



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**Escola de Engenharia de Lorena**

**ESTUDO DO EFEITO DA AERAÇÃO DO MOSTO NAS CARACTERÍSTICAS DO  
PROCESSO CERVEJEIRO.**

**Júnior do Nascimento**

**LORENA - 2011**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**Escola de Engenharia de Lorena**  
**Departamento de Biotecnologia**

**ESTUDO DO EFEITO DA AERAÇÃO DO MOSTO NAS CARACTERÍSTICAS DO  
PROCESSO CERVEJEIRO.**

**Júnior do Nascimento**

**Orientador: Prof. Dr. Ismael Maciel de Mancilha**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Química da Escola de  
Engenharia de Lorena - Universidade  
de São Paulo, como parte dos  
requisitos para conclusão de Curso de  
Engenharia Química.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por toda força e paz espiritual proporcionada a mim ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais por sempre acreditarem no meu potencial, por todo incentivo dado desde que eu ingressei na faculdade em 2006 e por construírem ao longo de minha vida a base que fez de mim o que sou hoje.

Ao Prof. Dr. Ismael Maciel de Mancilha, meu orientador, que foi muito prestativo e mostrou a direção a ser tomada no desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. João Batista de Almeida e Silva, pela gentileza ao orientar a análise sensorial realizada na micro cervejaria da EEL - USP.

Ao Prof. Dr. Messias Borges Silva pelo direcionamento do projeto de trabalho durante o primeiro semestre de 2011.

*“A verdadeira viagem da descoberta não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.”*  
(Marcel Proust)

## RESUMO

NASCIMENTO, J. **Estudo do efeito da aeração do mosto nas características do processo cervejeiro**. 2011. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011.

A cerveja é atualmente a bebida alcoólica mais consumida no Brasil e no mundo. Há indícios de que já era produzida na Babilônia no ano 6000 a. C. e ao longo do tempo, o processo de produção da cerveja tem passado por aprimoramentos visando à melhoria da qualidade, bem como o aumento da produção para atender a demanda de consumo. O processo de produção da cerveja se divide em brassagem (produção do mosto), adegas (fermentação e maturação) e filtração. Uma das etapas do processo é a aeração do mosto após o resfriamento, etapa que precede a dosagem de fermento e é essencial para o crescimento e recuperação da levedura cervejeira. A levedura metaboliza açúcares fermentescíveis tanto em aerobiose como em anaerobiose. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aeração do mosto sobre a fermentação e qualidade do produto final. A proposta foi baseada na utilização do equipamento Turbo Air<sup>®</sup>, implantado em duas salas de brassagem da cervejaria Ambev, unidade de Jacareí, constituinte do grupo AB-Inbev, em comparação a um sistema convencional de aeração, visando uma melhor distribuição e padronização do oxigênio dissolvido no mosto. O desempenho do processo foi avaliado de acordo com alguns parâmetros. O presente trabalho foi desenvolvido nos laboratórios e nas salas de análise da área de processo da Ambev- unidade Jacareí, cujos dados foram obtidos das planilhas de controle interno. O sistema de aeração deve oferecer boas condições de assepsia para se evitar a contaminação. A perda de extrato avalia a eficiência de consumo de substrato para crescimento celular e formação das substâncias de interesse na fermentação. A taxa de multiplicação celular foi avaliada, pois com um controle da aeração do meio se pode controlar a quantidade de fermento recuperada após a centrifugação. Durante a fermentação ocorre a formação de diversos subprodutos responsáveis pela composição do flavour característico da cerveja, como dicetonas, ésteres, acetaldeído e álcoois superiores. Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível verificar a relação entre a aeração e formação de subprodutos da fermentação. O controle da aeração do mosto pela Ambev - unidade de Jacareí foi uma das adequações necessárias para produção de uma cerveja especial na unidade, a qual foi avaliada sensorialmente em comparação à mesma cerveja produzida fora do país. A cerveja produzida em Jacareí teve uma aceitação praticamente igual à cerveja importada. Uma eficiente dissolução do ar no mosto se mostrou necessária e o controle da aeração pelo Turbo Air<sup>®</sup> produziu efeitos positivos tanto na qualidade quanto nos custos do processo.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, J. **Study of the effect of wort aeration in the beer process characteristics**. 2011. 47 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011.

The beer is currently the most widely consumed alcoholic beverage in Brazil and worldwide. There is evidence that it was produced in Babylon in the year 6000 b. C. and over time, the process of beer production has undergone enhancements aimed at improving the quality and increase production to meet consumer demand. The production process is divided into brew-house (wort production), cellar (fermentation and maturation) and filtration. One of these steps is aeration of the wort after the cooling step that precedes the dosage of yeast and is essential for the growth of brewing yeast. The yeast metabolizes sugars fermentable both aerobically and anaerobically. This study aimed to evaluate the effect of aeration on fermentation and wine quality of the final product. The proposal is based on the use of the equipment Turbo Air<sup>®</sup>, established in two brewhouses of AmBev brewery - Jacareí site, part of the group AB-Inbev, compared to a conventional aeration system, to improve the standardization and distribution of dissolved oxygen in the wort. Process performance was evaluated according to some parameters. This work was carried out in laboratories and classrooms for the analysis of process area Ambev - Jacareí site, whose data were obtained from sheets of internal control. The aeration system should offer good aseptic conditions to avoid contamination. Extract loss evaluates the efficiency of substrate consumption for cell growth and formation of the substances of interest in the fermentation. The rate of cell proliferation was assessed as a control of aeration of the medium can control the amount of yeast recovered after centrifugation. During the fermentation is the formation of several by-products responsible for the composition of the characteristic flavor of beer, as diketones, esters, acetaldehyde and higher alcohols. With the development of this work was possible to verify the relationship between the aeration and the formation of by-products of fermentation. Control of the aeration of the wort by AmBev - Jacareí site was one of the adjustments necessary to produce a special beer in the site, which was evaluated in comparison to the same sensory beer produced outside the country. The beer produced in Jacareí had practically the same acceptance of imported beer. An efficient air dissolved in the wort and the aeration control proved by Turbo Air<sup>®</sup> had positive effects both on the quality and cost of the process.

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1: Perda de extrato no processo Fermat .....	23
Equação 2: Desvio-padrão para uma população de medidas consideradas .....	23
Equação 3: Cálculo da taxa de multiplicação celular .....	24
Equação 4: Determinação do coeficiente de correlação de Pearson .....	29
Equação 5: Determinação do coeficiente de variação .....	30

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Fluxograma do processo cervejeiro (ENCICLOPÉDIA BARSA, 1974). .....	17
Figura 2: Vias metabólicas observadas na fermentação do mosto cervejeiro. ....	18
Figura 3: Vias metabólicas de formação de dicetonas.....	19
Figura 4: Via representativa da formação de ésteres. ....	20
Figura 5: Via metabólica de formação de álcoois superiores. ....	21
Figura 6: Turbo-Air <sup>®</sup> . ....	23
Figura 7: Sistema de aeração convencional.....	24
Figura 8: Ficha de degustação utilizada.....	26



**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Perda de extrato no processo Fermat pelo sistema Convencional e pelo Turbo Air. ....	28
Gráfico 2: Variação da taxa de multiplicação celular nos fermentadores em função da PE no processo Fermat. ....	31
Gráfico 3: Nível de oxigênio dissolvido no mosto (ppm) em função do nível de aeração estabelecido no Turbo Air (gramas de ar por HL de mosto). ....	32
Gráfico 4: Concentração de diacetil nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação. ....	38
Gráfico 5: Concentração de pentanodiona nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação. ....	40
Gráfico 6: Concentração de dicetonas totais nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação. ....	41
Gráfico 7: Concentração de acetato de isoamila nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação. ....	43
Gráfico 8: Concentração de acetaldeído nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação. ....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais ésteres na cerveja. ....	20
Tabela 2: Perda de extrato no processo Fermat em fermentadores cujo mosto foi submetido a aeração por diferentes processos. ....	29
Tabela 3: Características do processo Fermat, cujo mosto foi submetido a aeração por diferentes processos. ....	30
Tabela 4: Nível de oxigênio dissolvido (ppm) no mosto aerado pelo sistema Turbo Air. ...	32
Tabela 5: Nível de oxigênio dissolvido (ppm) no mosto aerado pelo sistema convencional. ....	33
Tabela 6: Nível de contaminação por bactérias aeróbias (WLD) e leveduras selvagens (YM) nos fermentadores, cujo mosto foi aerado pelos diferentes sistemas. ....	35
Tabela 7: Percentual de fermentadores contaminados que foram alimentados por mosto aerado pelos sistemas Turbo Air e convencional. ....	36
Tabela 8: Concentração de diacetil (ppb) em três fermentadores, cujos níveis de aeração estão apresentados. ....	37
Tabela 9: Concentração de pentanodiona (ppb) em três fermentadores, cujos níveis de aeração estão apresentados. ....	39
Tabela 10: Concentração de dicetonas totais (ppb) em três fermentadores, cujos níveis de aeração estão apresentados. ....	40
Tabela 11: Concentração de acetato de isoamila (ppm) em três fermentadores, cujos níveis de aeração do mosto estão apresentados. ....	42
Tabela 12: Concentração de acetaldeído (ppm) em três fermentadores, cujos níveis de aeração do mosto estão apresentados. ....	44
Tabela 13: Resultados da análise sensorial. ....	45

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Processo de produção da cerveja.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. A aeração do mosto e sua importância na fermentação.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3. Contaminação microbiológica .....</b>	<b>22</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. Comparação do Turbo Air® com o sistema de aeração convencional .....</b>	<b>27</b>
4.1.1. <i>Perda de extrato.....</i>	27
4.1.2. <i>Taxa de multiplicação celular .....</i>	30
4.1.3. <i>Oxigênio dissolvido.....</i>	31
4.1.4. <i>Contaminação microbiológica .....</i>	33
<b>4.2. Formação de subprodutos da fermentação .....</b>	<b>36</b>
4.2.1. <i>Formação da diacetil (2,3-butanodiona).....</i>	36
4.2.2. <i>Formação da 2,3-pentanodiona e dicetonas totais .....</i>	38
4.2.3. <i>Formação de éster (acetato de isoamila) .....</i>	41
4.2.4. <i>Formação de acetaldeído .....</i>	43
<b>4.3. Análise sensorial.....</b>	<b>45</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cerveja é atualmente a bebida alcoólica das mais populares. De acordo com o decreto nº 2.314, de 4 de setembro de 1997 do Ministério da Agricultura, a cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo.

