

# **Estudo de caso: Avaliação da formação de SO<sub>2</sub> na etapa de fermentação em uma cervejaria do RS**

*Autora: Caroline Wuttke*

*Orientadora: Prof. Dra. Luciane Ferreira Trierweiler*

Porto Alegre, janeiro de 18

---

## Sumário

Sumário	ii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	3
2.1 Matérias-primas	3
2.1.1 Malte	4
2.1.2 Lúpulo	4
2.1.3 Água	5
2.1.4 Adjuntos de tecnologia	5
2.2 Processo de produção da cerveja	5
2.2.1 Preparação do mosto	6
2.2.2 Fermentação	7
2.2.3 Filtração	8
2.3 Perfil Sensorial	8
2.4 Formação do SO <sub>2</sub>	10
2.5 Efeitos das condições de operação na formação de SO <sub>2</sub>	12
2.5.1 Temperatura	12
2.5.2 Aeração	12
2.5.3 Contrapressão	13
2.5.4 Composição do mosto	13
3 Estudo de Caso	14
3.1 Alterações realizadas do processo produtivo	15
3.1.1 Contrapressão	15
3.1.2 Temperatura do mosto	15
3.1.3 Aeração	16

---

3.1.4	Composição do mosto	16
3.2	Metodologia para cálculo dos custos evitados	16
3.2.1	Temperatura do mosto	17
3.2.2	Aeração	18
3.2.3	Contrapressão e composição do mosto	19
3.2.4	Isoascorbato de sódio	19
4	Resultados	20
4.1	Concentração de SO <sub>2</sub>	20
4.2	Custos envolvidos	21
4.2.1	Temperatura do mosto	21
4.2.2	Aeração	22
4.2.3	Remoção do Isoascorbato de sódio	22
4.2.4	Custo Evitado Total	22
5	Conclusões e Trabalhos futuros	24
6	Referências	25

## **Agradecimentos**

Agradeço, primeiramente, à minha família e especialmente aos meus pais, que sempre deram todo suporte aos meus estudos, sem nunca deixar faltar carinho, apoio e amor para que eu seguisse em frente.

Gostaria de agradecer também à todos os meus colegas de trabalho, que além dos diversos ensinamentos, me apoiaram na realização deste trabalho do início ao fim.

Agradeço ainda à minha orientadora Luciane, pela constante ajuda, feedback e disponibilidade em auxiliar com minhas dúvidas e incertezas

Finalmente, agradeço à todos os meus amigos e colegas por todos os momentos vividos juntos e que, com certeza, tornaram o curso mais leve e divertido.

## Resumo

O setor cervejeiro no Brasil é um dos mais relevantes da economia e vem aumentando significativamente desde 1985. Com esse crescimento, uma cervejaria do Rio Grande do Sul retirou da sua receita o antioxidante utilizado na cerveja, a fim de se obter um produto livre de aditivos. Porém, esta se tornou mais suscetível à oxidação, podendo perder a característica de *freshness* mais rapidamente. Muitos compostos de enxofre contribuem para o perfil organoléptico da cerveja, sendo o de maior significância o dióxido de enxofre, formado pela levedura durante a etapa de fermentação. Este produto possui ação antioxidante, podendo formar complexos com aldeídos, como o trans-2-nonenal, mascarando a principal característica de envelhecimento da cerveja, o chamado *off-flavor* de papelão. O presente trabalho possuiu como objetivo principal avaliar os fatores que aumentam a formação de SO<sub>2</sub> durante a etapa de fermentação em uma cervejaria do RS, visando melhorar o perfil sensorial da cerveja e promover maior tempo de prateleira. Como objetivo secundário, o trabalho visou analisar os custos envolvidos com as alterações realizadas no processo produtivo. Foram realizadas medições da concentração de SO<sub>2</sub> retirando alíquotas diretamente do tanque de fermentação, utilizando a técnica da espectrofotometria. No início do trabalho, a concentração de SO<sub>2</sub> estava 82% abaixo do valor mínimo estabelecido, baixando para 68% com o aumento da contrapressão. Diminuindo o resfriamento do mosto em cerca de 3°C, o tempo de aeração do fermento em 2h e dosando o mesmo no penúltimo fabrico, a concentração teve sua distância ao limite reduzida até 7%. Porém, a dosagem tardia do fermento resultou em um extrato fermentescível muito elevado, fora da faixa de especificação. Portanto, esta alteração foi desfeita, e o resultado final obtido foi de 20% abaixo do valor mínimo desejado. Além disso, obteve-se um custo evitado total de R\$ 271.307,40 por ano. Assim, conclui-se que, embora tenha havido uma alteração significativa, nenhuma das medidas adotadas foi suficiente para levar a produção de SO<sub>2</sub> para o nível mínimo especificado pela empresa, sem interferir nos demais parâmetros do processo, ainda que a proximidade do seu valor para a meta já garanta um maior tempo de prateleira, sem alteração das propriedades organolépticas da cerveja. Assim, as alterações realizadas foram mantidas por definitivo na produção da cervejaria.

---

## Lista de Figuras

Figura 1: Produção nacional de cerveja, em milhões de hectolitros por ano. Fonte: (MARCUSO; MULLER, 2017) .....	3
Figura 2 - Fluxograma esquemático do processo de produção da cerveja. ....	6
Figura 4 - Fórmula química do trans-2-nonenal. Fonte: (MATTANNA, 2010) .....	9
Figura 5 - Complexo formado pelo trans-2-nonenal e o SO <sub>2</sub> . Fonte: (MATTANNA, 2010) .....	10
Figura 6 - Esquema simplificado resumindo as principais vias metabólicas ligadas à modulação do sabor da cerveja realizada por <i>Saccharomices cerevisae</i> . Fonte: (BOKULICH; BAMFORTH, 2013).....	11
Figura 7 - Produção usual de SO <sub>2</sub> durante a fermentação. Fonte: (DOSTÁLEK; KELLNER, 2014) .....	12
Figura 9 - Teste da alteração da dosagem de fermento.....	21
Figura 10 - Relação entre a potência extra consumida e o diâmetro do tubo. ....	22

---

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Relação do consumo de potência para diferentes diâmetros de vazamentos. Fonte: (JAIR EDUARDO ALVES MENDES, 2014) .....	18
--	----



## 1 Introdução

Define-se cerveja como uma bebida carbonatada com teor alcoólico na faixa de 3 a 8% v/v, feita a partir de matérias-primas como malte de cevada, fermento, lúpulo e água, podendo ainda se utilizar de outros cereais, como arroz, milho e trigo (ALMEIDA E SILVA, 2005). Estima-se que a produção de cerveja tenha iniciado por volta de 8000 a.C. entre os povos de Suméria, Babilônia e Egito, difundindo-se juntamente com as culturas de milho, centeio e cevada (EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, 2001a)

Segundo a legislação brasileira, a cerveja é classificada em função das características de fermentação e do produto acabado: quanto ao extrato primitivo (teor de extrato presente no mosto antes da fermentação), quanto à cor, quanto ao teor alcoólico, quanto a proporção de malte de cevada e quanto ao tipo de fermentação. No Brasil, a cerveja mais comumente produzida e consumida é do tipo lager, caracterizada por ser clara, límpida, com pH em torno de 4,3, e com sabor e aroma suave e leve (REINOLD, sem data).

O setor cervejeiro no Brasil, criado em 1853, é um dos mais relevantes da economia, empregando atualmente cerca de 2,2 milhões de pessoas, e sendo responsável por 1,6% do PIB nacional. Só no ano passado, foram produzidos 14 bilhões de litros de cerveja no Brasil, com faturamento do setor em R\$ 77 bilhões de reais, gerando R\$ 23 bilhões em impostos e R\$ 27 bilhões em salários, com empregos em uma cadeia que vai do agronegócio ao pequeno varejo (CERVBRASIL, 2016).

O mercado cervejeiro no país vem aumentando significativamente, com 91 novos registros de estabelecimentos produtores apenas neste ano. Com o crescimento da concorrência, recentemente uma cervejaria do Rio Grande do Sul retirou da sua receita o antioxidante utilizado na cerveja, a fim de se obter um produto mais “limpo”, conhecido como *clean label* – rótulo limpo. Porém, com a remoção deste produto, a cerveja se tornou mais suscetível à oxidação, perdendo a característica de *freshness* (frescor) mais rapidamente. Dessa forma, a bebida sofre alterações no perfil sensorial (cor, aroma, sabor) ao longo de seu tempo de prateleira (MARCUSO; MULLER, 2017).

As reações de oxidação parecem ser o principal mecanismo de deterioração da cerveja, fazendo com que esta possua o *off-flavor* de papelão. Os *off-flavors* são comumente chamados de defeitos ou falhas da cerveja, e podem aparecer durante o processamento ou com o envelhecimento, após o envase do produto. O principal composto responsável por conferir o aroma/sabor de “papelão” à cerveja é o trans-2-nonenal, produto formado pela oxidação de ácidos graxos à aldeídos (MATTANNA, 2010).

