistura recebe o nome de vinho levedurado ou vinho bruto (CORTEZ, 2008).

No Brasil há décadas adota-se o sistema de recuperação de leveduras, que ocorre após a fermentação onde o vinho levedurado é enviado para máquinas centrifugas separando o fermento do vinho (LIMA *et al.*, 2001). A centrifugação do vinho resulta em um creme de fermento ou leite de fermento de concentração de mais ou menos 70%, este vai para as cubas de tratamento onde é diluído com água potável 1 a 2 vezes por volume de leite (CORTEZ, 2008), reduzindo o teor de levedo para próximo de 30%. A água potável prove normalmente de poços artesianos. A necessidade de diluição ocorre devido à toxidez do álcool nas células de leveduras, em determinadas concentrações prejudica e retarda o seu desenvolvimento (LIMA *et al.*, 2001).

O efeito do meio ácido influi no crescimento da levedura e principalmente no controle da contaminação bacteriana por isso corrige-se o pH entre 2,2 a 3,2 adicionado ácido sulfúrico. Após esse tratamento o pé de cuba como é chamado fica em repouso até o término da centrifugação de todo líquido da dorna. No processo de fermentação batelada ou descontínuo, o pé de cuba é reencaminhado para dorna formando com aproximadamente 30%

do volume do tanque e reinicia-se fermentação com alimentação de mosto dando início a um novo ciclo fermentativo (CORTEZ, 2008).

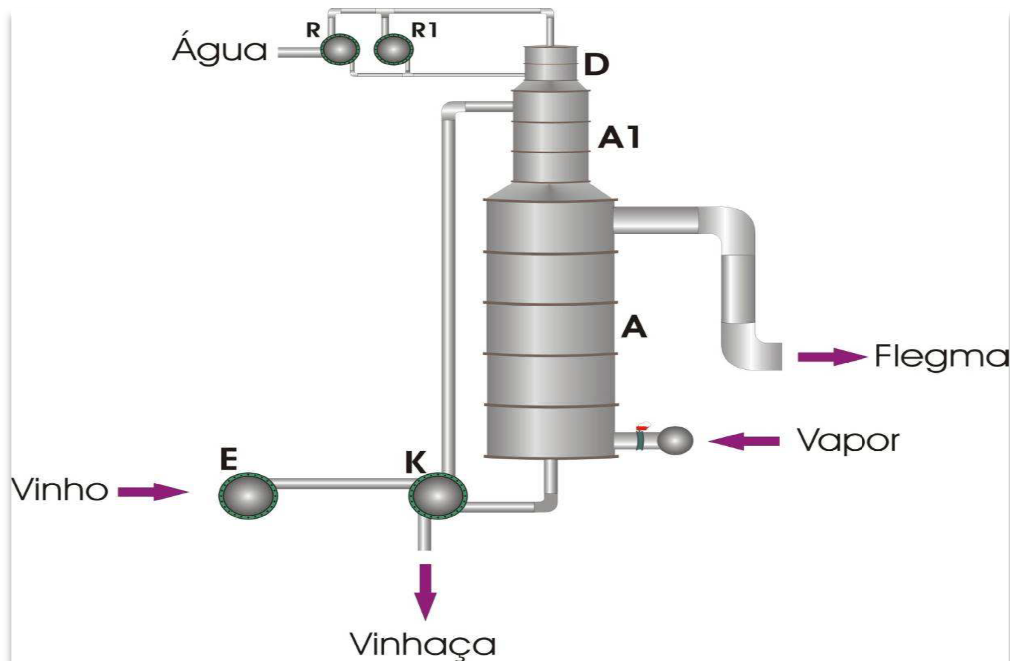
Em situações onde o processo é contínuo o leite de fermento tratado é reencaminhado para dorna de fermentação junto com o mosto em processo intermitente. O vinho delevaturado ou vinho, separado nas centrifugas com teores de álcool 7 a 10%, segue para um tanque pulmão com nome de dorna volante e posteriormente enviado a aparelhos de destilação.

Por diferença de volatilidade, a destilação separa componentes de uma mistura líquida (CAMARGO, 1990). “A destilação é uma operação pela qual um líquido, por efeito de aquecimento, passa para a fase gasosa, em seguida, volta ao estado líquido por meio de resfriamento” (LIMA *et al.*, 2001). Por conter volume alto de água em relação ao álcool no vinho só possível separar os dois líquidos com uma série de destilações.

3.4.5 Destilação

O processo de destilação industrial ocorre em colunas aquecidas por vapores d'água, injetando-o na base da coluna de forma direta ou indireta, permitindo o contato contínuo do vapor com parte já condensada, que tem fluxo em contra corrente, possibilitando o enriquecimento do composto mais volátil na fração (MENEZES, 1980). A epuração do vinho e esgotamento da coluna e concentração de produtos de cabeça ocorre no primeiro estágio da destilação, na coluna A (Figura 1) (CAMARGO, 1990).

FIGURA 1: Coluna A - Destilação (SANTOS, 2010)



Os primeiros destilados são os produtos mais voláteis que sobem para o topo podemos enumerar os acetaldeídos, acetato de etila acidez acética, sendo resfriado por condensadores, quando líquido é chamado de álcool de segunda e encaminhado a dornas volantes ou para coluna B (MENEZEZ, 1980). Os gases CO_2 , SO_2 e SO_3 são liberados para atmosfera por trombetas nos condensadores, esse procedimento é chamado degasagem (LIMA *et al.*, 2001).