Basicamente, o processo de produção da cerveja se divide em brassagem (produção do mosto), adegas (fermentação e maturação) e filtração. Uma das etapas do processo é a aeração do mosto após o resfriamento, etapa que precede a dosagem de fermento e é essencial para o crescimento e recuperação da levedura cervejeira.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aeração do mosto sobre a fermentação e qualidade do produto final. A proposta foi baseada na utilização do equipamento Turbo Air<sup>®</sup>, implantado em duas salas de brassagem da Ambev unidade Jacareí em comparação ao sistema convencional de aeração via vela sinterizada na linha de mosto. O Turbo Air<sup>®</sup> permite que exista uma dosagem de ar no mosto padronizada, na qual a dosagem ocorre em função da vazão instantânea de mosto na tubulação de transferência do resfriador ao fermentador, de acordo com um set-point estabelecido.

A primeira parte do trabalho consiste em realizar a comparação entre resultados no processo cervejeiro decorrentes da utilização do Turbo Air<sup>®</sup> em relação ao sistema de aeração convencional por vela sinterizada. Essa comparação é feita através dos resultados de Perda de Extrato, taxa de multiplicação celular, análises de oxigênio dissolvido no mosto e contaminação microbiológica nos fermentadores.

A segunda parte do trabalho consiste em analisar a formação dos subprodutos na fermentação e sua relação com a mudança no set-point de aeração. A fermentação é a etapa do processamento em que ocorre a formação de álcool, de dióxido de carbono e o início da configuração do flavour da cerveja, através da formação de ésteres, aldeídos, ácidos voláteis, etc., oriundos do metabolismo das leveduras. Foram analisadas a formação de diacetil, pentanodiona, dicetonas totais, acetato de isoamila e acetaldeído. A aeração do mosto é um dos fatores que influenciam a fermentação de mostos cervejeiros. O estudo da etapa fermentativa do processo de produção de cerveja permite o desenvolvimento de estratégias de otimização, dentre elas uma adequada aeração do mosto.

A terceira parte consiste na análise sensorial de uma marca de cerveja produzida em Jacareí, Brasil e em Santa Fé, Argentina. A implantação do Turbo Air<sup>®</sup> foi uma das adequações realizadas no processo e juntamente com outras melhorias permitiram a

produção dessa cerveja na Ambev de Jacareí. Amostras de cerveja adquiridas no mercado produzidas no Brasil e Argentina foram avaliadas, permitindo verificar a aceitação do consumidor do produto nacional em relação ao importado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Processo de produção da cerveja

O processo de produção da cerveja (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2011) compreende as seguintes etapas:

Malteação da cevada: A malteação da cevada é a etapa na qual são produzidas as enzimas por meio da indução da germinação dos grãos de cevada (BAMFORTH, 2003). De acordo com Briggs (2004) a cevada não pode ser utilizada diretamente para a produção de cerveja, por três razões: 1) Os componentes do endosperma não são solúveis. Substâncias como o amido, a proteína e a hemicelulose precisam ser decompostos por meio da ação das enzimas e, com isso, transformados em substâncias solúveis em água; 2) Faltam enzimas importantes, como as amilases e proteases, necessárias para a quebra do amido e proteínas no processo de mosturação; 3) Falta o aroma típico de malte.

O processo de malteação é dividido em maceração, germinação e secagem.

Moagem do Malte: No início da produção o malte é enviado até os moinhos que tem a função de promover a quebra da casca e então liberar o material amiláceo para o processo. Outra função da moagem é promover a diminuição do tamanho de partícula do malte de modo a aumentar sua área superficial, aumentando o desempenho da hidrólise do amido.

Mosturação: Após ser moído o malte é enviado até as tinas de mostura. Nessa etapa o malte moído é misturado com água e submetido a aquecimento. O aquecimento cria condições ótimas para a hidrólise enzimática do amido por meio da alfa-amilase e da beta-amilase, gerando glicose, maltose e as dextrinas. A parte solúvel dos materiais triturados é chamada de mosto (Carneiro, 2010). A mosturação ocorre numa faixa ente 44 e 76°C. Os tempos e temperaturas de mosturação variam de acordo com a composição desejada do mosto.

Filtração do mosto: A mistura obtida, também chamada de mostura, passa por uma tina de clarificação (ou filtro prensa) que tem a função de separar o bagaço de malte. Na torta formada ainda existem frações de açúcares que poderão ser utilizados na fermentação. É necessário lavar a torta com água aquecida para solubilizar o açúcar existente. A temperatura ótima para uma lavagem eficiente da torta de bagaço é por volta de 76°C.

Fervura: Em seguida o mosto é adicionado a um tanque no qual recebe a adição de lúpulo. A mistura é fervida por volta de 60 minutos. Durante esse intervalo, ocorre a extração e isomerização de alguns óleos essenciais extraídos do lúpulo. Briggs (2004)

reporta que os objetivos da fervura do mosto são múltiplos e as operações que se desenvolvem simultaneamente na caldeira de fervura são: inativação das enzimas, esterilização do mosto, coagulação de compostos proteicos (auxiliado pelas substâncias do lúpulo), eliminação de voláteis prejudiciais à qualidade da cerveja, concentração do mosto, transferência dos componentes aromáticos e amargos do lúpulo para o mosto. Dessa forma, verifica-se que a fervura estabiliza o mosto segundo os aspectos bioquímico, biológico, coloidal, além de conferir aroma e paladar.

**Decantação:** A decantação tem o objetivo de separar o chamado trub quente do mosto. O trub quente é constituído de substâncias que precipitaram durante a fervura do mosto, como as proteínas que sofreram desnaturação. Essas substâncias podem conferir um paladar indesejável à cerveja. Geralmente se utiliza um recipiente intermediário, como o whirlpool, para efetuar a decantação, por cerca de 20 minutos, antes de iniciar o resfriamento.

**Resfriamento:** O resfriamento do mosto tem como objetivo prepará-lo para a próxima etapa do processo: a fermentação. O resfriamento ocorre com água gelada, que troca calor com o mosto e o resfria de uma temperatura de 98°C para 9°C. Água quente é recuperada no processo e é utilizada nas fases de mosturação, cozimento de adjunto e filtração do mosto, bem como para limpeza dos tanques e tubulações.

**Aeração do mosto:** O objetivo da aeração é incorporar oxigênio no mosto após a etapa de resfriamento. Aerar o mosto é necessário porque a levedura precisa de oxigênio para dar início à sua fase de propagação. Essa fase do processo será mais bem explorada neste trabalho.

**Fermentação:** Nessa fase, as leveduras irão consumir os açúcares fermentescíveis, irão se reproduzir e, além disso, irão produzir álcool e dióxido de carbono e também alguns ésteres, ácidos e álcoois superiores que irão conferir propriedades sensoriais à cerveja. A fermentação ocorre em tanques fechados, revestidos por uma camisa externa que permite a passagem de fluido refrigerante (amônia ou etileno glicol) para manter o sistema na temperatura desejada, que pode variar de 10 a 25°C.

O tipo de processo fermentativo dependerá da levedura utilizada, sendo:

-Cerveja de Alta Fermentação - Levedura: *Saccharomyces cerevisiae*; as células tendem a se concentrar na parte superior do fermentador;

-Cerveja de Baixa Fermentação - Levedura: *Saccharomyces uvarum*; quando as células se concentram na parte inferior do fermentador.

Na alta fermentação, as leveduras tendem a se situar nas partes superiores do fermentador e na baixa fermentação, nas partes inferiores.

**Centrifugação:** Para que a cerveja possa ser encaminhada aos tanques de maturação, é necessário retirar a maior parte do fermento presente na mesma por meio da centrifugação. Esta etapa é uma maneira de multiplicar o efeito de decantação natural das partículas, pois é favorecida pelo fator aceleração centrífuga, acarretando na diminuição do tempo de decantação de sólidos. Para se intensificar este processo pode-se adicionar um agente clarificante na saída da centrífuga. Nas cervejas especiais dosa-se sílica, resultando em uma maior estabilidade coloidal.

Na AmBev, após a etapa de fermentação, inicia-se o que é chamado de processo Fermat, que consiste em utilizar um resfriador após a centrifugação. Assim, a cerveja é enviada na temperatura ideal ( $-1^{\circ}\text{C}$ ) para iniciar o processo de maturação, reduzindo o tempo desta etapa. No processo Fermat deve-se tomar atenção quanto à incorporação de oxigênio na fase de centrifugação, uma vez que a incorporação de oxigênio na cerveja interfere negativamente nas suas características sensoriais. Outro item de controle importante na etapa de centrifugação é a quantidade de células presentes em suspensão na cerveja, que não pode ultrapassar o número de  $5 \cdot 10^5$  células/mL.

**Maturação:** Terminada a fermentação, a cerveja é enviada aos tanques de maturação nos quais é mantida por períodos variáveis a temperatura de aproximadamente  $0^{\circ}\text{C}$ . Essa fase é importante, pois ocorre sedimentação de algumas partículas em suspensão e também se desencadeiam algumas reações de esterificação que irão produzir alguns compostos aromatizantes essenciais para a cerveja.

**Filtração:** Nessa etapa, é acrescida terra diatomácea a cerveja madura, com o objetivo de remover as partículas em suspensão e também adsorver certas substâncias que conferem cor desagradável à cerveja. Após a filtração, a cerveja passa por uma fase na qual se incorpora dióxido de carbono (obtido da própria fermentação), e também outras substâncias como estabilizantes e antioxidantes que irão garantir a qualidade da cerveja e aumentar seu tempo de prateleira.

**Pasteurização:** A cerveja engarrafada antes de ser pasteurizada recebe a denominação Chopp, e após pasteurização passa a ser denominada cerveja. O objetivo da pasteurização é eliminar alguns microrganismos que irão prejudicar as características originais da cerveja. A pasteurização costuma ser realizada a temperaturas por volta de  $70^{\circ}\text{C}$ , temperatura letal para os microrganismos em questão.

Na Figura 1, encontra-se apresentado o fluxograma do processo cervejeiro.

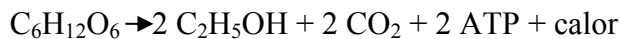




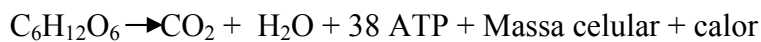
Figura 1: Fluxograma do processo cervejeiro (ENCICLOPÉDIA BARSA, 1974).

## 2.2. A aeração do mosto e sua importância na fermentação

As leveduras cervejeiras metabolizam os açúcares fermentescíveis por meio de duas vias metabólicas, sendo que na ausência de oxigênio o balanço da fermentação corresponde a:



Por outro lado, na presença de  $O_2$ , a levedura realiza biossíntese, cujo balanço pode ser expresso como:



Na fermentação do mosto cervejeiro, as duas vias são importantes. A via respiratória é importante para que o fermento cresça e se revigore e a via fermentativa tem a função da transformação do mosto em cerveja pela conversão dos açúcares em  $CO_2$  e etanol. Pelo fato de a via respiratória ser mais viável energeticamente, enquanto existe oxigênio disponível no meio, a levedura realiza multiplicação celular (Aquarone, 2001).