Muitos compostos de enxofre contribuem para o perfil organoléptico da cerveja, sendo o de maior significância o dióxido de enxofre, formado pela levedura durante a etapa de fermentação. Este produto possui ação antioxidante, podendo formar complexos com aldeídos, como o trans-2-nonenal, mascarando a principal característica de envelhecimento da cerveja (GUIDO, 2016).

O presente trabalho possui como objetivo principal avaliar os fatores que aumentam a formação de SO<sub>2</sub> durante a etapa de fermentação em uma cervejaria do RS, visando melhorar o perfil sensorial da cerveja e promover maior tempo de prateleira. Como objetivo secundário, o trabalho visa analisar os custos envolvidos com as alterações realizadas no processo produtivo para maior formação de SO<sub>2</sub>.

## 2 Revisão Bibliográfica

No século XIX, durante a permanência da família real portuguesa em território brasileiro, Dom João VI trouxe o hábito do consumo de cerveja para o Brasil. Nessa época, a cerveja era importada, e apenas em 1853 foi fundada a primeira cervejaria do país, a Bohemia, e mais tarde, em 1888 e 1891 foram fundadas a Manufatura de Cerveja Brahma Villigier e Cia e a Companhia Antártica Paulista, respectivamente, vindo mais tarde, a se tornarem a maior cervejaria do mundo, através da fusão com outras empresas (EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, 2001).

De acordo com os estudos do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – a produção de cerveja no Brasil apresentou um aumento nos últimos 30 anos, colocando o Brasil em terceiro lugar no ranking mundial, atrás apenas da líder China e dos EUA (MARCUSO; MULLER, 2017).

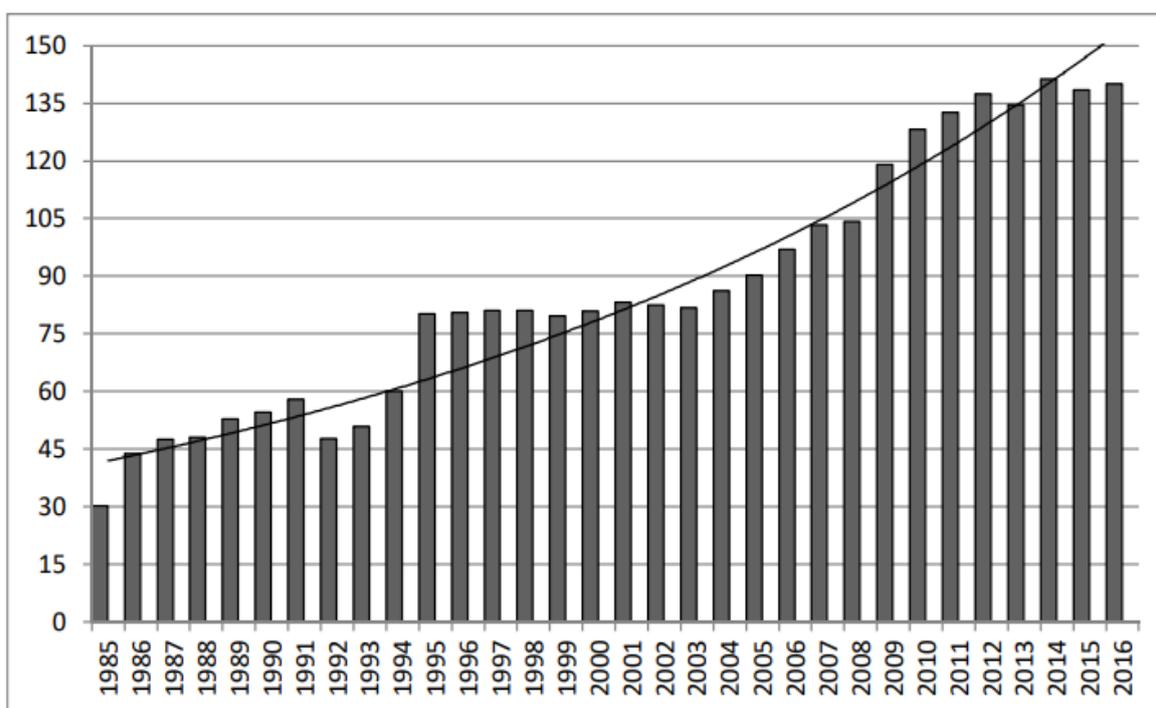


Figura 1: Produção nacional de cerveja, em milhões de hectolitros por ano. Fonte: (MARCUSO; MULLER, 2017)

### 2.1 Matérias-primas

De acordo com a Lei da Pureza de 1516, desenvolvida na Alemanha, a cerveja deve ser produzida exclusivamente com malte, lúpulo e água. Porém,

atualmente, além destas matérias primas ainda são utilizados adjuntos de tecnologia.

### 2.1.1 Malte

O cereal mais utilizado na fabricação da cerveja é a cevada, embora muitos outros possam ser utilizados, como milho, trigo e arroz, por exemplo, malteados ou não. O uso destes cereais influencia diretamente nas características do produto final, podendo ser denominados como um estilo especial, como as cervejas de trigo (*Weissbier*). A preferência pela cevada é devida a uma série de fatores, como o alto teor de amido presente em sua composição, resultando em alta concentração de extrato fermentável, e por possuir proteínas em quantidade suficiente para fornecer os aminoácidos necessários para o crescimento da levedura (EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, 2001).

A principal finalidade de realizar a maltagem dos cereais é elevar o conteúdo enzimático dos grãos, aumentando, assim, seu poder diastático, ou seja, a quantidade de enzimas presentes, elevando a capacidade de hidrolisar o amido até maltose, glicose e outros açúcares simples. Este processo é composto por três etapas: maceração, germinação e secagem, e geralmente é realizado nas maltarias das cervejarias.

### 2.1.2 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus*) é uma planta pertencente à família *Cannabaceae*, embora não contenha substâncias alucinógenas. É diótica, ou seja, apresenta flores masculinas e femininas, sendo esta última rica em glândulas amarelas, que contém lupulina (resinas, óleos essenciais, etc). As resinas são responsáveis por conferir o amargor característico das cervejas, e os óleos essenciais conferem o aroma, contribuindo também com o sabor. Além disso, o lúpulo possui ainda ação antisséptica, devido aos ácidos isoalfas presentes, e contribui para a estabilidade do sabor e da espuma da cerveja (EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, 2001).

Pode ser dosado no início na fervura, tornando o mosto mais amargo; ou mais próximo do final, produzindo uma cerveja mais suave, sendo a intensidade do amargor medida em IBU (*International Bitterness Units* – Unidades de amargor

internacionais). Outros fatores como o tipo do produto de lúpulo (pellets, extrato) e intensidade da fervura também influenciam no rendimento do lúpulo (REINOLD, M.R., sem data).

### 2.1.3 *Água*

As características físicas e químicas da água são fatores importantes para determinar a qualidade de uma cerveja. Além dos requisitos de potabilidade, a água utilizada no processo da cerveja deve apresentar algumas características específicas e passar por um tratamento adequado antes de ser utilizada.

Um exemplo disso é o controle do pH, uma vez que um pH alcalino pode ocasionar a dissolução de materiais existentes no malte que são indesejáveis no processamento da bebida. O ideal é a utilização de um pH levemente ácido, para facilitar a atividade enzimática do grão do cereal, com um conseqüente aumento no rendimento de maltose, e um maior teor alcoólico. Em média, o pH da água utilizada na fabricação de cerveja é de 6,5 a 7 (OLIVEIRA, 2011).

### 2.1.4 *Adjuntos de tecnologia*

Utilizados para substituir parcialmente o malte na produção da cerveja, os adjuntos de tecnologia podem ser definidos como materiais que fornecem carboidratos para o mosto. O principal motivo para o emprego destes adjuntos é econômico, já que possuem menor custo na produção do extrato, podendo se utilizar diversos tipos de cereais, como milho, arroz, trigo, entre outros.

Além disso, melhoram a qualidade físico-química e sensorial da cerveja acabada, sendo normalmente mais leves, saciando menos e possuindo cor mais clara e maior brilho. O nível de substituição do malte pelo adjunto depende de cada cervejaria, sendo 80% o máximo permitido por lei no Brasil. (EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, 2001).