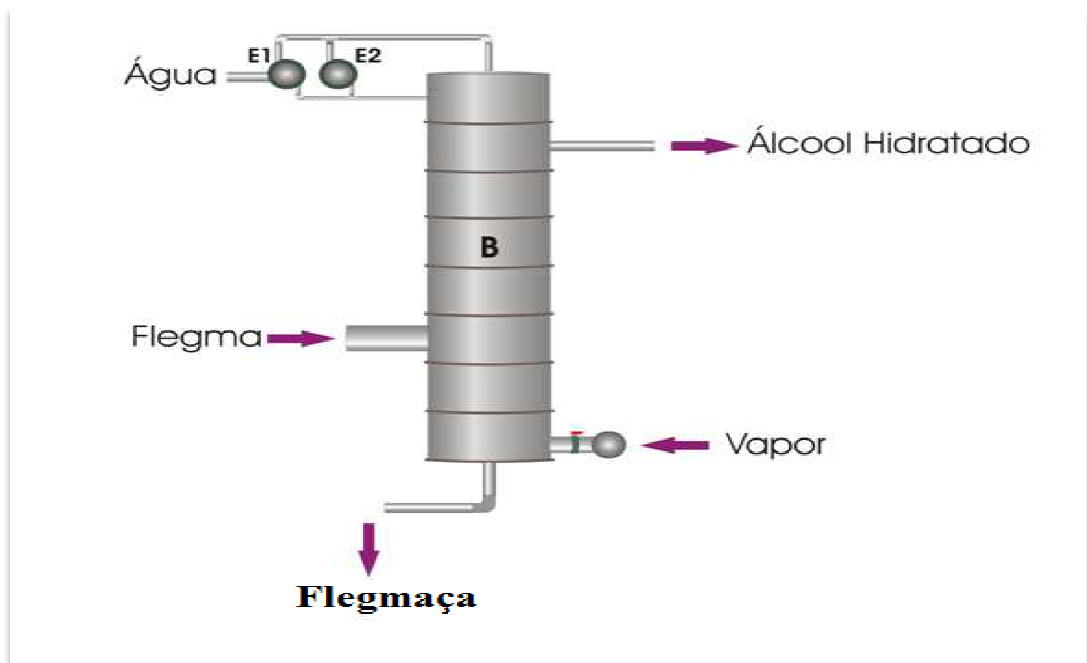
De acordo com Cortez *et al.* (1992 *apud* PEREIRA, 2009) “O restante da coluna de destilação, constituída de água, nutrientes e baixa porcentagem de álcool não recuperável é o que se denomina vinhaça”, chamado também de vinhoto, restilo e popularmente garapão. É um resíduo aquoso de sólidos orgânicos e minerais de elevadas taxas de DQO e DBO com poder altamente poluidor, com teor de sólidos em torno de 7% (CAMARGO, 1990), é um líquido marrom, meio ácido com volume de 10 a 15 litros por litros de etanol (FREIRE, 2000 *apud* BARROS, 2010).

O volume de vinhaça gerado depende da porcentagem de álcool contida nas dornas e do tipo de injeção de vapor na coluna (direto ou indireto). Nessa primeira etapa obtém-se o flegma, vapor contendo 50% de álcool e água. Essa graduação depende do teor alcoólico das dornas, quanto mais rico for o teor das dornas maior vai ser a concentração de álcool no flegma. De modo contínuo a pressão de vapor e alimentação de vinho na coluna, o flegma

segue para a retificação Coluna B, a retificação é a operação pela qual separa-se o etanol das impurezas que o acompanham (LIMA *et al.*, 2001).

O flegma sofre sucessivas destilações retirando o restante de água e impurezas, é injetado vapores d'água novamente na base da coluna e durante esse processo vai adquirindo cada vez mais elevadas concentrações de etanol (CORTEZ *et al.*, 2008), passa por condensadores e o liquido condensado volta para o topo da coluna até atingir a graduação específica próximo de 96%, esse produto passa a se chamar álcool etílico hidratado (Figura 2).

FIGURA 2: Coluna B - Retificação (SANTOS, 2010)



Não se consegue apenas por destilação obter 100% de pureza, máximo de 97,2% em volume 95,6% em peso (LIMA *et al.*, 2001), o etanol e água formam uma mistura azeotrópica, para desidratar e purificar totalmente emprega-se outras operações, tais como destilação extrativa (agente desidratante o monoetilenoglicol – MEG), azeotrópica (Ciclohexano com agente desidratante), ou ainda adsorção com peneiras moleculares ou membranas (MENEZES, 1980)

Na Coluna de retificação, é retirado por meio de fracionamento na região intermediária da coluna B, impurezas de menor volatilidade com nome de óleo fusel, uma mistura de diversas substâncias, na qual predominam os álcoois amílico e butílico. (LIMA *et*

al, 2001). O resíduo dessa coluna chamado de Flegmaça é um despejo líquido incorporada à vinhaça com baixo potencial poluidor, temperatura alta, transparente, baixa porcentagem de álcool não recuperável média de 0,025%, que contém sais dissolvidos, e quantidade expressiva de matéria orgânica (BRASIL, 2009). Na Tabela 1 estão contidos os dados característicos da flegmaça.

TABELA 1 - Caracterização flegmaça (BRASIL, 2009).