Bamforth (2004) ressalta a importância da aeração para a ocorrência da primeira etapa do processo fermentativo. O mosto é aerado logo após o resfriamento, pois as leveduras necessitam de oxigênio para sua multiplicação, como descrito por Papazian (1991). É recomendada a aeração após o resfriamento do mosto porque a oxigenação do mosto quente provoca oxidações e contribui para o surgimento de sabores indesejáveis na cerveja. A injeção de ar deve ser contínua e automatizada ao longo de todo o período de resfriamento do mosto.

Durante a fermentação os açúcares são convertidos em etanol e  $\text{CO}_2$ . Paralelamente ocorre a formação de ácidos, álcoois alifáticos superiores, ésteres, diacetil, acetoína, dentre outros. Os ácidos formados são principalmente os ácidos orgânicos, como o ácido acético, ácido fórmico, piruvato, malato, D-lactato, L-lactato e citrato. Consequentemente, ocorre uma redução do pH de cerca de 5,2 para 4,4. Esta redução contribui para que a estabilidade microbiológica da cerveja seja aumentada, o amargor característico da cerveja seja mais agradável e a cor mais clara. O pH da cerveja depende principalmente do pH do mosto, tamponamento do meio e da formação desses ácidos durante a fermentação (GUIDO et. al., 2004) . Durante a fermentação, a levedura se adapta às mudanças no meio. Segundo Briggs (2004), a aeração do mosto é um dos fatores que afetam a etapa da fermentação. A quantidade de oxigênio dissolvido bem como a diminuição da concentração de substrato direciona a sequência de assimilação dos componentes do meio fermentativo, bem como a formação de subprodutos do metabolismo de maneira coordenada. O flavor da cerveja resulta da mistura de compostos oriundos do metabolismo aeróbio e anaeróbio oriundos das diferentes fases da fermentação. O oxigênio dissolvido impacta na produção de subprodutos da fermentação como dicetonas, álcoois superiores, ésteres e acetaldeído (BRÁNYIK et. al., 2008).

Na Figura 2, encontram-se ilustrados as principais vias metabólicas utilizadas pela levedura na fermentação do mosto cervejeiro (CARNEIRO, 2010). Analisando a Figura 2, pode-se observar que a principal fonte de energia para a levedura e o elemento necessário para a formação do etanol são os açúcares, neste caso representado pela glicose. Os compostos gerados a partir das outras vias metabólicas são fundamentais para a construção da estrutura celular e para formação de compostos responsáveis pelo flavor da cerveja.

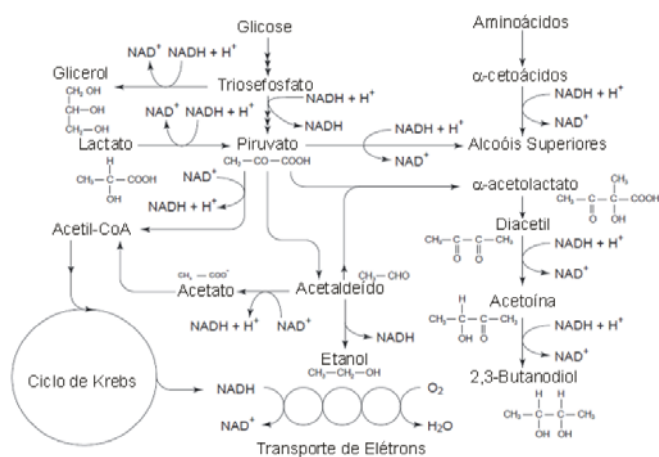


Figura 2: Vias metabólicas observadas na fermentação do mosto cervejeiro.

As dicetonas (Figura 3) são resultantes indiretos do metabolismo da levedura que conferem um aroma “amanteigado” às bebidas alcoólicas. Dois desses compostos são importantes na cerveja: Diacetil (2,3-butanodiona) e 2,3-pentanodiona. Seus precursores são os alfa-aceto hidróxi-ácidos, intermediários nas vias de formação da valina e isoleucina. Do início até meados da fermentação primária, quantidades de alfa-aceto hidróxi-ácidos são excretados no meio, no qual são submetidos à descarboxilação oxidativa para formar diacetil e pentanodiona. Do meio para o final da fermentação, as células de leveduras sintetizam as enzimas necessárias (redutases) para reduzir o diacetil em acetoína e, posteriormente, a 2,3-butanodiol, e para reduzir a 2,3-pentanodiona a 2,3-pentanodiol. Estes permanecem na cerveja, mas trazem menos impacto no flavor do que as dicetonas e sua presença pode ser tolerada (BOULTON; QUAIN, 2001). Hui (2006) frisou que é necessário um número suficiente de células em suspensão para obter uma redução de dicetonas eficiente. A aeração é um dos parâmetros que garante a quantidade adequada de células no meio.

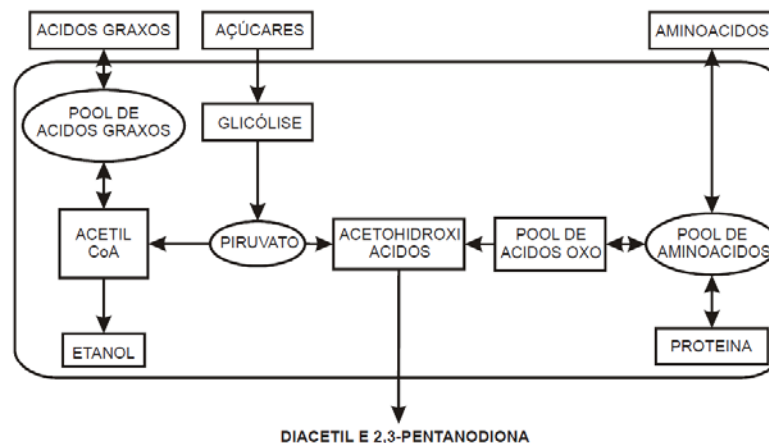


Figura 3: Vias metabólicas de formação de dicetonas.

Ésteres são compostos importantes para a configuração do flavour na cerveja, pois eles conferem ao produto um aroma frutal/floral. Segundo Russel e Stewart (1995) baixos níveis de O<sub>2</sub> parecem melhorar a formação de éster. De acordo com Gee (1990), os ésteres em quantidades moderadas são desejáveis, pois conferem um aroma agradável à cerveja. Quando presentes em excesso provocam a formação de um forte aroma de frutas, que é considerado indesejável pela maioria dos consumidores. Os principais ésteres presentes na cerveja podem ser subdivididos em ésteres acéticos e ésteres etílicos (compostos por ácidos graxos de cadeia média – de seis a dez carbonos) cuja formação é dependente da cepa de levedura utilizada (HUI, 2006). A concentração

desses ésteres na cerveja pode ser observada na Tabela 1. Os ésteres são produzidos principalmente na fermentação primária, pela reação intracelular entre um acil-coenzima A e álcool. O esquema do mecanismo de esterificação intracelular pode ser observado na Figura 4. Vários são os fatores que influenciam a formação do éster. Grandes quantidades de oxigênio favorecem a utilização da acetil-CoA na síntese de lipídeos essenciais para o crescimento da levedura (SMART, 2003).

Tabela 1: Principais ésteres na cerveja.

Composto	Faixa Encontrada (mg/L)	Aroma	Gama de Concentração (mg/L) em 48 cervejas
Acetato de Etila	20 - 30	Frutal	8 - 32
Acetato Isoamílico	0,6 - 1,2	Banana	0,2 - 3,8
Caproato de Etila	0,17 - 0,21	Parecido com maçã com notas de anis	0,05 - 0,3
Caprilato de Etila	0,3 - 0,9	Parecido com maçã	0,04 - 0,53
Acetato de Feniletila	3,8	Rosas, mel, maçã, adocicado	0,10 - 0,73

Fonte: Dofour & Malcorps, 1994

Referência: Hui, 2006

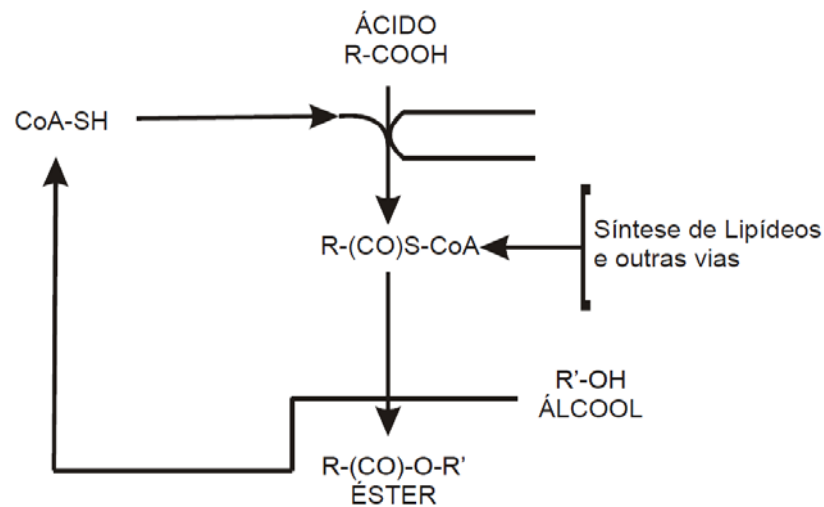


Figura 4: Via representativa da formação de ésteres.

Uma quantidade de células adequada é essencial na formação do acetaldeído. Segundo Gee (1990) o mecanismo de formação do acetaldeído, principal aldeído formado, é relativamente complexo, no qual a fonte primária de acetaldeído vêm da redução do acetato (resultante da decomposição do acetil-CoA). Ao longo da fermentação, a concentração de acetaldeído decresce, pois é consumido pelas leveduras.

Os álcoois superiores são compostos responsáveis pelo aroma característico do final do processo de fermentação (KUNZE, 1999). Os álcoois superiores geralmente fornecem um sabor indesejado à cerveja, sendo considerado um sabor parecido com plástico ou solvente e provocam efeitos fisiológicos indesejáveis ao consumidor (GEE, 1990). Esses compostos são formados pela descarboxilação oxidativa dos oxo-ácidos derivados dos aminoácidos (Figura 5) e podem ser classificados como alifáticos e aromáticos. Šmogrovičová e Dömény (1999); Landaud, Latrille, e Corrieu (2001); e Brányik et. al. (2004); mencionam que ao estimular o crescimento da levedura observa-se uma maior formação de álcoois superiores, que pode ser observado pelo aumento da aeração do meio. A formação desses álcoois depende também da temperatura de fermentação, cepa de levedura, quantidade de levedura, multiplicação da levedura e do percentual de extrato fermentado. Os álcoois alifáticos superiores são produtos do metabolismo de aminoácidos. Os aminoácidos responsáveis pela formação dos álcoois alifáticos superiores são três: a L-leucina, L-isoleucina e a L-valina, conforme via metabólica apresentada na Figura 5.