## 2.2 **Processo de produção da cerveja**

O processo de produção de cerveja pode ser dividido 3 grandes etapas: preparação do mosto (brassagem), fermentação e filtração. Na Figura 2, uma representação simplificada do processo:

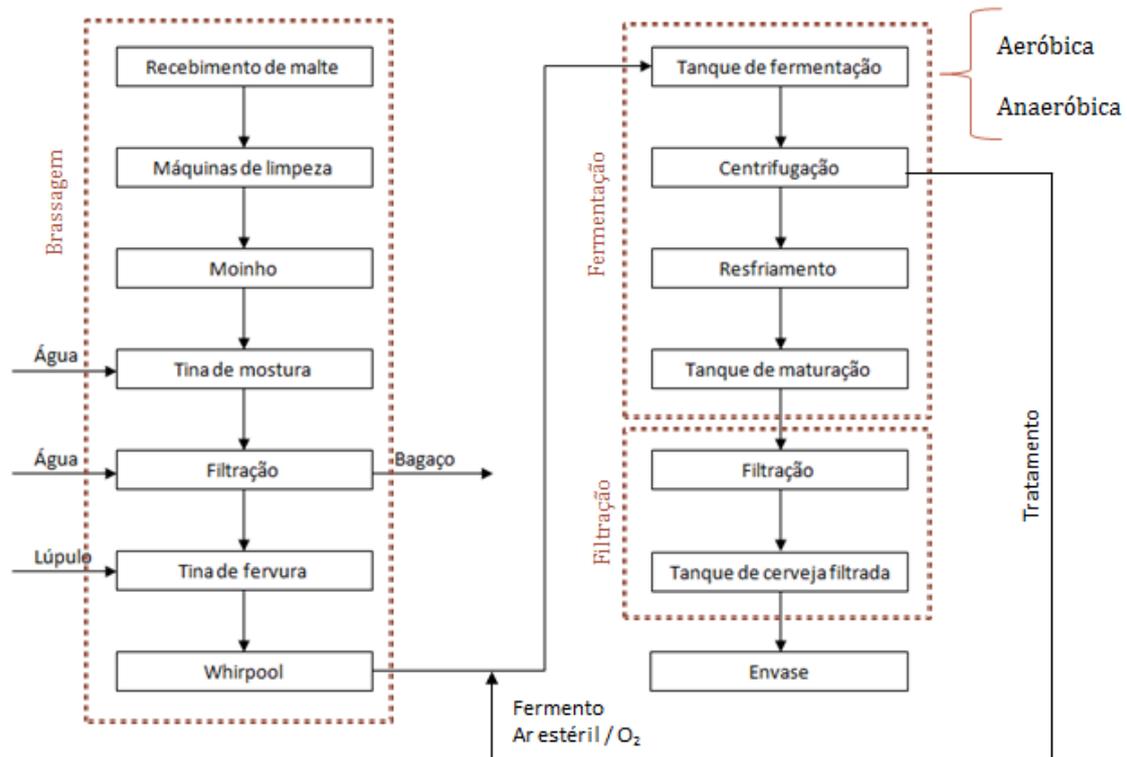


Figura 2 - Fluxograma esquemático do processo de produção da cerveja.

### 2.2.1 Preparação do mosto

O malte é recebido e armazenado em silos, e segue então para máquinas de limpeza, que fazem a separação do malte e das impurezas por diferença de densidade e granulometria. Segue para um moinho, podendo ser utilizado moinho de martelos ou de rolos, a fim de ser triturado e facilitar o ataque das enzimas durante o processo de mosturação. Após, passa por uma balança e segue para a tina de mostura, em que é adicionada água e realizado o aquecimento em rampa de temperatura, a fim de ativar as enzimas responsáveis pela quebra do açúcar em partículas menores.

Após esta etapa, o mosto é encaminhado à tina de clarificação ou filtro prensa, e então para a tina de fervura, em que é adicionado o lúpulo responsável pelo amargor e aroma da cerveja. Finalmente, o mosto segue para o decantador, também chamado de whirlpool, em que é retirado o trub quente (substâncias que se precipitam durante a fervura e que deixam impreganados componentes amargos), e é encaminhado para um trocador de calor, que faz o resfriamento do mosto de 100°C até cerca de 15°C (EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, 2001b).

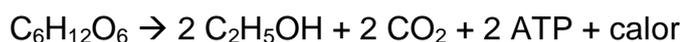
Esta etapa é chamada de brassagem, e cada ciclo de preparação de mosto é chamada de “fabrico”, sendo composto pelas matérias primas já citadas - água, malte e lúpulo.

### 2.2.2 Fermentação

Após passar pelo trocador de calor, o mosto é enviado para os tanques de fermentação, passando por tubulações onde são introduzidos o fermento e ar estéril ou oxigênio, que são homogeneizados no mosto pela turbulência da própria tubulação. A aeração do mosto é essencial para a multiplicação da levedura e posterior transformação do mosto em cerveja.

Esta etapa dura de sete a oito dias, sendo dividida em primeira e segunda fase da fermentação. A primeira tem duração de 96h, e é a fase aeróbica do processo, ou seja, fase em que ocorre a multiplicação celular do fermento. A levedura utiliza o oxigênio para a síntese de esteróis e ácidos graxos insaturados, essenciais para a membrana celular, além de sintetizar outros aminoácidos necessários e que não estão disponíveis no mosto (HANS MICHAEL EBLINGER, 2009).

A segunda fase é a parte anaeróbica do processo, em que não ocorre mais multiplicação celular. Pode ser representada por:



É nesta etapa que é produzida a maior parte do álcool de fato, e ocorrem diversas reações enzimáticas simultaneamente, resultando na chamada cerveja, com todas as características desejadas.

Após as 180h, o fermento é retirado do tanque de fermentação e enviado a um tanque de recuperação de fermento, a fim de passar por um tratamento para ser novamente utilizado no processo. Este tratamento é composto por duas etapas de aeração e uma etapa de acidificação, em que é retirado todo  $\text{CO}_2$  presente nas células da levedura, a fim de manter a qualidade do fermento. Já a cerveja produzida, é enviada a um tanque de maturação, onde permanece por mais diversos dias, de 4 a 14, dependendo do processo escolhido.

Também chamado de clarificação, a maturação é a etapa em que se depositam as substâncias formadoras de turvação, como células de leveduras,

subprodutos de decomposição de taninos, proteínas, etc. Ocorre também o amadurecimento do paladar e aroma da cerveja (EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, 2001b).

### 2.2.3 Filtração

Última etapa do processo, a filtração tem o objetivo de produzir uma bebida límpida e clarificada, removendo as partículas coloidais para obter-se uma aparência e sabor agradáveis do produto final. A filtração da cerveja ocorre através da utilização de auxiliares de filtração como a terra diatomácea, e, por fim, é tratada com absorventes insolúveis para remover precursores de turbidez a longo prazo (ROBSON GIOVANI ALTISSIMO, 2016).

## 2.3 Perfil Sensorial

Com o aumento da competitividade do mercado cervejeiro nos últimos anos, a busca pela qualidade se tornou ainda mais importante entre as empresas. O perfil sensorial da cerveja está ligado diretamente à qualidade dos produtos e aos métodos de produção utilizados.

A avaliação sensorial é formada pela observação da aparência, aroma e sabor, sendo o primeiro deles um fator decisivo na compra e aceitação do produto pelo consumidor. Dentre os aspectos avaliados na aparência, temos a coloração, espuma (estabilidade e cremosidade) e brilho (MATTANNA, 2010).

Durante o processamento e o tempo de prateleira, ocorrem alterações nas características organolépticas da cerveja, com o aparecimento dos chamados *off-flavors*, os defeitos indesejáveis da cerveja, como podemos ver na Figura 3.

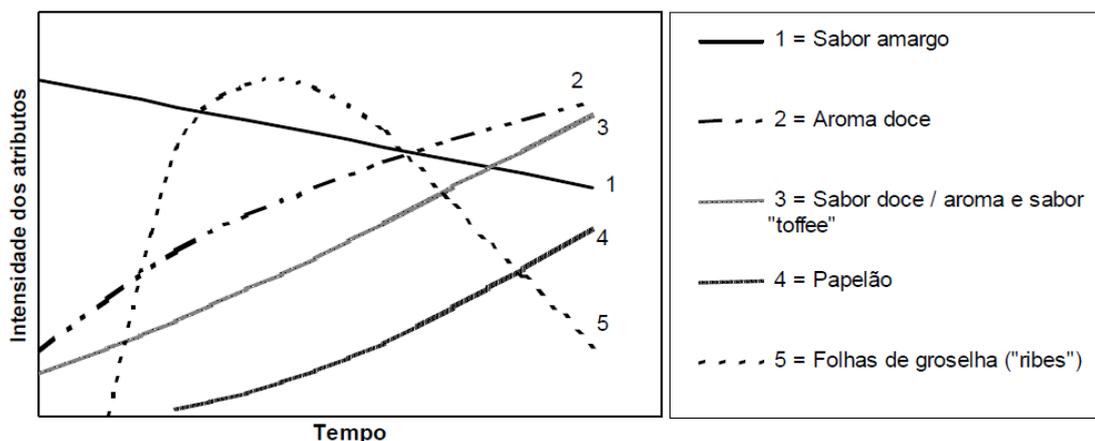


Figura 3 - Alterações sensoriais ao longo do tempo. Fonte: (CELSO; MATTOS; QUÍMICA, 2007)

Um dos fatores que causa o sabor de “papelão” na cerveja é a oxidação, principal mecanismo de deterioração da cerveja. Esse sabor se dá pelo aparecimento do composto trans-2-nonenal, um acetaldeído formado pela oxidação de ácidos graxos, cuja fórmula química pode ser vista na Figura 4 (MATTANNA, 2010).