PARÂMETROS	UNIDADE	VARIÇÃO DOS PARÂMETROS		
		MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Alumínio	mg/L	< 0,25	< 0,2	<0,5
Cálcio	mg/L	3,1	0,5	6,4
Cloreto (HPIC)	mg/L	2,68	< 0,1	6
Cobre	mg/L	0,58	< 0,05	1,5
DBO	mg/L	1173,33	150	5700
DQO	mg/L	1563,5	270	7400
Ferro	mg/L	0,25	<0,05	0,5
Fósforo total	mg/L	1,5	< 1	3
Magnésio	mg/L	1,22	0,2	2,6
Manganês	mg/L	0,08	0,05	0,1
N total	mg/L	22,33	4	100
N amoniacal	mg/L	3,33	2	5
pH	-	3,8	3,4	4,3
Potássio total (K ₂ O)	mg/L	8,85	1,4	2,4
Sódio	mg/L	1,68	0,4	6
Sulfato	mg/L	15,63	< 0,2	32,4
Zinco	mg/L	0,16	0,05	0,3

O volume de resíduo gerado na etapa de retificação varia conforme é a injeção de vapor na coluna B, a média de flegmaça gerada é 1,2 a 1,9 L/L etanol produzido, porém com amplitude de 0 a 2,8 L/L etanol (BRASIL, 2009). O exemplo da Figura 3 demonstra através do balanço de massas a quantidade de flegmaça gerada com injeção de vapor direto na coluna de retificação.

FIGURA 3 – Balanço de massa flegmaça (BRASIL, 2009)

Balanço de massa:

$$m_{flegma} + m_{vap} = m_{flegma\grave{c}a} + m_{etanol}$$

dividindo-se

$$\frac{m_{flegma}}{V_{etanol}} + \frac{m_{vap}}{V_{etanol}} = \frac{m_{flegma\grave{c}a}}{V_{etanol}} + \frac{m_{etanol}}{V_{etanol}}$$

onde:

$$Tx_{flegma\grave{c}a} = \frac{m_{flegma\grave{c}a}}{V_{etanol}}$$

$$\frac{m_{vap}}{V_{etanol}} = Tx_{vapor-B}$$

$$\frac{m_{flegma}}{V_{etanol}} = \frac{d_{flegma} * 100}{GL_{flegma}} = \frac{0,9 * 100}{45} = 2,0 \left[\frac{kg \text{ flegma}}{L \text{ etanol}} \right]$$

$$Tx_{flegma\grave{c}a} = 2,0 + 1,5 - 1 = 2,5 \left[\frac{kg \text{ flegma\grave{c}a}}{L \text{ etanol}} \right]$$

Em que:

$Tx_{flegma\grave{c}a}$ = taxa de produção de vinhaça por etano, resultando = 2,5 L/L etanol, neste caso;

V_{etanol} = volume de etanol produzido [L];

$m_{flegma\grave{c}a}$ = massa de flegmaça [kg];

m_{flegma} = massa de flegma [kg];

m_{vap} = massa de vapor na coluna "B" [kg];

m_{etanol} = massa de etanol produzido na coluna "B" [kg];

d_{flegma} = densidade teórica do flegma (hidroalcoólica) = 0,9 kg/L, aproximadamente;

$Tx_{vapor-B}$ = uso de vapor na coluna "B" = 1 a 1,5 kg/m³ etanol = 1,5 kg/m³, adotado;

GL_{flegma} = teor de etanol do flegma = 40 a 50°GL = 45°GL, adotado.

3.5 Justificativas do experimento

A geração de resíduos na produção sucroenergética impacta diretamente no preço final do etanol e no meio ambiente, sendo um potencial poluidor. São grandes os volumes gerados, em uma unidade com produção estimada de 600 m³ etanol dia, gera em média somando vinhaça e flegmaça, 14 m³ de resíduos por litro de etanol, cerca de 8400 m³/dia e todo esse volume é distribuído na lavoura por meio de bombas, canaletas e principalmente por

caminhões tanques, o custo deste transporte e da distribuição é altíssimo. Somente 6% a 7% é caracterizado como adubo, o restante é água que serve para irrigação (PEREIRA, 2009). A flegmaça representa no exemplo citado cerca de 17%, aproximadamente 1500 m³/dia.

Nas cubas com o uso de água potável na diluição é de aproximadamente 15% em relação à quantidade do volume de resíduo gerado, os valores variam porque são dependentes da concentração fermento centrifugado que também é correlacionado ao do teor de levedo da dorna e aos meios operacionais. O trabalho foi idealizado na redução da geração de resíduos, na economia financeira e também na diminuição do impacto ambiental tanto com o uso da água potável nas cubas ou com a diminuição da distribuição do resíduo no ambiente, onde é feita em sua maioria por caminhões e tratores que também contribuem com a poluição, pois usam diesel como combustível que provem de fonte não renovável.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos laboratórios da FATEC - Faculdade de Tecnologia em Biocombustíveis, Centro Paula Souza, cidade de Jaboticabal - SP, em 25 de outubro de 2012. Os materiais de pesquisa foram coletados na mesma data, na Usina São Francisco, grupo Balbo, localizada na cidade de Sertãozinho - SP.

4.1 Coleta dos materiais de pesquisa

A flegmaça foi coletada direto na saída da base da coluna B do aparelho de destilação a 94°C aproximadamente e resfriada à temperatura ambiente, armazenada em frascos de 1 litro conforme ilustra Figura 4. O leite de fermento foi coletado na saída da máquina centrífuga com 70% de concentração (Figura 5).

FIGURA 4 – Coleta flegmaça (ARQUIVO PESSOAL)



Para a coleta da flegmaça na saída da coluna B, foram observadas as boas condições do aparelho de destilação, entre elas a retiradas de óleo fusel, arraste de vinho da coluna A

