

ANÁLISE DAS CAUSAS DE UMA ANOMALIA NO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA CERVEJEIRA

JOAO MARCOS DE SOUSA LUZ

m_marcossousa@hotmail.com

Nayara Medeiros

nayaramedeiros30@gmail.com

Renata de Oliveira Mota

renatamota@live.com

Adriana Simões

adriana.s.simoes@gmail.com



O objetivo desse trabalho é analisar as possíveis causas de uma anomalia no teor de dióxido de enxofre em um processo químico de fermentação na produção de cerveja. Para tanto, foi desenvolvido um estudo de caso em uma indústria cervejeira, e implementado o método de gestão DMAIC, associado à utilização das ferramentas de qualidade para identificar as causas-raízes e propor melhorias no processo. Os resultados confirmaram a existência de uma anomalia na curva de SO₂ durante as etapas de fermentação e maturação, até o produto acabado, por meio da rastreabilidade de dados e gráficos de controle associado ao padrão técnico de processo utilizado pela indústria. Por essa razão, foi elaborado um plano de ação de utilizando o 5W1H para propor melhorias no processo. Entre as ações propostas, estão: a implementação de uma folha de verificação; verificação e acompanhamento do procedimento de coleta e análise; revisão do plano de calibração do medidor de SO₂; rastrear os indicadores de qualidade da levedura cervejeira; e a utilização de caixa térmica no transporte das amostras. A pesquisa visa contribuir com resultados positivos à manutenção da qualidade sensorial da cerveja, e assim auxiliar no controle de qualidade no processo da Indústria.

Palavras-chave: Ferramentas da Qualidade, DMAIC, Fermentação, Indústria de Cerveja, Plano de ação 5W1H

1. Introdução

As empresas que objetivam manter-se no topo concorrencial devem alinhar-se aos princípios da gestão do processo e da qualidade, para alcançar redução de custos e dos tempos de ciclo, melhoria da qualidade dos produtos, bem como maior flexibilidade e confiabilidade (SANTOS; SCHUSTER; PRADELLA, 2013).

A indústria cervejeira, apesar de apresentar um papel fundamental na economia brasileira, principalmente no que tange a arrecadação de impostos, tem enfrentado um mercado cada vez mais competitivo e inovador com a diversificação de sabores e o desenvolvimento de novos tipos de bebidas (SILVA, 2008).

A percepção da qualidade sensorial da cerveja pode estar relacionada a alguns fatores como: acidez, oxidação, amargor, cor, aroma e adstringência. Logo, a estabilidade do sabor é muito significativa para avaliar a qualidade da cerveja. Para garantir a estabilidade do sabor e evitar o envelhecimento da cerveja, torna-se essencial o controle do anidrido sulfuroso (dióxido de enxofre), que é um importante composto antioxidante (composto anti envelhecimento), garantindo assim, a manutenção do sabor e do aroma por um período mais duradouro (CHEN; YANG; ZHANG et. al, 2012).

Considerando o exposto, esta pesquisa tem como objetivo analisar as possíveis causas de uma anomalia no nível de dióxido de enxofre (SO₂) em um processo químico de fermentação na produção de cerveja. Para tanto, foi desenvolvido um estudo de caso em uma indústria cervejeira.

Destarte, o trabalho aqui exposto encontra-se estruturado da seguinte forma: (i) revisão da literatura sobre os principais temas que deram sustentação para o estudo empírico; (ii) método de pesquisa, momento em que discute detalhadamente como a pesquisa de campo foi desenvolvida; (iii) descrição e análise dos resultados e, por fim, (iv) conclusão do trabalho e discussões adicionais.

2. Referencial teórico

2.1. Indústria cervejeira

A cerveja é uma das mais antigas bebidas fermentadas da história da humanidade, e que ao longo dos anos mantém um processo tradicional de produção, sem mudanças significativas. O processo baseia-se na atividade enzimática natural que ocorre durante a maltagem de grãos, esmagamento de grãos e fermentação dessa mistura (BAMFORTH, 2009).

No cenário atual, o Brasil encontra-se como o terceiro maior produtor de cerveja do mundo com produção de 140.460 milhões de hectolitros/ano, cerca de 24,5% da produção do continente americano e 7% da produção mundial em 2014 (LIMBERGER; TULLA, 2017).

A indústria cervejira é uma das que mais empregam no Brasil. Cerca de 2,7 milhões de postos de trabalho entre empregos diretos, indiretos e induzidos, estão ligados a esse setor. Nas cervejarias, os empregos crescem mais que a média geral da indústria no país. Vale ressaltar que para cada novo emprego na indústria cervejira, aproximadamente outros 52 são criados na cadeia produtiva (CERVBRASIL, 2015).