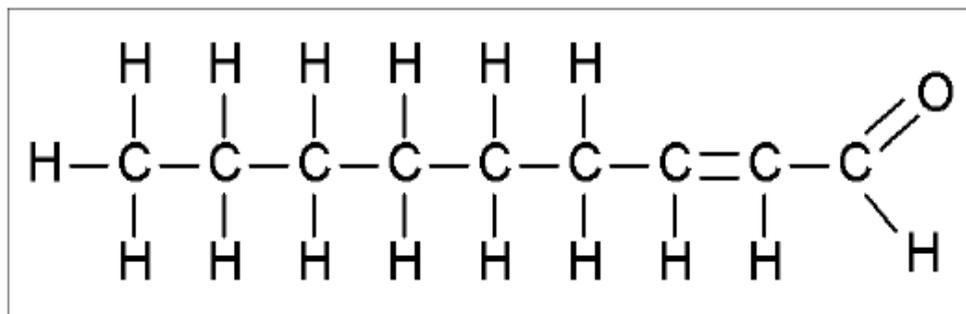


Figura 4 - Fórmula química do trans-2-nonenal. Fonte: (MATTANNA, 2010)

O limite de percepção desse composto é de 0,03 ppb, o que demonstra a importância deste no envelhecimento da cerveja, uma vez que pequenas concentrações já podem ser facilmente percebidas. Uma das formas de prevenir o aparecimento do *off-flavor* de papelão é a utilização de antioxidantes, adicionados ao final da produção juntamente com outros aditivos. Estes compostos evitam as reações responsáveis pelas alterações no perfil sensorial da cerveja, ou podem até mesmo se ligar aos compostos formados pela oxidação, resultando em novos compostos, organolepticamente inativos.

Além dos aditivos, um composto que contribui para mascarar o *off-flavor* resultante da oxidação é o SO<sub>2</sub>, formado pela levedura durante a etapa de fermentação. Este produto possui ação antioxidante, formando complexos com aldeídos, como o trans-2-nonenal, sem alterar as características sensoriais da cerveja (MATTANNA, 2010).

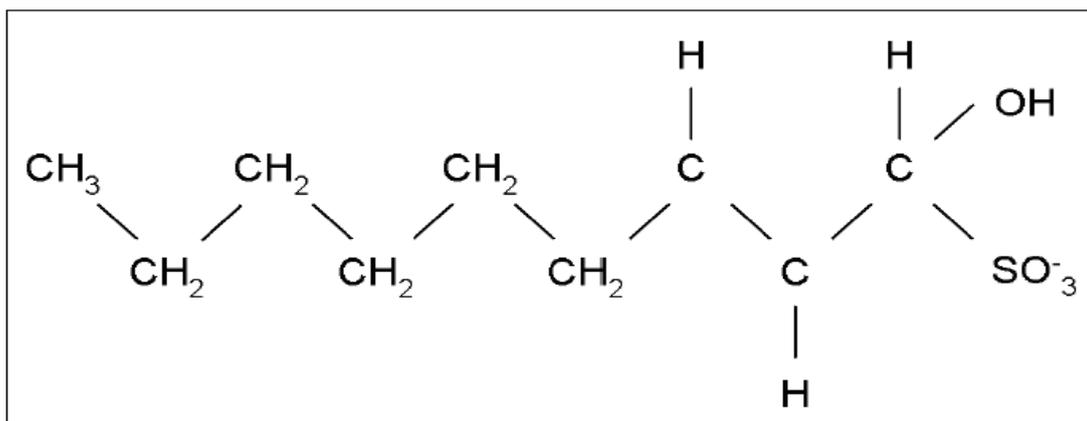


Figura 5 - Complexo formado pelo trans-2-nonenal e o SO<sub>2</sub>. Fonte: (MATTANNA, 2010)

## 2.4 Formação do SO<sub>2</sub>

O limite de detecção do SO<sub>2</sub> na cerveja é aproximadamente 20 mg/L. Em concentrações mais elevadas, como 30 mg/L, pode causar aroma e sabor sulfuroso, bastante desagradável. Dentro da faixa aceitável de concentração (< 10 mg/L), a presença do SO<sub>2</sub> é muito importante por possuir 3 principais funções: diminuir a taxa de oxidação e o consequente aparecimento do sabor de papelão; formar complexos com compostos carbonilados; e possuir propriedades antimicrobianas.

O SO<sub>2</sub> presente na cerveja é produzido pela levedura durante e fermentação e/ou adicionado através de agentes antioxidantes. A formação deste composto pela levedura é uma das diversas rotas metabólicas realizadas durante a fermentação, como pode ser visto na Figura 6. Embora o H<sub>2</sub>S também seja formado, sua concentração de percepção é bastante baixa, tornando-se um *off flavor* apenas em concentração mais elevadas. Além disso, é um composto mais volátil que o SO<sub>2</sub>, sendo arrastado junto com o CO<sub>2</sub> e outros gases.

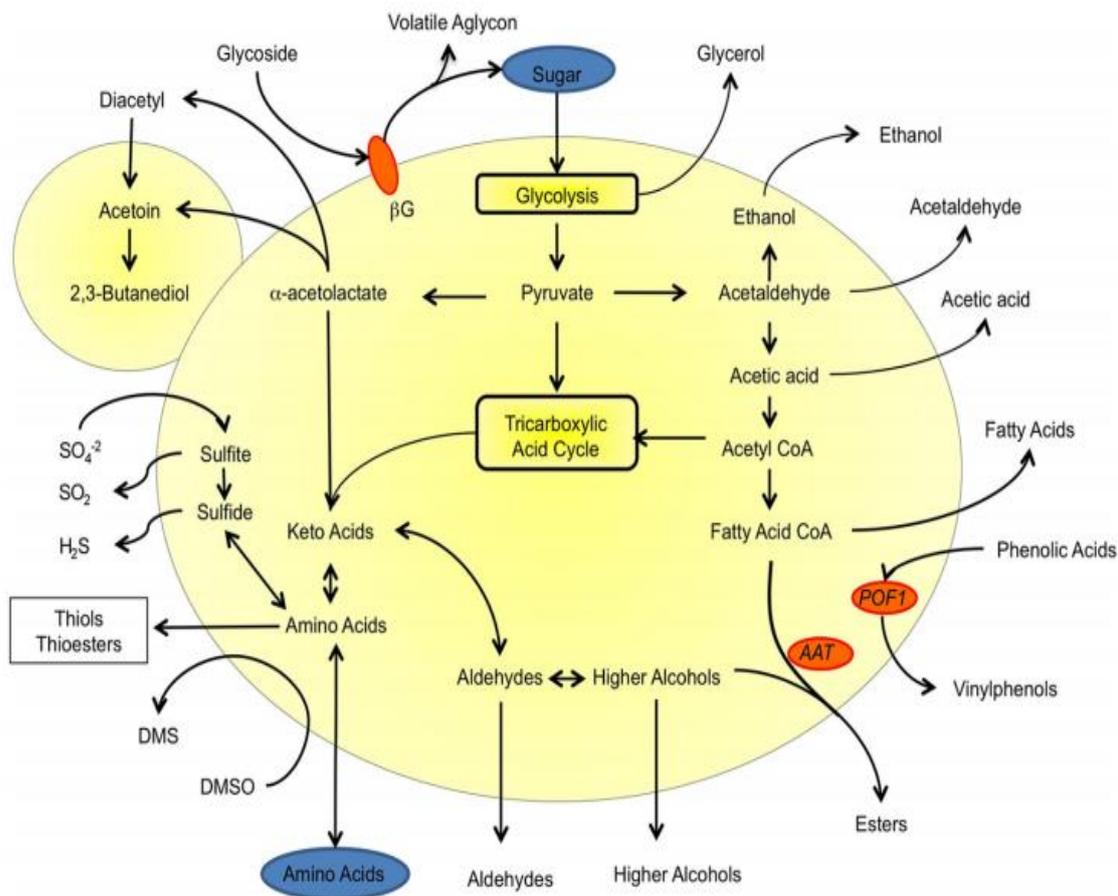


Figura 6 - Esquema simplificado resumindo as principais vias metabólicas ligadas à modulação do sabor da cerveja realizada por *Saccharomyces cerevisiae*. Fonte: (BOKULICH; BAMFORTH, 2013)

Conforme mostrado na Figura 7, a produção de  $\text{SO}_2$  normalmente ocorre nas primeiras 100 h de fermentação, durante a etapa aeróbica do processo, em que ocorre a multiplicação celular. Isso se deve pela necessidade da levedura produzir os aminoácidos responsáveis pela formação de sua parede celular, uma vez que a quantidade presente no mosto não é suficiente. O  $\text{SO}_2$  é um produto intermediário desta rota metabólica, sendo produzido juntamente com os aminoácidos sulfurados, como a metionina e a cisteína (HANS MICHAEL EBLINGER, 2009).