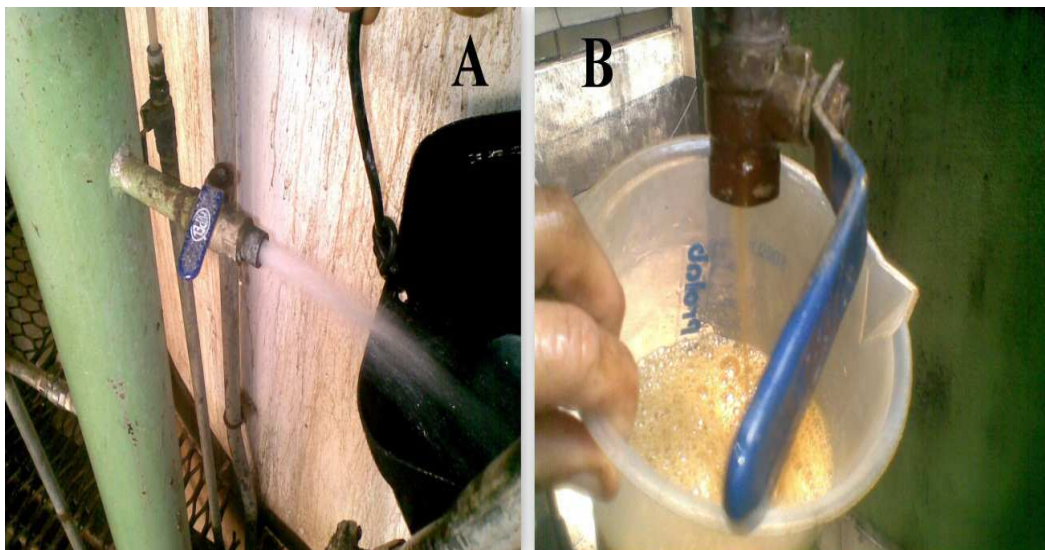
para B por excesso do mesmo ou em razão de excesso de pressão na coluna A, os quais são parâmetros que influenciam na qualificação desse resíduo.

FIGURAS 5 – Coleta creme ou leite de fermento (ARQUIVO PESSOAL)



A água potável foi coletada do poço artesiano que é usado na diluição do fermento da Destilaria da Usina. Ilustração das coletas (Figura 6 A). O mosto foi coletado na saída do trocador de calor e resfriado a 30°C, armazenado em frasco de 5 litros (Figura 6 B).

FIGURA 6 – A. Coleta de água potável – B. Coleta mosto (ARQUIVO PESSOAL).



4.2 Experimento

4.2.1 Preparo pé de cuba – Tratamento do fermento

O leite de fermento foi diluído aproximadamente em 50% a 60% de sua concentração. As diluições foram feitas em béqueres de 1 litro em quatro partes de 600 mL cada, sendo que duas partes diluídas com água potável e outras duas com flegmaça, os ensaios experimentais com água potável foram denominado de Tratamento fermento água potável (TA), e os ensaios com diluídos com flegmaça, tratamento fermento flegmaça (TF). Os ensaios foram submetidos à adição de ácido sulfúrico deixando o meio ácido com pH 2,3 para controle bacteriano. Foram coletadas alíquotas das quatro diluições e submetidos a análises microbiológicas (viabilidade do fermento, brotamento, razão de infecção) e as diluições foram deixadas em repouso por 30 minutos.

4.2.3 Fermentação

Para o ensaio fermentativo (Figura 7) as diluições foram separadas em 16 Erlenmeyer de 1 litro, formando pés de cubas de 150 ml cada. Sendo oito frascos as diluições com água potável e oito frascos as diluições com flegmaça. Os ensaios experimentais com água potável foram numerados de 1 a 8 acompanhados da letra A (A1, A2, A3,... A8) e os ensaios experimentais com flegmaça também foram numerados de 1 a 8 acompanhados da letra F (F1, F2, F3,... F8).

Os ensaios foram alimentados com mosto dosados 43,75 mL a cada 30 minutos igualmente durante quatro horas, somando um volume total de mosto adicionado de 350 mL por experimento. Foram monitoradas constantemente parâmetros de temperatura (em 32°C aproximadamente), controle de espumas que ocasionalmente formaram-se adicionando dispersantes e antiespumantes evitando o derramamento das amostras e homogeneização constante, para melhor desempenho do processo fermentativo. As características e concentrações de açúcares no mosto foram ajustadas conforme ilustra a Tabela 2.

TABELA 2 – Caracterização do mosto

BRIX	POL	PUREZA	ART	Ph	ACIDEZ g/ml
21,8	12,78	65,86	16,65	6,2	1,08

FIGURA 7 – Ensaio fermentativos (ARQUIVO PESSOAL)



Após o fim da alimentação, foram feitas as leituras de Brix de hora em hora, até a repetição da mesma, caracterizando o término da fermentação. Foram coletadas alíquotas de todos os 16 experimentos e analisados os teores de fermento, açúcares redutores residuais totais (ARRT), teores de álcoois, e análise microbiológicas (viabilidade fermentativa, brotamento, razão de infecção).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises seguiram os procedimentos usados nos laboratórios das usinas de acordo com as normas e procedimentos laboratoriais do Manual de Métodos e Análises CTC (2005), e os resultados, na sua maioria, foram expressos em porcentagens, ilustrados em tabelas e gráficos, obedecendo a sequencia dos procedimentos adotados no capítulo 4. Importante comentar que a viabilidade do fermento coletado na usina manteve-se baixa durante todo experimento e a razão de infecção um pouco alta, influenciado pela floculação e índices de contaminação elevada na etapa industrial. No dia da coleta a unidade havia iniciado dosagens de antibióticos para controles dos microrganismos patológicos.

5.1 Tratamento do fermento centrifugado, diluições com água potável e flegmaça

Nas quatro diluições do tratamento de fermento, os dados permaneceram praticamente iguais, com pequena melhora na razão de infecção e brotamento nas diluições com flegmaça, como demonstrado na Tabela 3.