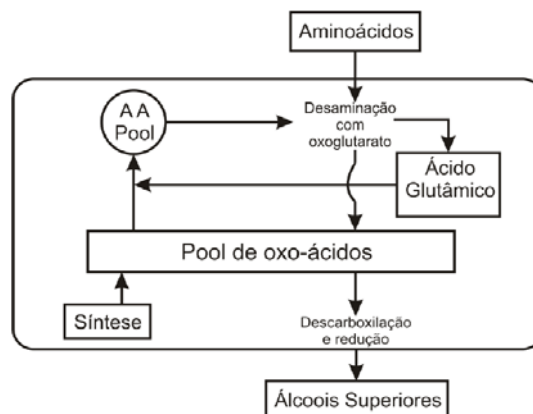


Figura 5: Via metabólica de formação de álcoois superiores.

A levedura cervejeira em anaerobiose é incapaz de sintetizar esteróis e ácidos graxos insaturados, componentes essenciais de sua membrana. Esteróis e ácidos graxos insaturados estão presentes no mosto em uma quantidade insuficiente. Estes compostos são abundantes no malte, mas o processo de produção do mosto impede que permaneçam, e conseqüentemente a oxigenação do mosto estimula a síntese desses compostos pela levedura (BRÁNYIK et. al., 2008).

É importante ressaltar que a etapa de fermentação não depende apenas da aeração do mosto, porém de várias outras características do meio, como temperatura, composição química e concentração de extrato no mosto, quantidade e o modo de

inoculação da levedura no mosto, geometria e dimensões dos tanques fermentadores. Depraetere (2008) ressaltou que a aeração do mosto não é um fator determinante para a estabilidade do flavor, porém mencionou que uma ineficiente aeração pode ter um impacto negativo no processo.

Na prática, o manual técnico em cervejarias (VIEIRA, 2004) aponta que quanto menor a temperatura do mosto, maior será a absorção de oxigênio e quanto menores as bolhas de ar injetadas, maior será transferência de oxigênio e mais rápida a saturação e quanto mais diluído o mosto, maior e mais forte será a absorção de oxigênio.

### **2.3. Contaminação microbiológica**

A contaminação microbiológica pode ocorrer por uma série de fatores no processo de produção da cerveja. Matéria-prima, o ar, água de processo, aditivos e mesmo a levedura inoculada podem se tornar uma fonte constante de contaminantes. Resíduos vindos de tanques, tubulações, válvulas, trocadores de calor e outros equipamentos empregados no processo apresentam risco potencial de recontaminação. Os efeitos da contaminação variam desde pequenos efeitos no flavor da cerveja até o desempenho da fermentação, defeitos no aroma, problemas de turvação, taxas de atenuação anormal e perda de atividade de levedura.

Uma das contaminações que pode ocorrer por meio da aeração do mosto é a contaminação por levedura selvagem. Qualquer outro tipo de levedura que não a inoculada pode ser considerada levedura selvagem, que podem estar presentes em várias etapas do processo e podem conferir flavor indesejável a cerveja, pela formação de diferentes ésteres, álcoois e produção de dicetonas. Um sistema de aeração que forneça condições adequadas de assepsia pode ajudar a eliminar um dos pontos de contaminação microbiológica no processo cervejeiro (GOLDAMMER, 2008).

Outra contaminação que pode ser oriunda da aeração é a contaminação por bactérias ácido lácticas (DRAGONE, et. al., 2008), que são bactérias Gram-positivas, imóveis, com complexa demanda nutricional e capacidade respiratória limitada. As bactérias lácticas causam turbidez, acidez e odores desagradáveis devido à formação de vários produtos do metabolismo. O odor desagradável mais importante associado às bactérias lácticas é aquele associado à formação de diacetil e pentanodiona.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido nos laboratórios e nas salas de análise da área de processo da Ambev - Jacareí, cujos dados foram obtidos das planilhas de controle interno. Desta forma, avaliou-se o efeito da aeração do mosto por meio do equipamento Turbo Air<sup>®</sup> e pelo sistema convencional.

O equipamento Turbo Air<sup>®</sup> (Figura 6) permite que seja dosada a aeração do mosto de acordo com um “set-point” previamente estabelecido, em gramas que se deseja dosar de ar por hectolitro de mosto que passa na linha de resfriamento. O mosto passa primeiramente por um medidor de vazão que integra o equipamento. A partir da vazão instantânea de mosto, o aparelho calcula o necessário de ar em gramas por hora, de acordo com o “set-point” estabelecido. A quantidade de ar dosada varia de acordo com a abertura das válvulas que compõem o aparelho.

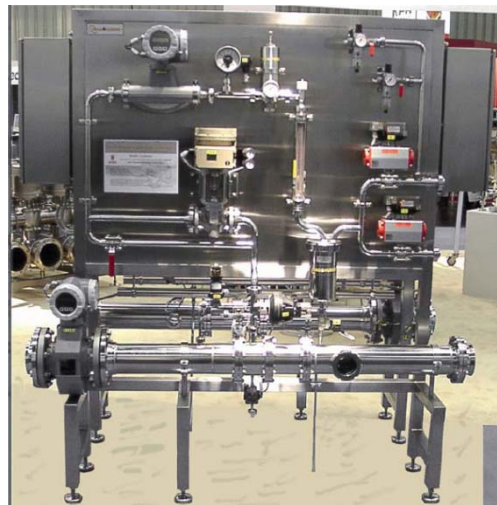


Figura 6: Turbo-Air<sup>®</sup>.

O sistema convencional (Figura 7) funciona com uma dosagem fixa de ar no mosto, no qual o ar comprimido passa por um manômetro, um sistema de filtros e é dosado no mosto. Porém este sistema é suscetível a variações de vazão no resfriador.

Desta forma avaliou-se o efeito dos referidos sistemas de aeração sobre parâmetros que permitem avaliar o desempenho do processo, como:



Figura 7: Sistema de aeração convencional.

Perda de extrato: consiste em se determinar a quantidade de substrato residual no meio fermentado. Observa-se que em meio aeróbio, ocorre crescimento celular da levedura. Existe uma quantidade de ar que deve ser dosado no mosto para que se obtenha uma massa celular adequada para o processo fermentativo. Após fermentação, a cerveja é centrifugada para remoção das células em suspensão para então seguir para a maturação. Na centrifugação é possível medir o volume total de cerveja obtida. A perda de extrato é a diferença percentual entre quanto de cerveja se esperava obter a partir do volume inicial de mosto e o volume real medido no Fermat. Com uma aeração adequada é possível aperfeiçoar a quantidade de extrato que é transformada em cerveja e a quantidade que é transformada em massa celular. Foi feita uma análise comparativa de perda de extrato no Fermat de tanques com mosto aerado pelo Turbo-Air<sup>®</sup> e de tanques com mosto aerado pelo sistema convencional.

Entende-se por extrato todas as substâncias que foram dissolvidas ou solubilizadas durante o preparo do mosto. O extrato nas cervejarias é expresso em graus Plato (°P), que representa a quantidade de sólidos dissolvida em 100g de mosto. O extrato é determinado utilizando-se densímetros eletrônicos. Para o cálculo da Perda de Extrato (PE) no Fermat, se utiliza a Equação 1.

$$PE_{\text{Fermat}} = \left( 1 - \frac{V_{\text{CR}} \cdot E_{\text{CR}} \cdot \rho_{\text{C}}}{V_{\text{MF}} \cdot E_{\text{MF}} \cdot \rho_{\text{M}}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Na qual:

$PE_{\text{Fermat}}$  = perda de extrato no processo Fermat (%)

$V_{\text{CR}}$  = volume de cerveja obtido na centrifugação (HL)

$V_{\text{MF}}$  = volume de mosto frio enviado ao fermentador (HL)

$E_{\text{CR}}$  = extrato da cerveja fermentada (°P)



$E_{MF}$  = extrato do mosto frio (°P)

$\rho_C$  = peso específico da cerveja

$\rho_M$  = peso específico do mosto

Foi determinado o desvio padrão nas medidas consideradas, através da Equação 2.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2)$$

Taxa de multiplicação celular: é determinada por meio da relação entre a quantidade de células obtidas ao final da centrifugação comparada à quantidade inicial que foi inoculada. A taxa ( $T_m$ ) é calculada por meio da comparação entre a massa de fermento inoculada ( $m_{inoculada}$ ) no início da fermentação e a massa recuperada ao final da centrifugação ( $m_{recuperada}$ ) (Equação 3). Com uma aeração adequada, é esperado se obter uma taxa de multiplicação celular da levedura mais controlada. Foram comparadas as taxas de multiplicação celular de tanques fermentadores aerados com o Turbo-Air<sup>®</sup> e tanques aerados pelo sistema convencional.

$$T_m = \frac{m_{inoculada}}{m_{recuperada}} \quad (3)$$

Oxigênio dissolvido: o objetivo deste procedimento foi comparar o nível de oxigênio dissolvido quando o mosto foi aerado pelos sistemas em estudo. Para tal, as amostras foram coletadas na linha de mosto durante o resfriamento e os níveis de oxigênio dissolvido foram determinados por meio de um medidor de bancada (orbisphere 3600). A amostragem para análise de oxigênio dissolvido é bastante suscetível a erros, pois só em coletar-se a amostra se pode incorporar ou desprender oxigênio do mosto.

Contaminação microbiológica: foi determinado o nível de contaminação por levedura selvagem e bactérias lácticas nos fermentadores contendo o mosto aerado pelos sistemas em estudo. Foram coletadas amostras de 50 a 60 mL de cada fermentador analisado, dos quais 2 mL foram utilizados na inoculação em ágar e realizada a contagem de colônias formadas após 7 dias. Vale destacar que o equipamento Turbo-Air<sup>®</sup>, dispõe de um mecanismo automático de esterilização, o qual será avaliado em relação à eficiência do sistema. Foram analisados tanques oriundos das salas 1 e 3, pois o aerador Turbo Air da sala 2 não foi esterilizado no mês de dezembro e janeiro devido à indisponibilidade de vapor para o sistema.

Formação de subprodutos: Foi estudada a formação de subprodutos que compõem o flavor da cerveja, como dicetonas e ésteres e sua influência nas características físico-químicas da cerveja, que foram determinadas por cromatografia gasosa empregando-se o amostrador Agilent G1888 e o cromatógrafo gasoso Agilent 7890A.