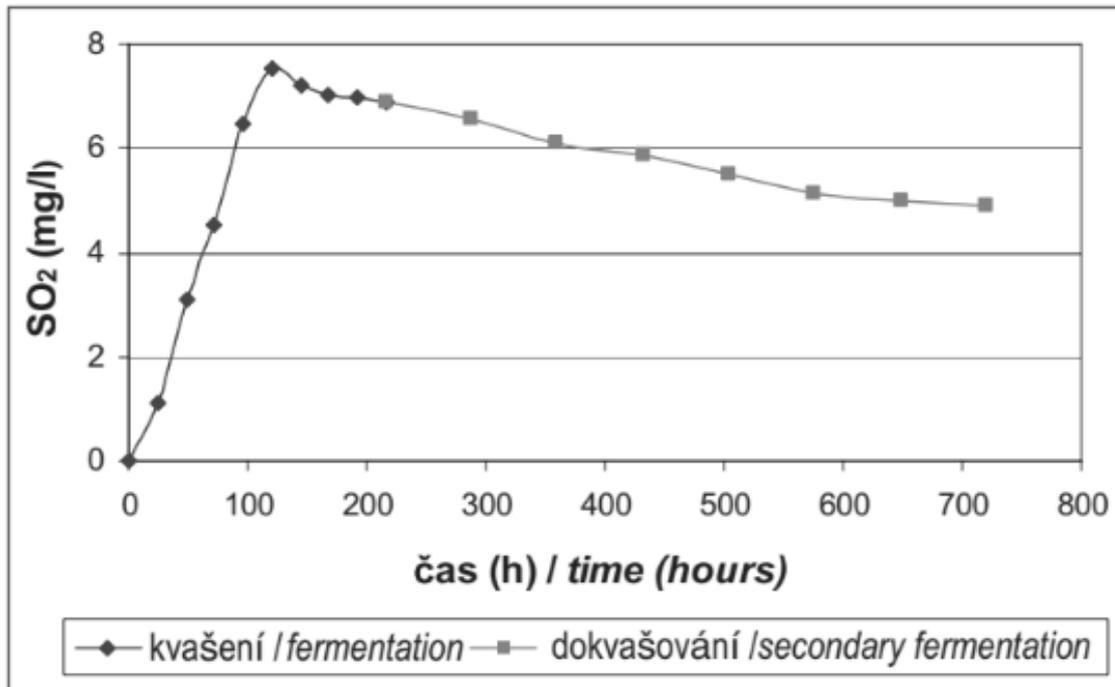


Figura 7 - Produção usual de SO<sub>2</sub> durante a fermentação. Fonte: (DOSTÁLEK; KELLNER, 2014)

## 2.5 Efeitos das condições de operação na formação de SO<sub>2</sub>

### 2.5.1 Temperatura

Um dos fatores que influencia na formação de SO<sub>2</sub> na cerveja é a temperatura do mosto na etapa de fermentação. Aumentando a temperatura, aumenta-se também a taxa de multiplicação celular, fazendo com que a levedura produza mais aminoácidos para formação de sua parede celular. Assim, conseqüentemente, é formado mais dióxido de enxofre (HANS MICHAEL EBLINGER, 2009).

Além disso, as enzimas responsáveis pelas reações metabólicas atuam como catalisadores, que também sofrem influência da temperatura. Quando se eleva a temperatura, as moléculas adquirem mais energia, levando a um número maior de moléculas com energia superior a energia do estado de transição, acarretando em uma maior velocidade da reação (EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, 2001a).

### 2.5.2 Aeração

No processo de produção industrial da cerveja, o fermento pode ser reutilizado diversas vezes, desde que se tenham alguns cuidados para garantir a

qualidade de uma fermentação para a outra. Primeiramente, é feito um tratamento ácido, com o objetivo de reduzir possíveis riscos microbiológicos, como a contaminação bacteriana. Após, o fermento é homogeneizado e aerado, a fim de introduzir oxigênio e remover todo  $\text{CO}_2$  presente, pois em pressões mais elevadas de fermentação, a “pasta” de levedura que é retirada dos tanques acaba ficando enriquecida com o gás, que é tóxico para as células (HANS MICHAEL EBLINGER, 2009).

Reduzindo o tempo de aeração, se reduz o tempo de contato com o oxigênio, fazendo com que a levedura permaneça em mau estado de conservação, devido a presença de  $\text{CO}_2$ , que não é totalmente removido. Isso faz com que, assim que a levedura seja colocada em contato com o mosto novamente, ela utilize todos nutrientes disponíveis para se reproduzir com maior velocidade, a fim de garantir sua sobrevivência. Conseqüentemente, uma maior quantidade de  $\text{SO}_2$  é formada (AMBEV, 2017).

### 2.5.3 *Contrapressão*

A pressão exercida no tanque de fermentação é outro fator importante na formação e retenção de  $\text{SO}_2$ . Esse composto é volátil e pode ser parcialmente dessorvido durante a fermentação pela ascensão das bolhas de  $\text{CO}_2$  produzidas nesta etapa. Em pressões elevadas, a concentração de  $\text{CO}_2$  na cerveja aumenta, fazendo com que tenham menos bolhas ascendendo e, conseqüentemente, arrastando o dióxido de enxofre para fora do tanque de fermentação. Dessa forma, a concentração de  $\text{SO}_2$  na cerveja aumenta (AMBEV, 2017).

### 2.5.4 *Composição do mosto*

A composição do mosto também é um fator que afeta a quantidade de dióxido de enxofre produzida. Segundo Vanderhaegen et al. (2006), as leveduras produzem sulfito em uma quantidade que geralmente está relacionada com o total de açúcares fermentescíveis no mosto. Assim, uma alteração na dosagem do fermento pode influenciar a produção de  $\text{SO}_2$ , pois caso o fermento seja dosado em uma grande quantidade de mosto, a quantidade de substrato fermentescível será maior, aumentando também a quantidade final de  $\text{SO}_2$  produzida (OLIVEIRA, 2011).

### 3 Estudo de Caso

O presente trabalho foi baseado no estudo de caso de uma indústria cervejeira localizada no estado do Rio Grande do Sul. Com o objetivo de reduzir custos e obter um produto mais natural, livre de aditivos e conservantes, a companhia removeu de sua receita o antioxidante Isoascorbato de sódio, utilizado na produção de suas cervejas. Porém, com a remoção deste produto, a bebida se tornou mais suscetível à oxidação, fazendo com que perdesse a característica de *freshness* mais rapidamente.

O Isoascorbato de Sódio é um antioxidante amplamente utilizado em cervejas produzidas em larga escala. Assim como outros antioxidantes, atua reagindo com o oxigênio molecular presente na cerveja, impedindo as reações de oxidação, principal mecanismo de deterioração da cerveja (BUGLASS, 2010). Como já mencionado na seção 2.3, um dos principais problemas relacionados com a qualidade da cerveja é o aparecimento de *off-flavors*, sendo o de “papelão” causado pela oxidação de ácidos graxos insaturados à aldeídos. O principal composto formado nessa reação é o trans-2-nonenal, um acetaldeído com limite de percepção extremamente baixo, o que demonstra a importância de evitar sua presença (MATTANNA, 2010).

Nesse contexto surge o dióxido de enxofre produzido durante a fermentação da cerveja, que atua como antioxidante natural, complexando o trans-2-nonenal a um composto que não afeta as propriedades organolépticas da cerveja. Com a retirada do antioxidante, esse composto passou a ser o único responsável por garantir a característica de *freshness* e sustentar o tempo de prateleira da cerveja.

Inicialmente foi feito um acompanhamento da produção de SO<sub>2</sub> na etapa de fermentação, antes de se tomar qualquer medida adicional para aumentar a sua produção. As medições foram realizadas no laboratório de qualidade da empresa, sendo de 12 em 12h, utilizando a técnica da espectrofotometria. Alíquotas de cerveja eram retiradas diretamente do tanque de fermentação, durante sete dias. Após a realização dessas medições, por meio verificou-se que a concentração de SO<sub>2</sub> estava abaixo da faixa aceitável da companhia. Dessa forma, foi necessário realizar algumas modificações no processo de produção da cerveja, a fim de

aumentar a concentração de SO<sub>2</sub> produzida e garantir a qualidade do produto por mais tempo, sem prejudicar, no entanto, a qualidade da cerveja produzida.

### **3.1 Alterações realizadas do processo produtivo**

#### *3.1.1 Contrapressão*

A primeira alteração realizada foi o aumento da contrapressão no tanque de fermentação, pois uma das hipóteses levantadas seria que o SO<sub>2</sub> estaria sendo produzido e arrastado para fora do tanque pelo CO<sub>2</sub>, também formado nesta etapa. Como o objetivo era aumentar a retenção do dióxido de enxofre, foi feita a alteração apenas na segunda etapa da fermentação e na maturação, ou seja, após as 96h de multiplicação celular, para que não prejudicasse o crescimento do fermento.