TABELA 3 – Tratamento do fermento diluições

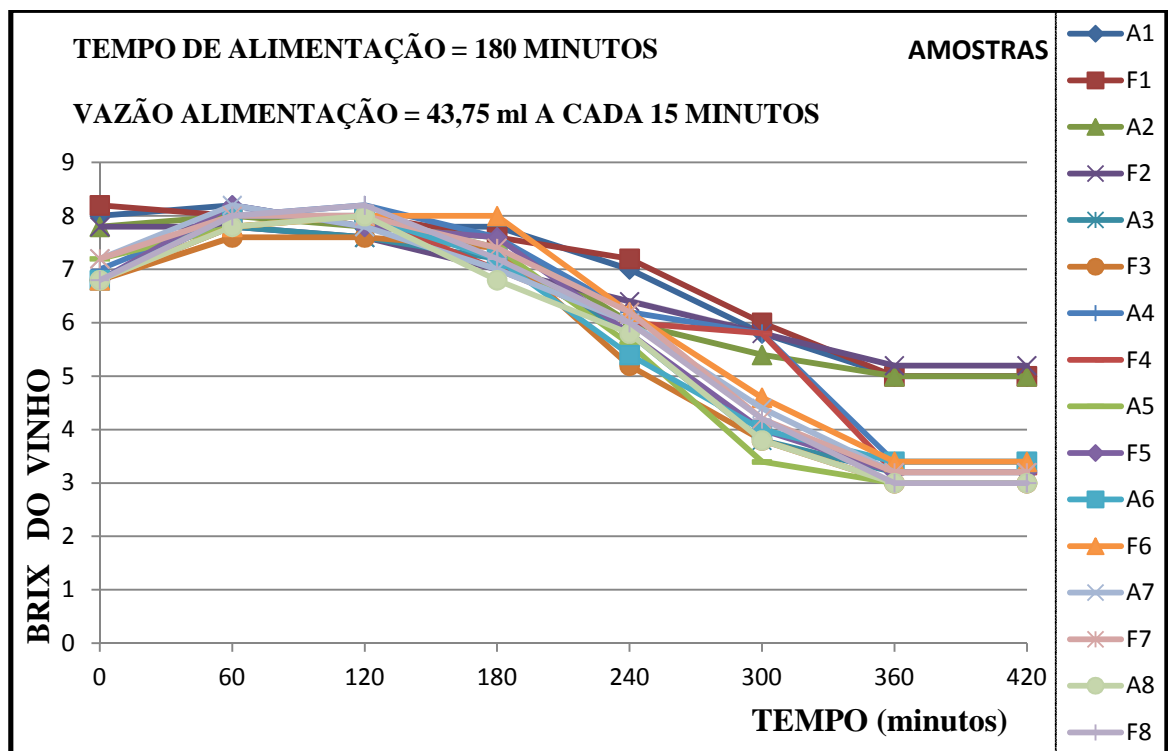
	*TA1	**TF1	TA2	TF2
pH Corrigido	2,24	2,26	2,29	2,28
% de Fermento	26%	26%	30%	29%
Viabilidade	65%	66%	61%	60%
Brotamento	10%	19%	16%	19%
Razão de infecção	25%	15%	35%	25%

*TA Tratamento fermento água potável – **TF Tratamento fermento flegmaça

5.2 Resultados de consumo de açúcares durante o processo de fermentação

A figura 8 ilustra os resultados das leituras de brix sacarímetro de hora em hora até a repetição do mesmo, momento que se caracterizou o fim da fermentação. De acordo com os resultados os consumos de açúcares durante o processo fermentativo de todos os ensaios foram satisfatórios.

FIGURA 8 – Consumo de açúcares fermentescíveis em função do tempo



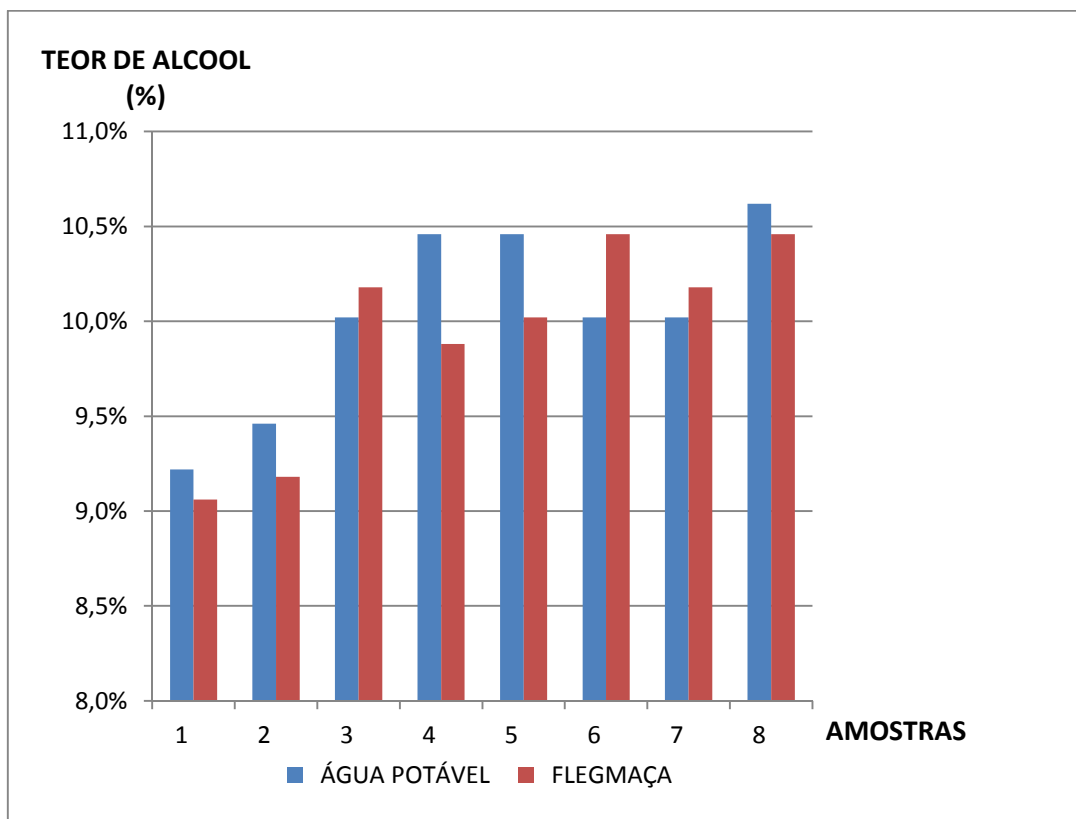
O mosto alimentado continha cerca 17% de ART (açúcares redutores totais) conforme análises iniciais de caracterização do mosto. Ao término da fermentação o vinho levedurado de todos os experimentos foi submetido a análises de ARRT e obteve-se a média de 0,12% nas fermentações com diluições com água potável e 0,11% nas fermentações com diluições com flegmaça, os resultados foram excelentes, pois praticamente todos os açúcares fermentescíveis foram convertidos, isso se deu devido o processo fermentativo ocorrer em