Análise sensorial: a utilização do Turbo Air pela Ambev Jacareí foi uma necessidade no intuito de produzir uma cerveja especial já fabricada em outros países. O controle da aeração do mosto é necessário para obterem-se as características sensoriais desejadas dessa cerveja, que será denominada cerveja “A” neste trabalho.

As avaliações sensoriais foram realizadas no laboratório de análise sensorial da micro cervejaria da Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo, em cabines individuais. As amostras de cerveja foram servidas em copos descartáveis de 30 mL, à temperatura de 10°C, juntamente com um copo de água e biscoito de água e sal. Participaram da degustação 30 pessoas entre alunos, professores e funcionários da EEL. Cada degustador recebeu uma amostra de cerveja “A” nacional, produzida em Jacareí – SP e uma amostra de cerveja “A” importada, produzida em Santa Fé, na Argentina.

A ficha de degustação que foi utilizada está apresentada na Figura 8.

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Nº da Amostra: \_\_\_\_\_

Você está recebendo a amostra de uma cerveja especial. Por favor, observe, sinta o aroma e prove essa cerveja., Em seguida, utilize a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou, em relação a cada item :

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Nem gostei nem desgostei
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

Em relação à aparência \_\_\_\_\_

Em relação ao aroma \_\_\_\_\_

Em relação ao sabor \_\_\_\_\_

Em relação à impressão global \_\_\_\_\_

Comentários:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 8: Ficha de degustação utilizada.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Comparação do Turbo Air<sup>®</sup> com o sistema de aeração convencional

#### 4.1.1. Perda de extrato

Para o cálculo da perda de extrato (PE) no processo FERMAT, foi utilizada a Equação 1, com dados obtidos de tanques fermentadores alimentados com mosto aerado pelo aparelho Turbo Air e pelo sistema convencional. A Tabela 2 apresenta os dados obtidos, sendo que a diferença  $V_{MF}-V_{CR}$  (em HL) na Tabela 2 representa a diferença entre o volume de mosto frio transferido para o fermentador e o volume na saída da centrífuga, ou seja, volume de cerveja enviada ao maturador.

Para efeito de demonstração se escolheu os dados do fermentador de número 65, sendo então considerado que este fermentador foi alimentado com 4037 HL de mosto contendo 16,33°P. O volume de cerveja obtido na saída da centrífuga, que foi enviado para o maturador, correspondeu a 3990 HL contendo extrato equivalente a 16,35°P. Assim, por meio da Equação 1 calculou-se a perda de extrato (PE) que correspondeu a 1,04%.

Ressalta-se que a perda de extrato (PE) apresenta impacto direto no custo de produção, sendo que sendo que 2,8% pode ser considerado um valor aceitável no processo FERMAT, uma vez que parte do extrato do mosto é convertido em células em meio aeróbio. No entanto uma aeração inadequada pode causar uma elevação no nível de oxigênio dissolvido no mosto tendo como consequência uma multiplicação celular acima do esperado. Vale ressaltar ainda que a análise da perda de extrato (PE) deve ser feita em conjunto com a determinação da taxa de multiplicação celular.

Desta forma, ao se comparar os processos de aeração em estudo (Gráfico 1) verifica-se que os valores médios de PE do processo FERMAT (Tabela 2) obtidos para o sistema Turbo Air e pelo sistema convencional, corresponderam a 2,26% e 5,50%, cujos desvios padrão (Equação 2) foram 1,59 e 2,76; respectivamente. Desta forma, os valores de PE para o sistema Turbo Air foram 58.9% menores que os obtidos para o sistema convencional.

Calculando a diferença entre a perda de extrato no FERMAT pelo sistema convencional e pelo Turbo Air, se chega a um valor de 3,2%. Considerando-se que na sala 3 se utilizasse o Turbo Air para a aeração do mosto e considerando que a perda de extrato no FERMAT seja de 2,26%, conforme observado nas salas 1 e 2, levando em conta que a sala 3 é responsável pela metade da produção de mosto da unidade Jacareí, se obteria um volume de 144.091

HL de cerveja a mais no ano, para uma produção anual de 8.900.000 HL. Este volume produzido a mais representa um valor de R\$2.500.000,00; considerando o custo de produção de R\$ 17,00 por HL de cerveja. O investimento para instalação do Turbo Air gira em torno de R\$300.000,00; demonstrando que sua instalação é vantajosa do ponto de vista econômico.

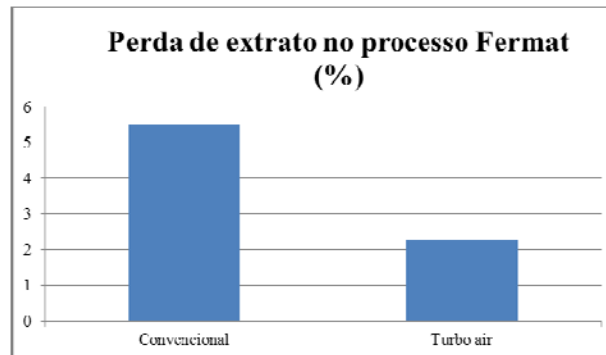


Gráfico 1: Perda de extrato no processo FERMAT pelo sistema Convencional e pelo Turbo Air.

Tabela 2: Perda de extrato no processo Fermat em fermentadores cujo mosto foi submetido a aeração por diferentes processos.

Sistema de aeração	Fermentador	Maturador	Data	VMF-VCR (HL)	Perda de extrato (%)
Turbo Air	31	83	01/jul	68	1,96
Turbo Air	13	83	01/jul	44	1,80
Turbo Air	65	86	02/jul	47	1,04
Turbo Air	71	79	02/jul	187	4,67
Turbo Air	9	54	03/jul	156	4,82
Turbo Air	4	26	03/jul	38	1,41
Turbo Air	27	37	03/jul	33	1,45
Turbo Air	12	72	03/jul	51	-1,58
Turbo Air	23	68	03/jul	22	0,57
Turbo Air	18	80	04/jul	77	1,25
Turbo Air	22	12	05/jul	-24	-0,82
Turbo Air	19	81	05/jul	184	4,46
Turbo Air	38	39	06/jul	-63	-1,94
Turbo Air	28	60	07/jul	149	4,62
Turbo Air	47	86	07/jul	114	0,80
Turbo Air	53	60	07/jul	144	2,64
Turbo Air	45	74	07/jul	158	1,92
Turbo Air	52	84	07/jul	0	0,52
Turbo Air	61	83	07/jul	0	-0,97
Convencional	62	75	03/jun	164	3,80
Convencional	59	67	06/jun	254	3,28
Convencional	63	49	07/jun	256	4,03
Convencional	73	68	09/jun	204	4,63
Convencional	45	55	15/jun	190	4,35
Convencional	70	76	17/jun	277	7,82
Convencional	49	62	18/jun	302	8,45
Convencional	46	75	18/jun	210	2,54
Convencional	47	79	19/jun	-80	-3,05
Convencional	72	63	21/jun	371	10,60

#### 4.1.2. Taxa de multiplicação celular

Foi calculada a taxa de multiplicação celular em tanques alimentados com mosto aerado pelo Turbo Air e pelo sistema convencional. A taxa de multiplicação celular foi determinada por meio da Equação 2, considerando a massa de fermento inoculada e a massa de fermento recuperada após a centrifugação no processo Fermat. Os valores de taxa de multiplicação celular foram obtidos (Tabela 3) para seis fermentadores sendo avaliada, também, a perda de extrato (PE) no processo Fermat.

Tabela 3: Características do processo Fermat, cujo mosto foi submetido a aeração por diferentes processos.

Sala	Sistema de aeração	Fermentador	Data	Perda de extrato (%)	Taxa de multiplicação celular
1	Turbo Air	31	01/jul	1,96	2,16
1	Turbo Air	65	02/jul	1,04	2,12
1	Turbo Air	4	03/jul	1,41	2,18
3	Convencional	59	06/jun	3,28	3,1
3	Convencional	73	09/jun	4,63	2,8
3	Convencional	70	17/jun	7,82	3,3

Com os dados da Tabela 3, foi construído o Gráfico 2, no qual também foi plotada a reta obtida pela aproximação linear realizada.

Para verificar a correlação entre a PE no Fermat e a taxa de multiplicação celular, foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson (DEVORE, 2006). Este foi encontrado através da Equação 4:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x * \sum y}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}) * (\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}} \quad (4)$$

Na qual x são os valores de PE no Fermat, y a taxa de multiplicação celular e n o número de observações. O coeficiente encontrado foi de 0,87669 indicando uma forte correlação entre a PE no Fermat e a taxa de multiplicação celular. O coeficiente de variação (cv) foi determinado através da comparação entre o desvio-padrão e a média, através da Equação 5 (SOARES; FARIAS; CESAR, 1991):

$$CV = \frac{\sigma}{X_m} \quad (5)$$

Na taxa de multiplicação celular para os fermentadores alimentados por mosto aerado pelo Turbo Air, o coeficiente de variação foi de 0,9% enquanto que pelo sistema convencional foi de 6,5%, indicando que através do Turbo se possui uma melhor precisão na taxa de multiplicação celular.

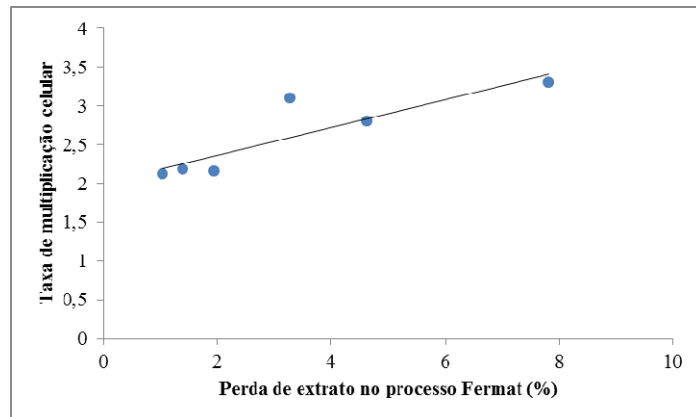


Gráfico 2: Variação da taxa de multiplicação celular nos fermentadores em função da PE no processo Fermat.

#### 4.1.3. *Oxigênio dissolvido*

Foi analisado o nível de oxigênio dissolvido no mosto submetido a diferentes processos de aeração, sendo que o Turbo Air permite variar a quantidade de ar dosado no mosto, o que traz a um impacto direto na quantidade de oxigênio dissolvido. Foram utilizados três set-points de aeração e determinado o nível de oxigênio dissolvido no mosto, bem como os valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela 4 e Gráfico 3.