A contrapressão da segunda etapa foi alterada para um valor 125% maior que a contrapressão exercida na primeira etapa. Para isso, primeiramente foi feita a troca da vedação dos tanques e reparo das válvulas de saída dos gases, a fim de garantir que não houvesse perda de pressão por vazamento. Na sequência, foi alterada a contrapressão diminuindo a abertura da válvula de saída dos gases, por onde é retirado o CO<sub>2</sub> formado. Esta alteração foi mantida até o fermento ser retirado do tanque, entre 132 e 156h após o início da fermentação, de acordo com a receita da cerveja.

Com a retirada, a pressão diminuía até o valor exercido inicialmente, e não era possível aumentar novamente por não haver mais produção de CO<sub>2</sub>, uma vez que não havia mais fermento na cerveja. Portanto, durante a etapa de maturação, não foi possível manter a contrapressão do tanque elevada.

#### *3.1.2 Temperatura do mosto*

A segunda alteração realizada foi a mudança no resfriamento do mosto, etapa anterior à fermentação. Para cada tanque de fermentação, é necessário o preparo de 4 a 6 mostos, dependendo da sala em que o mosto foi fabricado. Isso se deve ao fato da cervejaria possuir duas salas de brassagem, sendo a segunda com capacidade maior que a primeira. A preparação do mosto é chamada de “fabrigo”, e é a etapa mais rápida do processo da cerveja (leva cerca de 6 horas) quando comparada com as etapas de fermentação e maturação, com duração de 7 dias cada.

Cada tanque de fermentação possui capacidade de 4200 hectolitros. Para serem preenchidos são necessários seis ciclos de preparação de mosto da menor sala de brassagem ou quatro da maior sala. Nos últimos ciclos, de ambas as salas, a temperatura foi aumentada em 3°C. Nos demais, o aumento foi de apenas 0,5°C, o que garante a compatibilização com o padrão de temperatura de enchimento dos tanques. O mosto se encontra mais aquecido, porém permanece dentro do limite especificado.

### 3.1.3 *Aeração*

A terceira condição a ser alterada foi a preparação do fermento. Como já explicado na seção 2.5.2, o fermento é reutilizado de uma fermentação para outra, passando por um tratamento para garantir a manutenção de sua qualidade. O tratamento ácido permaneceu inalterado, mas o tempo de aeração foi reduzido em 2 horas, a fim de deixar a levedura em um estado de conservação mais crítico, uma vez que o CO<sub>2</sub> não será totalmente removido, permanecendo mais tempo em contato com a levedura. Assim, no momento em que for colocado em contato com o mosto novamente, o fermento priorizará a fabricação de mais aminoácidos, e conseqüentemente, mais dióxido de enxofre, para garantir sua sobrevivência.

### 3.1.4 *Composição do mosto*

Por último, foi alterado o fabrico no qual o fermento é dosado. Em geral, o fermento era dosado juntamente com o primeiro fabrico do tanque de fermentação. Com a finalidade de aumentar a quantidade de açúcar fermentescível no mosto, foi alterado o momento de dosagem do fermento, que passou a ser no penúltimo fabrico. Dessa forma, a levedura encontraria mais substrato para fermentar, e conseqüentemente, produziria uma maior quantidade de SO<sub>2</sub>.

## **3.2 Metodologia para cálculo dos custos evitados**

A decisão de eliminar o uso do antioxidante gera diversos pontos de economia no processo, sendo eles:

- Redução de custos com conservantes, pela não utilização do isoascorbato de sódio;
- Menor calor trocado para o resfriamento do mosto;

- Menor energia gasta nos compressores pela redução da aeração durante a etapa de tratamento do fermento.

Cada um destes custos evitados foi calculado como segue.

### 3.2.1 Temperatura do mosto

O mosto é resfriado através da passagem do mesmo em contracorrente com água gelada em um trocador de calor de placas. Esta água é resfriada através da utilização de dois equipamentos compactos de refrigeração, chamados chillers. Estes equipamentos são altamente eficientes, possuem ampla faixa de aplicação e vem sendo cada vez mais utilizados, pois fazem todo ciclo de resfriamento em um único equipamento (compressão, condensação, expansão e evaporação). (JAIR EDUARDO ALVES MENDES, 2014)

Os chillers são utilizados modulando a fim de obter a água na temperatura adequada para resfriar o mosto. Antes das alterações, a temperatura inicial do mosto era de 98°C, em média, e a temperatura de saída era de cerca de 9°C. Sabendo a quantidade de mosto que era necessário resfriar, calcula-se a carga térmica, e chega-se então a temperatura inicial necessária da água, através do seguinte cálculo:

$$m_1 C_{p1} \Delta T_1 = m_2 C_{p2} \Delta T_2 \quad (1)$$

sendo  $m_1$  a massa de mosto,  $C_{p1}$  a capacidade calorífica do mosto e  $\Delta T_1$  a diferença de temperatura final e inicial do mosto ao passar pelo trocador de calor. O mesmo vale para o  $m_2$ ,  $C_{p2}$  e  $\Delta T_2$ , porém utilizando os dados da água de resfriamento. Utilizando uma quantidade de água definida, chegava-se a temperatura inicial da água.

Com a alteração no resfriamento do mosto, o último fabrico teve sua temperatura final aumentada em 3°C, e os outros fabricos aumentados em 0,5°C. Utilizando a Equação 1 e o mesmo volume de água gelada, calculou-se a nova temperatura inicial da água, uma vez que a carga térmica trocada foi alterada.

Sabendo a mudança na temperatura inicial da água, sabe-se que a modulação dos chillers também é alterada, utilizando uma potência diferente da potência requerida antes da alteração.

Para estimar o preço da energia elétrica, foram utilizados os dados da CEEE, sabendo que a indústria cervejeira do presente trabalho se enquadra como no Grupo A3, com modalidade tarifária horária Azul. Portanto, o cálculo realizado está demonstrado pela Equação 2, sendo utilizado os valores de PIS, COFINS e ICMS médios do ano.

$$Preço_{EE} = \frac{Preço\ homologado}{(1-PIS-COFINS-ICMS)} \quad (2)$$

Para utilizar um valor mais próximo do real, foi calculado o preço para a energia na ponta (das 18h às 21h) e fora da ponta, utilizando por fim um valor de preço médio ponderado.

$$Preço\ final_{EE} \left( \frac{R\$}{kWh} \right) = Preço\ ponta \times \frac{3}{24} + Preço\ fora\ da\ ponta \times \frac{21}{24} \quad (3)$$

Assim, o custo envolvido pode ser calculado pela Equação 4:

$$C_{resf}(R\$) = potência(kW) \times tempo\ de\ operação\ (h) \times Preço\ final_{EE} \left( \frac{R\$}{kWh} \right) \quad (4)$$

Através da diferença de potências antes e depois da alteração feita no resfriamento do mosto, calcula-se a diferença de custo de operação dos chillers.

### 3.2.2 Aeração

A aeração do tanque de preparação de fermento é feita através de um compressor de ar comprimido, que envia ar a cerca de 6 bar. Para calcular o custo envolvido na redução do tempo de aeração, foi utilizada uma tabela encontrada no manual deste compressor.

Tabela 1: Relação do consumo de potência para diferentes diâmetros de vazamentos. Fonte: (JAIR EDUARDO ALVES MENDES, 2014)

<b>Diâmetro do furo (mm)</b>	<b>Vazão do vazamento (l/s) a 6 bar</b>	<b>Potência extra requerida no compressor (kW) a 6 bar</b>
1,0	1,0	0,3
2,0	10,0	3,1
5,0	27,0	8,3
10,0	105,0	33,0

Esta tabela informa a potência extra requerida para vazamentos de ar de acordo com o diâmetro do furo. Como a tubulação utilizada para aerar o tanque é muito pequena (0,5 polegadas = aproximadamente 12,7 mm), foi feita uma extrapolação destes valores de diâmetro para calcular a potência extra do compressor na aeração do tanque de preparação do fermento.

Sabendo-se a potência extra necessária para enviar ar a 6 bar por 2 horas (redução do tempo de aeração), calculou-se o custo envolvido por preparação de fermento. Esse custo deve ser multiplicado pela quantidade de tanques de fermentação utilizados no mês, pois para cada tanque, foi feito um tratamento para preparação do fermento. Tendo o volume de cerveja produzido, calcula-se a quantidade de tanques de fermentação utilizados no mês, chegando no custo final envolvido na alteração desta etapa, conforme descrito pela Equação 5.

$$Custo_{ar} = \text{potência}(kW) \times \text{tempo}(h) \times \text{Preço final}_{EE} \left( \frac{R\$}{kWh} \right) \times \frac{\text{volume de cerveja produzida (hL)}}{\text{volume do tanque de fermentação (hL)}} \quad (5)$$

### 3.2.3 Contrapressão e composição do mosto

Como o aumento da contrapressão foi obtido pela regulagem da válvula de saída dos gases, nenhum custo foi evitado, assim como a diferença de dosagem de fermento não afeta nenhuma condição do processo, não tendo custos envolvidos.