laboratório, controlando-se melhor a temperatura, vazão do substrato e em constante homogeneização.

5.3 Resultados análises porcentagem de álcool nos experimentos

Na figura 9 é possível observar e comparar os teores álcoois produzidos em cada experimentos.

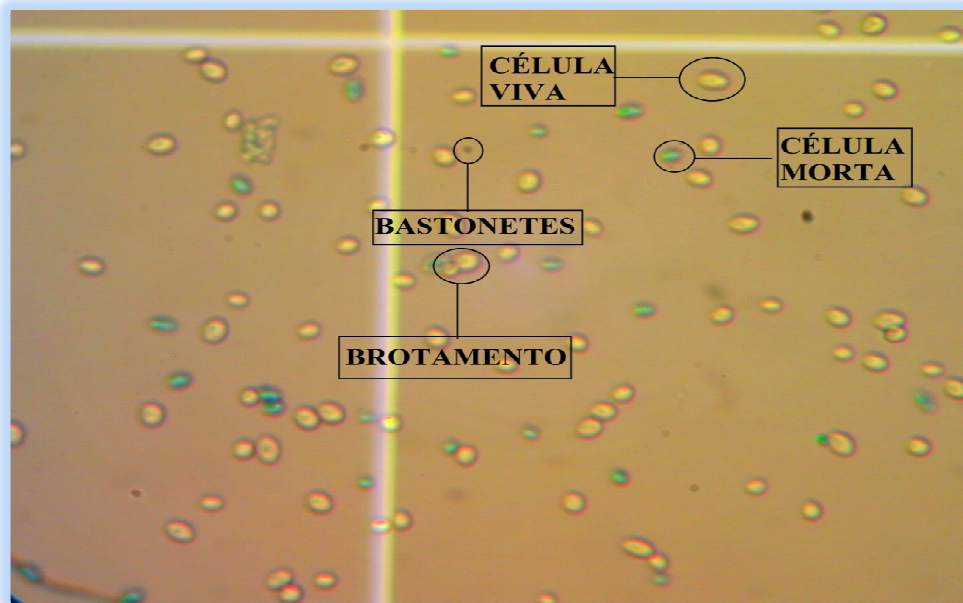
FIGURA 9 – Gráfico variações de álcoois nos experimentos



5.4 Resultados viabilidade, brotamento e razão de infecção no vinho

A FIGURA 10 ilustra como foram feitas as contagens das células de leveduras vivas, mortas e a quantificação dos bastonetes para os cálculos de viabilidade, brotamento e a razão de infecção.

FIGURA 10 - Células de fermento em Câmara de Neubauer (ARQUIVO PESSOAL)



As FIGURAS 11, 12 e 13 ilustra a variação das análises microbiológicas do vinho fermentado, é possível observar que os resultados das diluições com flegmaça foram semelhantes com os experimentos com água potável.