Tabela 4: Nível de oxigênio dissolvido (ppm) no mosto aerado pelo sistema Turbo Air.

Set point (g/HL)	15	10	5
Medição 1	8,51	7,62	4,82
Medição 2	8,12	7,21	5,03
Média	8,32	7,41	4,92
$\sigma$	0,28	0,29	0,15
$\sigma$ (%)	3,32%	3,91%	3,07%

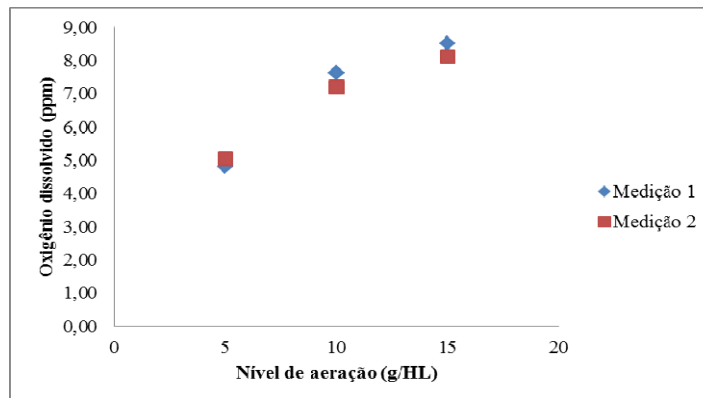


Gráfico 3: Nível de oxigênio dissolvido no mosto (ppm) em função do nível de aeração estabelecido no Turbo Air (gramas de ar por HL de mosto).

Este procedimento foi também adotado para o mosto aerado pelo sistema convencional, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela 5.

Considerando o sistema Turbo Air, o coeficiente de variação obtido foi de 3,44% enquanto que para o sistema convencional este valor correspondeu a 59,53% demonstrando que a dosagem do oxigênio por meio do Turbo Air é mais precisa. O coeficiente de correlação de Pearson apresenta um valor igual a 0,95819 demonstrando uma forte correlação entre o set point e o nível de dissolvido no mosto.



Tabela 5: Nível de oxigênio dissolvido (ppm) no mosto aerado pelo sistema convencional.

Oxigênio dissolvido no mosto (ppm)	2,14	4,46	1,41
Média	2,67		
$\sigma$	1,59		
cv	59,53%		

#### 4.1.4. Contaminação microbiológica

Foi analisada a contaminação em tanques fermentadores nos quais a aeração do mosto foi realizada pelo Turbo Air e pelo sistema convencional. Foi verificada a contaminação por dois tipos de microrganismos normalmente presentes no ar: bactérias aeróbias (WLD) e leveduras selvagens (YM). A análise foi realizada em três diferentes períodos em tanques com mosto produzido pelas salas de brassagem 1 e 3, conforme descrito a seguir:

Período 1: foram analisados os dez primeiros tanques alimentados com mosto produzido pelas salas de brassagem 1 e 3 no mês de janeiro de 2011. Este período foi escolhido por conta de os filtros do Turbo Air ainda estarem dentro da validade de seis meses garantidos pelo fabricante, uma vez que os equipamentos foram instalados em outubro de 2010.

Período 2: consistiu nos meses de maio a julho, analisando os tanques fermentadores em que foi realizada a análise de Perda de Extrato, com exceção do tanque OD 22. Nestes meses os filtros do Turbo Air ainda não haviam sido substituídos conforme recomendação do fabricante.

Período 3: mês de setembro, após troca dos filtros do Turbo Air. Foram analisados os dez primeiros tanques envidados com mosto produzido pelas salas de brassagem 1 e 3.

Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 6.

No período 1, foi constatada contaminação em um tanque fermentador oriundo do sistema Turbo Air, que corresponde a 10% dos fermentadores analisados, enquanto foi verificado contaminação em 6 fermentadores cujo mosto foi aerado pelo sistema convencional, que corresponde a 60% dos fermentadores analisados. No período 2, se observaram 3 fermentadores contaminados cujo mosto foi aerado por cada sistema, correspondendo a 33% de fermentadores com contaminação cujo mosto foi aerado pelo

Turbo Air e 30% de contaminação de fermentadores cujo mosto foi aerado pelo sistema convencional. No período 3, nenhum tanque apresentou contaminação (Tabela 7).

Pode-se verificar que com os filtros do Turbo Air em condições adequadas de funcionamento (períodos 1 e 3), a contaminação oriunda de tanques aerados pelo Turbo Air é menos frequente. Analisando o período 2, verifica-se que pode ocorrer contaminação caso os filtros estejam fora das condições estabelecidas pelo fabricante. Para o período 3, não se observou contaminação para ambos os sistemas, ressaltando que os resultados obtidos para o Turbo Air podem ser atribuídos a troca dos filtros de ar do sistema. É importante ressaltar que a aeração do mosto é apenas uma das possíveis fontes de contaminação nos fermentadores, conforme descrito na página 21 deste trabalho.

Tabela 6: Nível de contaminação por bactérias aeróbias (WLD) e leveduras selvagens (YM) nos fermentadores, cujo mosto foi aerado pelos diferentes sistemas.

Período	Fermentador	início do enchimento	WLD (UFC/mL)	YM (UFC/mL)	sala	sistema de aeração
jan/11	31	02/jan	0	0	1	Turbo air
	39	03/jan	0	0	1	Turbo air
	30	03/jan	0	0	1	Turbo air
	15	04/jan	0	0	1	Turbo air
	44	05/jan	0	0	1	Turbo air
	51	05/jan	0	7	1	Turbo air
	46	06/jan	0	0	1	Turbo air
	1	07/jan	0	0	1	Turbo air
	32	09/jan	0	0	1	Turbo air
	23	10/jan	0	0	1	Turbo air
	47	02/jan	8	0	3	Convencional
	70	03/jan	1	0	3	Convencional
	60	03/jan	17	0	3	Convencional
	71	05/jan	250	77	3	Convencional
	48	05/jan	18	8	3	Convencional
	56	07/jan	0	0	3	Convencional
	64	07/jan	0	0	3	Convencional
	49	08/jan	0	0	3	Convencional
47	08/jan	4	0	3	Convencional	
72	09/jan	0	0	3	Convencional	
Tanques nos quais foi analisada a PE de 27/mai a 2/jul	62	27/mai	0	0	3	Convencional
	59	28/mai	0	0	3	Convencional
	63	30/mai	5	0	3	Convencional
	73	02/jun	16	26	3	Convencional
	45	02/jun	0	0	3	Convencional
	70	10/jun	0	0	3	Convencional
	46	10/jun	0	0	3	Convencional
	72	12/jun	0	0	3	Convencional
	49	12/jun	0	28	3	Convencional
	47	13/jun	0	0	3	Convencional
	65	21/jun	5	0	1	Turbo air
	31	22/jun	0	0	1	Turbo air
	28	23/jun	58	0	1	Turbo air
	9	24/jun	0	0	1	Turbo air
	4	25/jun	0	0	1	Turbo air
	27	25/jun	0	0	1	Turbo air
18	26/jun	0	0	1	Turbo air	
38	29/jun	0	0	1	Turbo air	
47	02/jul	0	8	1	Turbo air	
set/11	16	11/set	0	0	1	Turbo air
	64	12/set	0	0	1	Turbo air
	49	12/set	0	0	1	Turbo air
	19	13/set	0	0	1	Turbo air
	27	14/set	0	0	1	Turbo air
	28	14/set	0	0	1	Turbo air
	11	15/set	0	0	1	Turbo air
	31	16/set	0	0	1	Turbo air
	32	18/set	0	0	1	Turbo air
	22	17/set	0	0	1	Turbo air
	74	11/set	0	0	3	Convencional
	79	12/set	0	0	3	Convencional
	49	12/set	0	0	3	Convencional
	70	13/set	0	0	3	Convencional
	61	13/set	0	0	3	Convencional
	69	13/set	0	0	3	Convencional
	63	14/set	0	0	3	Convencional
	58	14/set	0	0	3	Convencional
71	15/set	0	0	3	Convencional	
66	15/set	0	0	3	Convencional	

Tabela 7: Percentual de fermentadores contaminados que foram alimentados por mosto aerado pelos sistemas Turbo Air e convencional.

Período	Turbo Air	Convencional
1	10%	60%
2	33%	30%
3	0%	0%

#### 4.2. Formação de subprodutos da fermentação

No presente trabalho, foram analisadas a formação de alguns dos principais subprodutos formados durante a fermentação, os quais são responsáveis pela composição do flavor da cerveja. A intenção foi verificar se a formação destes compostos poderia ter alguma relação com a aeração do mosto e comparar com os resultados citados na literatura. Foram estudadas a formação de diacetil, pentanodiona, dicetonas livres, acetato de isoamila e acetaldeído. Com a utilização do Turbo Air, foi possível analisar diferentes níveis de oxigênio dissolvido no meio e analisar a formação dos subprodutos da fermentação, através de amostras coletadas do 6º ao 20º dia de fermentação. Isso possibilitou a busca de parâmetros do padrão de processo definido pela companhia para uma determinada cerveja a ser produzida, a qual será denominada cerveja “A”. Nos testes, foram utilizados três diferentes níveis de aeração no mosto, 9 g/HL, 12 g/HL e 20 g/HL.

##### 4.2.1. Formação da diacetil (2,3-butanodiona)

Foi verificado que durante a fermentação houve a formação de diacetil, cujas concentrações tomadas em ppm, e estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Concentração de diacetil (ppb) em três fermentadores, cujos níveis de aeração estão apresentados.

Tempo de fermentação (dias)	Nível de aeração (g/HL)		
	9	12	20
6	120,8	294,6	427,9
7	68,8	207,3	193,7
8	58,3	99,4	190,1
9	36,5	71,7	109,7
10	20,5	67,2	96
11	15,7		81,9
12	13,2		58,8
13	10		49,6
14	9,9		42,2
15	9,9	17,1	26,1
16	9,8	14,3	26
17	9,8	16,2	22
18	9,8	14,9	15,7
19	8,4	10,4	15,6
20	7,8	8,3	15,4

Uma maior quantidade de oxigênio no mosto (20 g/HL) leva a um estímulo do crescimento celular. Consequentemente, a quantidade de diacetil formada inicialmente foi maior, pois na fermentação primária grandes quantidades de dicetonas são formadas por conta da disponibilidade de alfa-aceto-hidróxiácidos. A partir do 6º dia da fermentação, as dicetonas são metabolizadas pela levedura para formar acetoína e posteriormente 2-3 butanodiol (BOULTON; QUAIN, 2001). Para um nível de aeração de 9 g/HL, se observa uma concentração menor de diacetil ao final da fermentação. O padrão de processo da companhia estabelece para a produção da cerveja “A” no máximo 9,7 ppb de diacetil. Os níveis de aeração de 9 e 12 g/HL de ar resultaram em fermentadores nos quais a concentração de diacetil atendeu ao padrão de processo. É importante lembrar que uma menor concentração de diacetil acarreta em melhores características sensoriais da cerveja.