### 3.2.4 Isoascorbato de sódio

Por fim, calculou-se o custo envolvido com a não utilização do isoascorbato de sódio da receita das cervejas. Pela concentração necessária do antioxidante que estava descrita no padrão e volume de cerveja produzido, foi feito o cálculo do custo envolvido em não utilizar mais o aditivo:

$$Custo_{antiox} = Conc_{antiox} \left( \frac{Kg}{hL} \right) \times V_{cerveja} (hL) \times Preço_{antiox} \left( \frac{R\$}{Kg} \right) \quad (6)$$

## 4 Resultados

### 4.1 Concentração de SO<sub>2</sub>

Em junho de 2017, no começo do trabalho, a média da concentração de SO<sub>2</sub> encontrava-se com uma distância de 82% do limite mínimo especificado pela empresa, como mostra o gráfico da Figura 8. Em julho do mesmo ano, com a alteração da contrapressão dos tanques de fermentação, esse valor reduziu para 68%. A partir de agosto de 2017, com as demais alterações descritas na seção 3.1, foi possível atingir um valor apenas 7% abaixo do especificado. Mesmo ainda fora de faixa, até então, foi possível aproximar em cerca de 70% a média para o limite mínimo necessário. Porém, em setembro e outubro de 2017 a distância ao limite aumentou novamente, fechando em 20%. Isso ocorreu, pois, a dosagem de fermento voltou a ser feita no primeiro fabrico, devido ao resultado do teste explicado pela Figura 9.

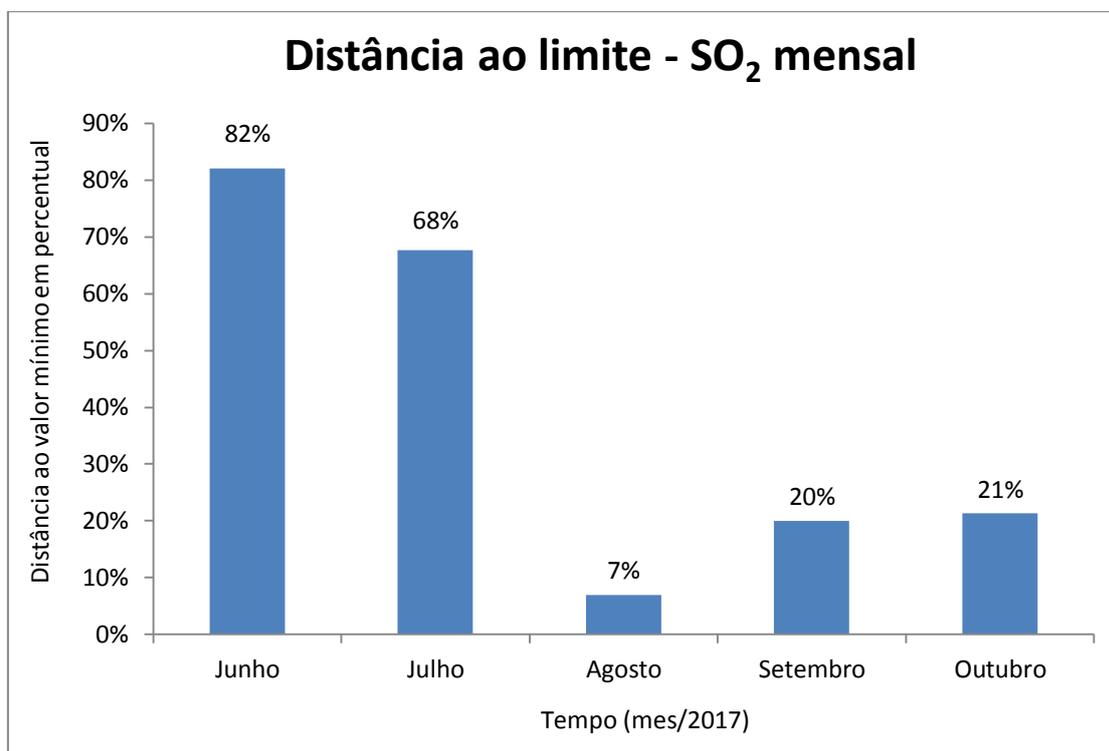


Figura 8- Média mensal da distância da concentração de SO<sub>2</sub> medida ao valor mínimo necessário.

A Figura 9 demonstra o resultado de um teste que foi realizado em paralelo com as outras modificações, alterando apenas a dosagem do fermento do primeiro (teste 1) para o penúltimo fabrico (teste 2).

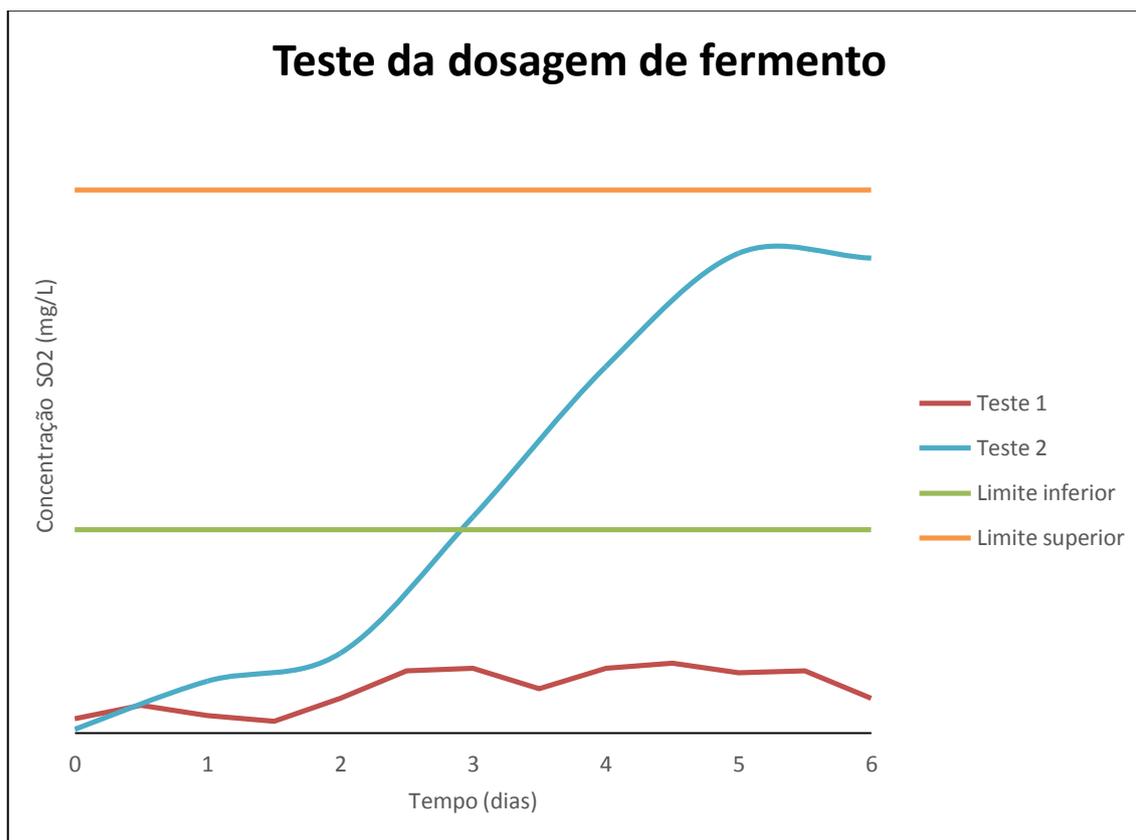


Figura 9 - Teste da alteração da dosagem de fermento.

Pode-se perceber que esta alteração é a que mais impactou a formação de SO<sub>2</sub>, porém apresenta também um problema significativo: a fermentação termina com o extrato fermentescível muito elevado, fora da faixa de especificação, inviabilizando esta alternativa.

## 4.2 Custos envolvidos

### 4.2.1 Temperatura do mosto

Através da Equação 1, foi calculado que a temperatura inicial da água de resfriamento seria 0,5°C maior que a temperatura antes da alteração no resfriamento do mosto, pela carga térmica trocada ser menor. Este valor é obtido com os chillers modulando com uma potência 4% abaixo da potência requerida inicialmente.

Sabendo que a potência dos chillers é de 330 kW cada, o tempo de operação é 24h e o preço médio da energia elétrica é R\$ 0,33011/kWh, obtém-se um ganho diário de R\$ 209,16, totalizando R\$ 6.274,73/mês.

#### 4.2.2 Aeração

Utilizando os dados apresentados na Tabela 1, foi feito um ajuste para obter o valor aproximado para um diâmetro de 12,7 mm. Com a equação obtida (mostrada da Figura 10), chegou-se em um consumo extra de 52,71 kW.