FIGURA 11 - Viabilidade vinho fermentado

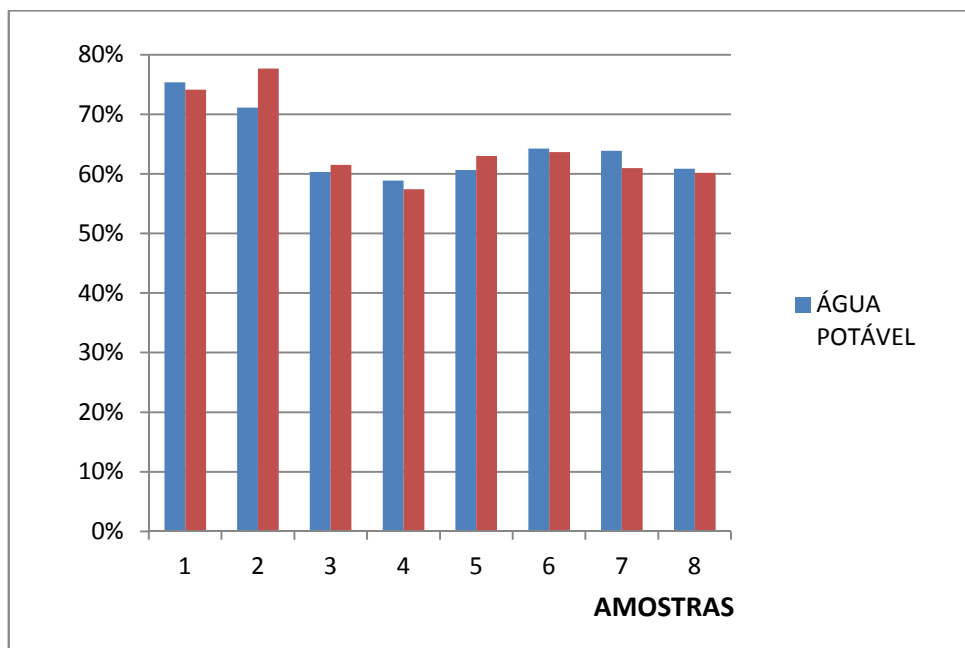


FIGURA 12 – Relação brotamento Leveduras no vinho fermentado

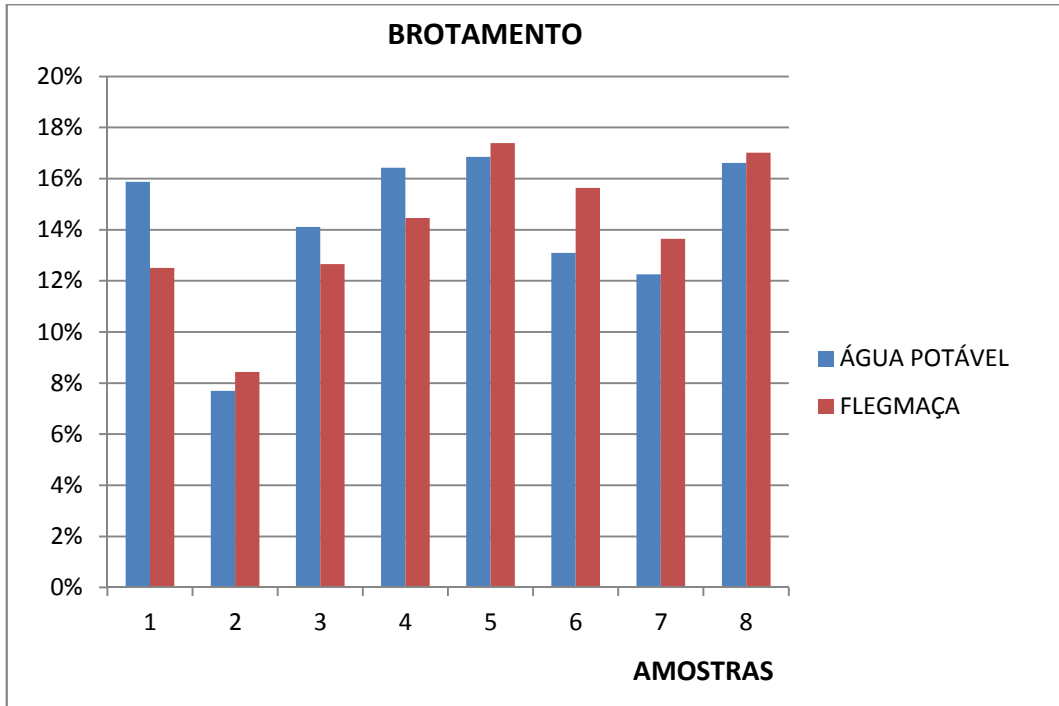
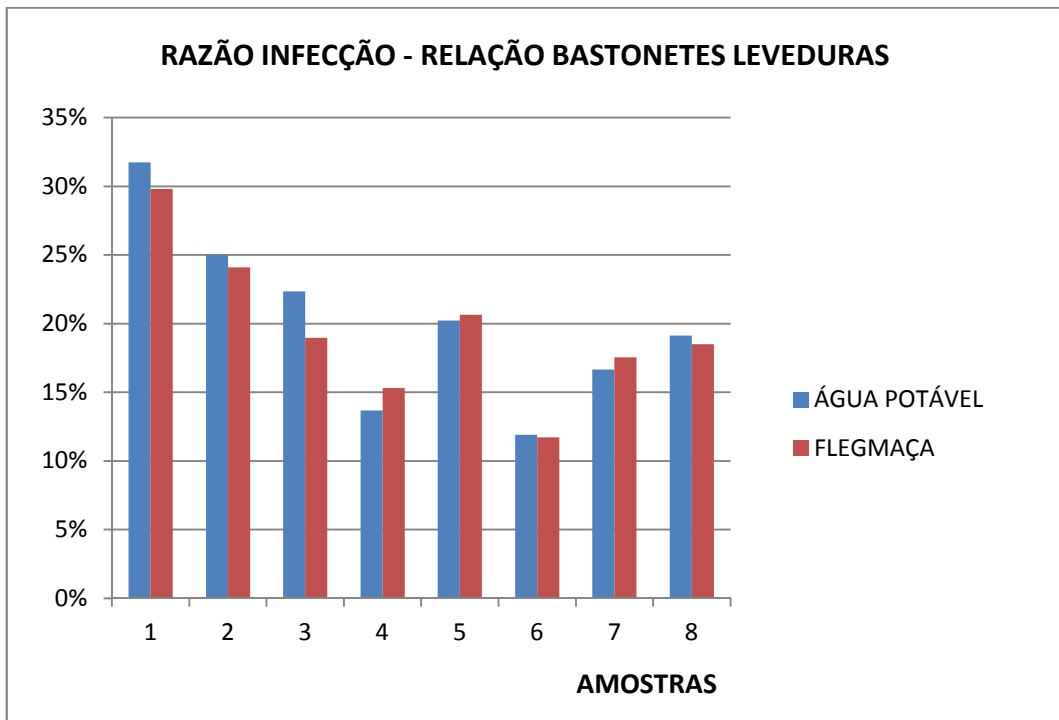


FIGURA 13 – Razão de infecção no vinho fermentado



5.5 Análises Estatísticas dos experimentos.

Foram realizados testes Estatísticos para verificar a margem de erro e as médias, confrontando dados das diluições feitas com água potável com as diluições feitas com flegmaça. Os dados usados foram os resultados das análises feitas no vinho fermentado, de viabilidade, brotamento razão de infecção, ARRT, e porcentagem de álcool.