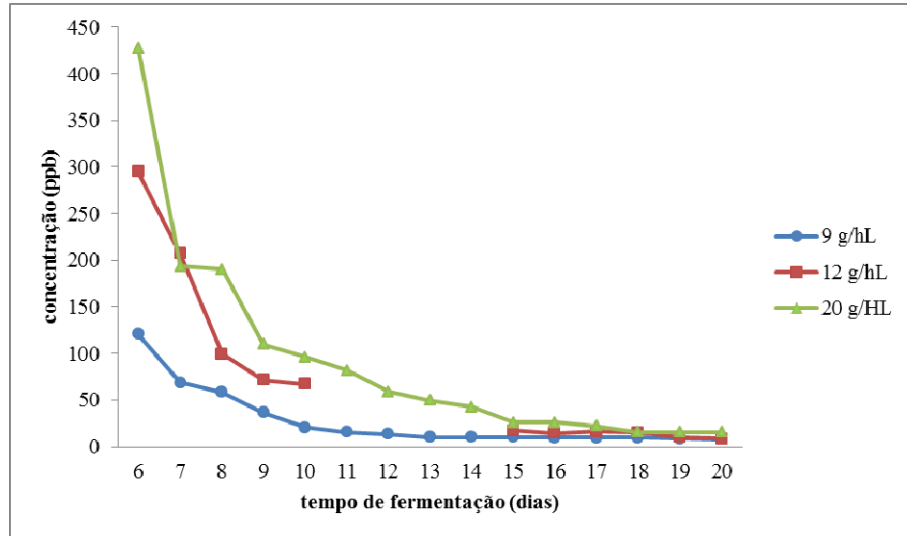


Gráfico 4: Concentração de diacetil nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação.

#### 4.2.2. Formação da 2,3-pentanodiona e dicetonas totais

Foi analisada durante a fermentação a formação de pentanodiona e dicetonas totais cujas concentrações foram expressas em ppm e estão apresentadas nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Concentração de pentanodiona (ppb) em três fermentadores, cujos níveis de aeração estão apresentados.

Tempo de fermentação (dias)	Nível de aeração (g/HL)		
	9	12	20
6	45,5	188,6	170,5
7	27	102,9	85
8	21,5	56,3	91,5
9	14,3	39,7	50,7
10	9,1	28,8	39,8
11	5,9		33,1
12	5,6		26,2
13	4,3		24,2
14	4,3		23
15	3,7	8,2	15,2
16	3,6	6,5	11,8
17	3,5	4,4	9,6
18	3	4,3	7,9
19	1,8	3,8	7,7
20	1,8	3,4	5,7

De maneira semelhante ao ocorrido com a formação de diacetil, verifica-se que para uma maior quantidade de oxigênio no mosto com um nível de aeração de 20 g/HL, a quantidade formada de pentanodiona e dicetonas totais inicialmente foi maior, pois para maiores níveis de aeração no meio, a multiplicação celular é estimulada e quanto mais células no meio, maior a formação de dicetonas. Para uma dosagem de 9 g/HL, se observa uma concentração menor de pentanodiona ao final da fermentação. É importante lembrar que uma menor concentração de pentanodiona e dicetonas totais também acarreta em melhores características sensoriais da cerveja. O padrão de processo da companhia exige para a produção da cerveja “A” no máximo 100 ppb de dicetonas totais ao final da fermentação, sendo a pentanodiona já incluída neste número. Para uma aeração de 9, 12 e 20 g/HL; a quantidade de dicetonas totais foi de 9,6; 11,7 e 21,1 ppb respectivamente. Todos os níveis de aeração considerados resultaram em fermentadores nos quais a concentração de dicetonas totais atendeu ao padrão de processo.

Tabela 10: Concentração de dicetonas totais (ppb) em três fermentadores, cujos níveis de aeração estão apresentados.

Tempo de fermentação (dias)	Nível de aeração (g/HL)		
	9	12	20
6	166,3	477,2	598,5
7	95,8	348,2	278,7
8	79,8	159,3	281,6
9	50,8	111,5	160,4
10	29,6	96	135,5
11	21,6		115
12	18,8		85,1
13	14,3		73,8
14	14,2		65,2
15	13,6	25,2	41,3
16	13,4	20,8	37,8
17	13,3	20,6	31,5
18	12,8	19,2	23,5
19	10,2	14,2	23,3
20	9,6	11,7	21,1

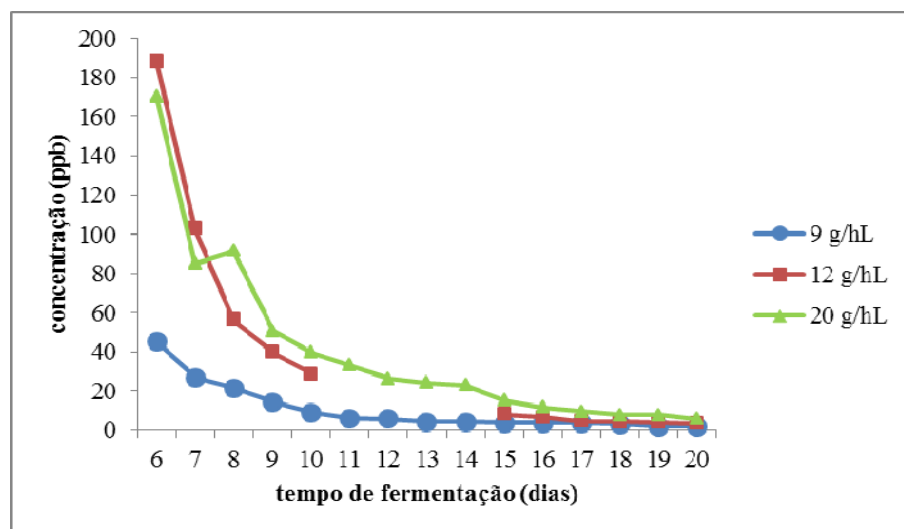


Gráfico 5: Concentração de pentanodiona nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação.



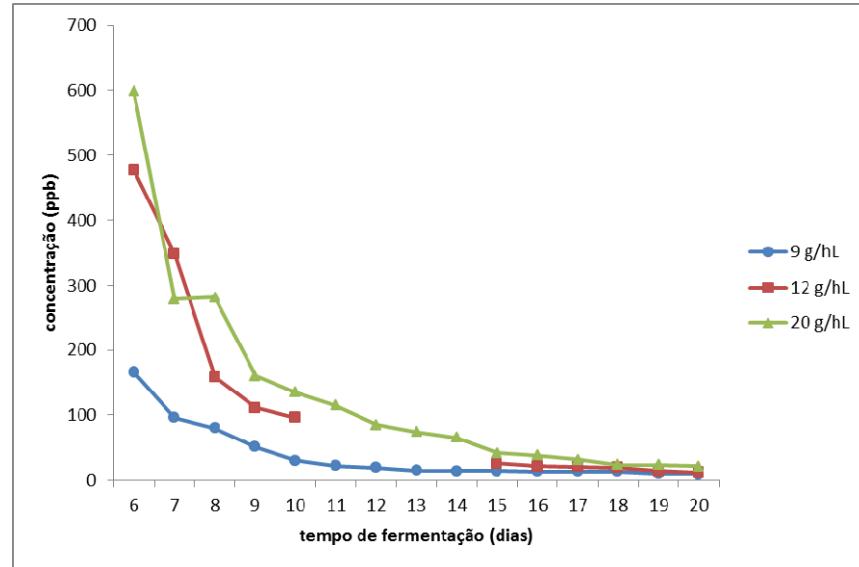


Gráfico 6: Concentração de dicetonas totais nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação.

#### 4.2.3. Formação de éster (acetato de isoamila)

Os ésteres são componentes que conferem à cerveja um aroma frutal/ floral, os quais são produzidos principalmente durante a fermentação primária, a partir da acetil-CoA e álcool isoamílico pela ação da álcool-acetil-transferase. Foi analisada a formação do acetato de isoamila para os diferentes níveis de aeração. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 11.

Conforme descrito por Russel e Stewart (1995), verifica-se que para uma menor quantidade de oxigênio no mosto com uma aeração de 9 g/HL, a quantidade de éster formada é maior. Para uma dosagem de 12 e 20 g/HL, se observa uma concentração menor de éster ao final da fermentação. É importante lembrar que a concentração de éster influencia as características sensoriais da cerveja. O padrão de processo da companhia exige para a produção da cerveja “A” no mínimo 2 e no máximo 8 ppm de acetato de isoamila. O único nível de aeração que permitiu o atendimento do padrão do processo foi o nível de aeração de 9 g/HL, no qual a quantidade do éster ao final da fermentação foi de 2 ppm.

Tabela 11: Concentração de acetato de isoamila (ppm) em três fermentadores, cujos níveis de aeração do mosto estão apresentados.

Tempo de fermentação (dias)	Nível de aeração (g/HL)		
	9	12	20
6	2	1,37	1,6
7	1,8	1,51	1,4
8	1,9	1,34	1,4
9	1,9	1,32	1,4
10	2	1,37	1,6
11	2,1		1,6
12	2		1,5
13	1,9		1,6
14	2,1		1,6
15	2	1,45	1,8
16	2	1,4	1,6
17	2	1,4	1,6
18	2	1,5	1,7
19	2	1,4	1,5
20	2	1,5	1,5

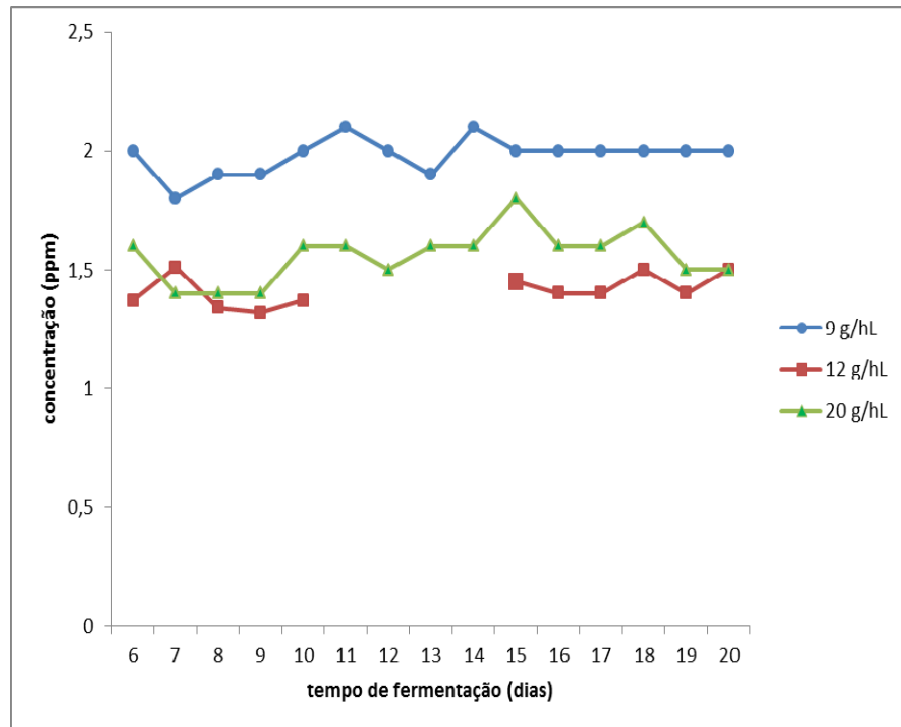


Gráfico 7: Concentração de acetato de isoamila nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação.