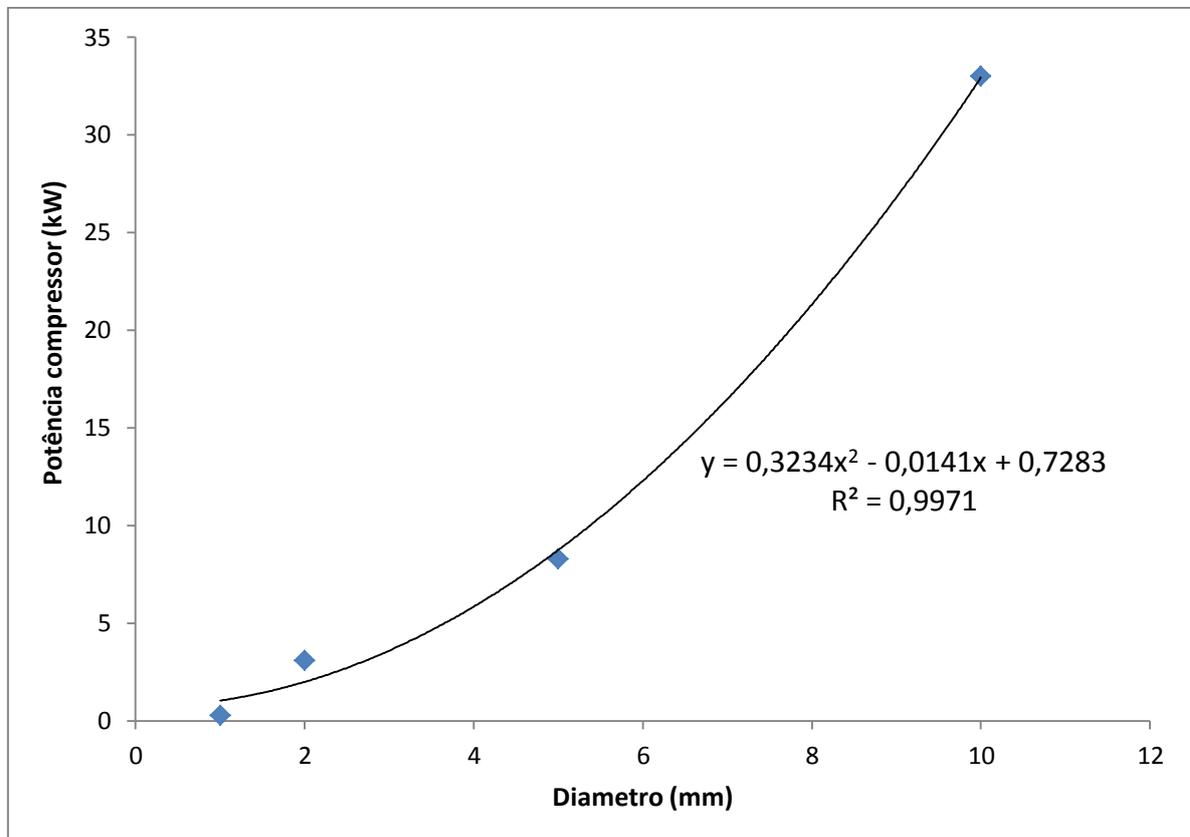


Figura 10 - Relação entre a potência extra consumida e o diâmetro do tubo.

Utilizando a Equação 5, calculou-se o custo evitado mensal, que resultou em R\$ 2.230,92.

#### 4.2.3 Remoção do Isoascorbato de sódio

Através da Equação 6, foi calculado o custo evitado pela remoção do antioxidante da receita das cervejas, que resultou em um ganho mensal de R\$ 14.103,30.

#### 4.2.4 Custo Evitado Total

Com as alterações realizadas no processo de produção da cerveja para o aumento da formação de  $\text{SO}_2$ , obteve-se um custo evitado total de R\$ 22.608,95/mês, totalizando R\$ 271.307,40 por ano. Cada fator alterado causou um impacto diferente no custo evitado, sendo a remoção do antioxidante o mais

---

significativo, sendo responsável por 62% do valor total. Na sequência, com 28% do valor, aparece a redução da temperatura do mosto, e por fim, a redução do tempo de aeração, com 10% do impacto total.

## 5 Conclusões e Trabalhos futuros

As alterações realizadas no presente trabalho foram desde a preparação do fermento, diminuindo o tempo de aeração entre uma utilização e outra, até os parâmetros do processo, com a redução do resfriamento do mosto, aumento da contrapressão do tanque de fermentação e alteração na etapa de dosagem de fermento.

Embora tenha havido uma alteração significativa, nenhuma das medidas adotadas foi suficiente para levar a produção de SO<sub>2</sub> para o nível mínimo especificado pela empresa, sem interferir nos demais parâmetros do processo. A concentração de SO<sub>2</sub> caiu de 82% abaixo do limite inferior para um valor apenas 20% abaixo do mínimo ideal, e embora ainda não esteja dentro da faixa adequada, a proximidade do seu valor para a meta já garante um maior tempo de prateleira, sem alteração das propriedades organolépticas da cerveja.

Além disso, a alteração com maior influência sobre a produção do SO<sub>2</sub> foi a dosagem do fermento no penúltimo fabrico, alternativa que não pôde ser mantida devido a fermentação finalizar com o extrato fermentescível muito elevado, fora do padrão especificado pela empresa.

Com as alterações realizadas no processo de produção, obteve-se um custo evitado total de R\$ 22.608,95/mês, sendo R\$ 6.274,73 referente à redução no resfriamento do mosto, R\$ 2.230,92 pela redução no tempo de aeração do fermento, e R\$ 14.103,30 pela não utilização de antioxidante Isoascorbato de Sódio. Com isso, totalizou R\$ 271.307,40 por ano de custos evitados com as alterações no processo.

Como trabalhos futuros, sugere-se a dosagem do fermento em fabricos intermediários, a fim de conciliar a concentração de SO<sub>2</sub> com o extrato final, já que esta é uma alteração que demonstrou ter elevada influência na formação do composto desejado. Outro fator interessante a ser analisado é o aumento da contrapressão do tanque de maturação, que garantiria maior retenção do SO<sub>2</sub> formado.

## 6 Referências

ALMEIDA E SILVA, JB. *Cerveja*. In: Venturini Filho, G. W. **Tecnologia de Bebidas**. Edgar Blucher, Brasil, 2005, p.347-380.

AMBEV, “comunicação pessoal”. 11/2017.

BOKULICH, N. A.; BAMFORTH, C. W. The Microbiology of Malting and Brewing. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, [s. l.], v. 77, n. 2, p. 157–172, 2013. Disponível em:

<<http://mmbbr.asm.org/cgi/doi/10.1128/MMBR.00060-12>>

BUGLASS, Alan J. **Handbook of Alcoholic Beverages: Technical, Analytical and Nutritional Aspects**. [s.l: s.n.]. v. 1–2

CELSO, Rubens; MATTOS, Fonseca; QUÍMICA, Engenharia. **Efeito das variáveis de transporte e estocagem sobre a estabilidade sensorial de cervejas tipo pilsen**. [s. l.], 2007.

DOSTÁLEK, Pavel; KELLNER, Vladimir. **Significance of SO<sub>2</sub> in beer . Part 3 : Factors which effect on production of sulphur dioxide during brewing fermentation** . [s. l.], n. May 2008, 2014.

EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, Urgel de Almeida Lima. **Biotecnologia Industrial**, 2001. a.

EUGÊNIO AQUARONE, WALTER BORZANI, WILLIBALDO SCHMIDELL, Urgel de Almeida Lima. **Biotecnologia Industrial Vol. IV**. [s.l: s.n.].

HANS MICHAEL EBLINGER. **Handbook of Brewing**. [s.l: s.n.].

JAIR EDUARDO ALVES MENDES. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO E AR COMPRIMIDO – ESTUDO DE CASOS**. 2014. [s. l.], 2014.

MARCUSSO, Eduardo Fernandes; MULLER, Carlos Vitor. **A CERVEJA NO**

**BRASIL : O ministério da agricultura informando e esclarecendo.** [s. l.], 2017.

MATTANNA, Claudia Sachett. **Efeito Do Trans -2-Nonenal Na Qualidade Sensorial da Cerveja.** [s. l.], p. 38, 2010.

OLIVEIRA, Nayara Aline Muniz. Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja. **Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG**, [s. l.], 2011.

REINOLD, M.R. **Tipos de cerveja.** Disponível em: <<https://www.cervesia.com.br/tipos-de-cerveja.html>>. Acesso em: 28 set. 2017.

REINOLD, M.R. **Lúpulo: o tempero da cerveja.** Disponível em: <<https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/tecnicos/materia-prima/lupulo/821-lupulo-o-tempero-da-cerveja.html>>. Acesso em: 28 set. 2017.

ROBSON GIOVANI ALTISSIMO. **Estudo de caso da viabilidade técnico-econômica da reutilização do resíduo de terra diatomácea em indústria cervejeira.** [s. l.], 2016.