Os dados foram verificados quanto à presença de *outliers* e testou-se as pressuposições de normalidade dos erros (teste de Cramer-von-Misses) e de homogeneidade de variâncias (teste de Levene). Em seguida, eles foram submetidos à análise de variância através do procedimento GLM do programa SAS[®] (SAS *Institute*, 2002) e em caso de diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%).

TABELAS 4 – Resultados estatísticos - Médias avaliadas pelo programa SAS[®].

Tratamento	Viabilidade (%)	Brotamento (%)	Razão de infecção (%)	ARRT (%)	Álcoois (%)
Água potável	64,43	14,11	20,09	0,12	10,03
Flegmaça	64,83	13,97	19,58	0,10	9,93
P	0,9052 ns	0,9239 ns	0,8672 ns	0,3907 ns	0,6828 ns
CV (%)	10,10	21,43	30,04	25,37	5,16

Médias seguidas de letras iguais (coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$)

CV = Coeficiente de variação

P = Probabilidade

ns = Não significativos

Os resultados apontam que não houve variações significativas e que o uso da flegmaça não afetou o processo de tratamento do fermento e não influenciou negativamente no processo de fermentação.

Pereira (2009) em seu trabalho usou-se vinhaça na diluição do fermento e verificou que não afetou o processo fermentativo em laboratório, sendo que a vinhaça possui cerca de 20 vezes a mais de cargas orgânicas e outros compostos tendo sua maior toxidez em relação à

flegmaça (BRASIL, 2009). Desta forma, o uso da flegmaça seria muito mais interessante. A Figura 14 é um comparativo entre vinhaça, flegmaça e água potável.

FIGURA 14 – Vinhaça, flegmaça e água potável (ARQUIVO PESSOAL)



6 CONCLUSÃO

Através de experimentos laboratoriais, conclui-se que os resultados obtidos com uso da flegmaça na diluição do fermento centrifugado no tratamento das cubas de fermentação foram equivalentes quando comparados com o processo de diluição com água potável. Desta forma pode-se afirmar que o uso da flegmaça não afetou o processo de fermentação e não influenciou a produção de álcool nas condições analisadas, sendo uma ótima alternativa para o setor sucroenergética, levando a diminuição do impacto ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2009.

BNDES E CGEE. **Bioetanol de Cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroalcooleira**. Brasília: ANA, 2009.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Planejamento. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científica e Tecnológico. **Avaliação tecnológica do álcool etílico**. Brasília: 1979.

CAMARGO, C. A. **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool: Manual de recomendações**. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas, 1990.

CAMARGO, C. A. **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool**. In: SILVA, L. A. Métodos convencionais e não convencionais utilizados na clarificação do caldo de cana. 2010. 38 f. Trabalho de graduação – Faculdade de tecnologia em biocombustíveis, Jaboticabal SP, 2010.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPPI, J. **Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização**. In: PEREIRA, T. J. **Estudo da utilização de vinhaça no preparo da cuba e na fermentação alcoólica**. 2009. 126f. Dissertação (mestrado) – Universidade de Ribeirão Preto.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMES, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas SP: Ed. Unicamp, 2008.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. **Manual de métodos de análises de Laboratório**. Piracicaba: 2005.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. In: BARROS, V. G. **Produção de metano e remoção de DQO e nutrientes da vinhaça em reatores UASB em dois estágios inoculado com lodo granulado**. 2010. 44f. Trabalho graduação – Faculdade de tecnologia em biocombustíveis, Jaboticabal SP, 2010.

GORDINHO, M. C. **Do álcool ao etanol: trajetória única**. São Paulo: Ed terceiro Nome, 2010.

HAMERSKI, F. **Estudo das variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana**. In: PAPPA, D. M. A. **Barreiras térmicas e a utilização de UHT na redução da contaminação microbiana no processo fermentativo do caldo de cana**. 2011. 99f. Trabalho graduação – Faculdade de tecnologia em biocombustíveis, Jaboticabal SP, 2008.

LIMA, U.A.; AQUORONE, E.; BORZANI, W.; SHMIDELL, W. **Biotecnologia industrial – Processos fermentativos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2001.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T.A.; JUNIOR, L. C. T. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização**. Jaboticabal, SP: Funep, 2001.

MENEZES, T. J. B. **Etanol: o combustível do Brasil**. São Paulo SP: Agronômica ceres, 1980

MIRANDA, J. R. **História da cana-de-açúcar**. Campinas SP: Komedi, 2008.

PAPPA, D. M. A. **Barreiras térmicas e a utilização de UHT na redução da contaminação microbiana no processo fermentativo do caldo de cana**. 2011. 99f. Trabalho graduação – Faculdade de tecnologia em biocombustíveis, Jaboticabal SP, 2008.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**. São Paulo SP: Nobel: Stab, 1989.

PEREIRA, T. J. **Estudo da utilização de vinhaça no preparo da cuba e na fermentação alcoólica**. 2009. 126f. Dissertação (mestrado) – Universidade de Ribeirão Preto.
SAS Institute, SAS (Statistical Analysis System). **Users guide**. SAS institute Inc., Cary, NC. 2002.

SANTOS, R. C. **Aspectos técnico-operacionais e econômicos para exportação**. 2010. 50f. Trabalho de graduação – Faculdade de tecnologia em biocombustíveis, Araçatuba SP, 2010.

SEGATO, S. U.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba SP: CP2, 2006.

SOUZA, E. L. L.; MACEDO, L. C. **Etanol e Bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo SP: Luc Projetos de Comunicações, 2010.

TÁVORA, E. L. **História e economia dos biocombustíveis no Brasil**. Brasília: Senado Federal, 2011.