#### 4.2.4. Formação de acetaldeído

Durante a fermentação, é esperado o decréscimo da concentração de acetaldeído, o qual é transformado em etanol ou alfa-acetolactato. Na Tabela 12, estão apresentadas as concentrações de acetaldeído nos fermentadores durante a fermentação.

Em todas as dosagens utilizadas ao final da fermentação a concentração de acetaldeído foi menor que no início. Porém não existe um comportamento padronizado no decréscimo (Gráfico 8). Isso pode ser atribuído ao complexo mecanismo de formação do acetaldeído durante a fermentação, ocasionando variações na sua concentração. O padrão de processo da companhia exige para o acetaldeído ao final da fermentação uma concentração entre 2,5 a 3,2 ppm para produção da cerveja “A”.

Tabela 12: Concentração de acetaldeído (ppm) em três fermentadores, cujos níveis de aeração do mosto estão apresentados.

Tempo de fermentação (dias)	Nível de aeração (g/HL)		
	9	12	20
6	2	1,48	2,16
7	1,7	1,26	1,78
8	1,7	1,39	2,1
9	1,6	1,1	1,5
10	1,6	1,2	1,2
11	1,7		1,5
12	1,4		1,5
13	1,6		2
14	1,5		2
15	1,6	0,96	1,8
16	1,6	0,9	1,5
17	1,6	0,9	1,6
18	1,6	1	1,5
19	1,6	1,2	1,3
20	1,6	0,8	1,2

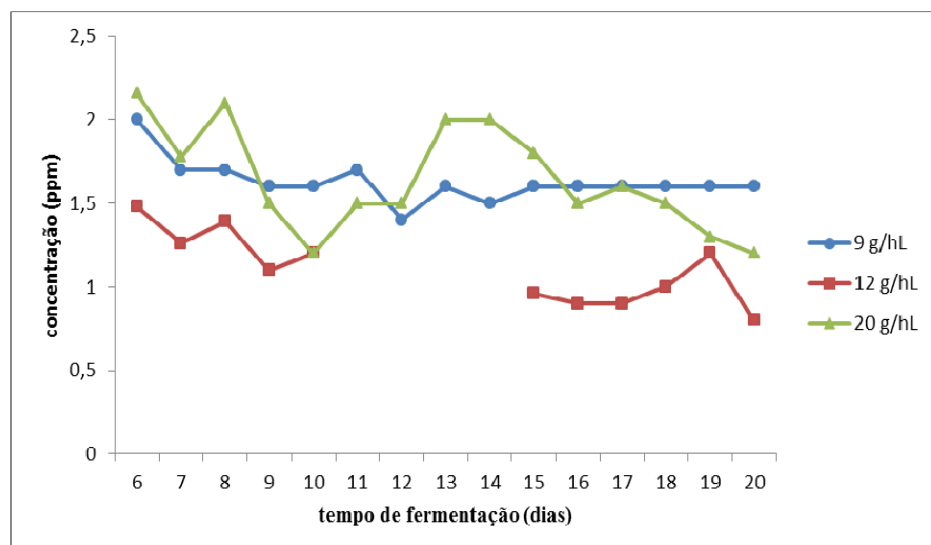


Gráfico 8: Concentração de acetaldeído nos fermentadores alimentados com mosto com diferentes níveis de aeração em função do tempo de fermentação.

### 4.3. Análise sensorial

Duas amostras da cerveja “A” foram avaliadas quanto à aceitação pelo consumidor. Foram avaliadas a aparência, o aroma, o sabor e a impressão global. Uma das amostras foi de cerveja produzida na cidade de Santa Fé, Argentina e a outra produzida na unidade Jacareí. Na Tabela 13, estão apresentadas as médias e os desvios-padrão das notas dadas pelos provadores.

**Tabela 13: Resultados da análise sensorial.**

Amostra	Parâmetro	Aparência	Aroma	Sabor	Impressão global
Importada	Média	7,9	7,4	7,2	7,5
	$\sigma$	0,9	1,0	1,2	0,9
Nacional	Média	7,7	7,5	7,3	7,4
	$\sigma$	1,3	1,2	1,2	1,1

Pode-se observar que não houve grandes diferenças nos atributos que permitiram a avaliação sensorial da amostra importada e nacional. Os atributos avaliados situaram-se entre os termos “gostei moderadamente” e “gostei muito”. Ambas as amostras tiveram o mesmo nível de aceitação pelo consumidor.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo do processo cervejeiro, tendo em vista a análise do efeito da aeração do mosto permitiu concluir que:

- O sistema Turbo Air apresentou uma menor perda de extrato no processo Fermat em relação ao sistema convencional;
- A aeração do mosto pelo Turbo Air resultou em menores e mais precisas taxas de multiplicação celular em relação à aeração pelo sistema convencional e quanto menor a taxa de multiplicação celular, menor a perda de extrato no processo Fermat;
- A aeração pelo sistema Turbo Air permite a dosagem de ar no mosto em diferentes níveis com uma boa precisão, acarretando em níveis mais controlados de oxigenação, o que não é possível pelo sistema convencional;
- Foram observados fermentadores com presença de contaminação por bactérias aeróbias e leveduras selvagens alimentados por ambos os sistemas;
- Diferentes níveis de aeração influenciam a formação de subprodutos da fermentação e consequentemente, características sensoriais da cerveja;
- A cerveja especial nacional e importada, avaliadas sensorialmente obtiveram os mesmos níveis de aceitação pelo consumidor;
- Como metade da produção da Ambev – unidade de Jacareí é oriunda de mosto aerado pelo sistema convencional, este sistema deve passar por melhorias ou se deve estudar a substituição deste sistema pelo Turbo Air.

## **6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Uma sugestão para trabalhos futuros seria estudar a implantação do Turbo Air na aeração do mosto em todas as salas de brassagem e buscar melhorias neste sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUARONE, E. **Biotecnologia Industrial**. Vol. 4. Blucher, 2001.

BAMFORTH, C. **BEER: Health and Nutrition**. 2. ed. Blackwell Publishing, 2004.

BAMFORTH, C. **BEER: Tap Into The Art of Science of Brewing**. 2. ed. Oxford University, 2003.

BRÁNYIK, T., et. al. Continuous primary fermentation of beer with yeast immobilization on spent grains – The effect of operational conditions. **J. Am. Soc. Brew. Chem.**, v. 62, p. 29-34, 2004.

BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing Yeast & Fermentation**. Blackwell Publishing, 2001.

BRÁNYIK, T. et. al. A Review of Flavour Formation in Continuous Beer Fermentations. **J. Inst. Brew.** V. 114, p. 3–13, 2008.

BRIGGS, D. E. **Brewing Science and Practice**. 1. ed. Woodhead Publishing, 2004.

CARNEIRO, Diego Dias. **Estudo computacional da etapa fermentativa da produção de cerveja e proposta de uma estratégia de controle para o processo**. 2010. 129p Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Engenharia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

DEPRAETERE, S. A. et al. The influence of wort aeration and yeast preoxygenation on beer staling processes. **Food Chemistry** v. 107, p. 242–249, 2008.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências**. Sexta Edição. Cengage Learning, 2006.

DRAGONE, G. et. al. Revisão: Produção de Cerveja: Microrganismos Deteriorantes e Métodos de Detecção. **Braz. J. Food Technol.**, v. 10, p. 240-251, 2007.

ENCICLOPÉDIA Barsa. Rio de Janeiro. Encyclopaedia Britannica, c1974. 15v.



GEE, D. A. **Modelling, Optimal Control, State Estimation, and Parameter Identification Applied to a Batch Fermentation Process**. Tese de Ph.D., University of Colorado, 1990.

GOLDAMMER, T. **The Brewers' Handbook**. Second Edition. Apex Publishers, 2008.

GUIDO, L. F. et. al. The impact of the physiological condition of the pitching yeast on beer flavour stability: An industrial approach. **Food Chemistry** v. 87, p. 187–193, 2004.

HUI, Y. H. **Food biochemistry and food processing**. 1. ed. Blackwell Publishing, 2006.

KUNZE, W. **Technology of Brewing and Malting**. International Edition. VLB, Berlin, 1999.

LANDAUD, S.; LATRILLE, E.; CORRIEU, G. Top pressure and temperature control of fusel alcohol/ester ratio through yeast growth in beer fermentation. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 107, p. 107–117, 2001.

PAPAZIAN, C. **The New Complete Joy of Home Brewing**. 2. ed. Avon Books, 1991.

RUSSEL, I.; STEWART, G. G. **Brewing**. In: NAGODAWITHANA T.W.; REED G. Vol. 9. **Enzymes, biomass, food and feed**. 2. ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, 1995.

SMART, K. **Brewing Yeast Fermentation Performance**. Second Edition. Blackwell Publishing, 2003.

ŠMOGROVIČOVÁ, D.; DÖMÉNY, Z. Beer volatile by-product formation at different fermentation temperatures using immobilized yeast. **Process Biochem.**, v. 34, p. 785-794, 1999.

SOARES, J. F.; FARIAS, A. A.; CESAR, C. C. **Introdução à Estatística**. Guanabara Koogan, 1991.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Disponível em: <[http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc\\_eng\\_bioq/trabalhos\\_pos2004/vinho\\_cerveja/producao\\_cervejas.html](http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2004/vinho_cerveja/producao_cervejas.html)> Acesso em: 22 mai. 2011.

VIEIRA, E. E. G. **Fundamentos Gerais: Produto e Processo**. Curso Técnico de Cervejaria. SENAI – RJ, v. 2, p. 9-176, 2004.