Embora os procedimentos básicos de fermentação permaneçam os mesmos, o desenvolvimento e a implementação de equipamentos industriais modernos têm gradualmente transformando o cenário das cervejarias, com instalações industriais altamente higiênicas, de recuperação de energia/água. No entanto, seria muito improvável que as alterações do processo tecnológico não levassem a maior necessidade da manutenção da qualidade e da implantação de controles eficientes. Mudanças na qualidade do produto final pode ser perceptível ao consumidor, e levá-lo a repensar sobre a escolha do produto. Portanto, a introdução de inovações tecnológicas requer geralmente uma extensa investigação de sua influência na qualidade sensorial do produto (SAERENS; DUONG; NEVOIGT, 2010). Para isso, faz-se fundamental a compreensão das definições básicas das ferramentas da qualidade.

2.2. DMAIC e Ferramentas da Qualidade

O DMAIC é o método de operacionalização do Seis Sigma que visa operar o sistema por meio da melhoria contínua, selecionando corretamente os processos que podem ser melhorados, e as pessoas capazes de obter melhores resultados pós treinamento (CARVALHO; PALADINI, 2012).

As fases do método são cinco: definir, medir, analisar, aperfeiçoar e controlar, como pode-se observar de forma mais detalhada no Quadro 1.

Quadro 1: Etapas do DMAIC

Fase			Atividades
D	Definir	Definir as prioridades	Consiste em definir os requisitos do cliente e transformá-los em parâmetros de qualidade, com base nas principais ocorrências, para então proceder uma hierarquização dos problemas a serem resolvidos e analisar o fator custo-benefício possíveis após resolução do problema.
M	Medir	Como o processo é medido e como é executado?	Nessa etapa deve-se coletar dados do processo por meio de um sistema que produza amostras representativas e aleatórias. É importante realizar medições adequadas para às necessidades do processo.
A	Analisar	Identificação das principais causas	Análise dos dados coletados utilizando ferramentas tradicionais da qualidade e ferramentas estatísticas.
I	Melhorar	Eliminação das causas dos defeitos	Fase em que deve-se fazer as melhorias no processo.
C	Controlar	Medição e controle contínuos	Deve ser estabelecido e validado um sistema de medição e controle para medir continuamente o processo.

Fonte: adaptado de Rotondaro e Carvalho (2012)

Para que as etapas de um método utilizado possam ser operacionalizadas, faz-se necessário o uso de ferramentas da qualidade que são técnicas de tratamento das informações necessárias para a coleta, o processamento e a disposição clara das informações relacionadas ao processo em estudo (MARIANI, 2005). Rotondaro e Carvalho (2012) complementam que para o DMAIC utiliza-se, além das ferramentas tradicionais da qualidade, conceituadas no Quadro 2, ferramentas estatísticas para identificar as causas óbvias e as causas não óbvias.

Quadro 2: Ferramentas da qualidade

Ferramentas	Conceito
Estratificação	Consiste em dividir um grupo em diversos subgrupos com base em características distintiva objetivando identificar as principais causas de variação que atuam nos processos produtivos.
Folha de verificação	A folha de verificação é usada para planejar a coleta de dados a partir de necessidades de análise de dados futuras, possibilitando, assim, simplificar e organizar a coleta de dados.
Diagrama de Pareto	O diagrama de Pareto consiste em um gráfico de barras verticais que dispõe a informação sobre os problemas em ordem de importância. Dessa forma, o diagrama busca mostrar de forma evidente e visual que dentre todas as causas de um problema apenas algumas poucas são as grandes responsáveis pelos efeitos indesejáveis.
Diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa ou diagrama de espinha de peixe	Busca representar as relações existentes entre um problema ou efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema.
Histograma	Dispõe as informações de modo que seja possível a visualização da forma da distribuição e um conjunto de dados e também a percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno desse valor central.
Diagrama de dispersão	O diagrama de dispersão é um gráfico utilizado para a visualização do tipo de relacionamento existente entre duas variáveis com o objetivo de relacionar causa e efeito.
Gráficos de controle	Tem como objetivo garantir que o processo opere na sua melhor condição.
5S	Consiste em um conjunto de conceitos e práticas que tem por objetivos principais a organização e a racionalização do ambiente de trabalho. Os cinco sentidos consistem em: <i>Seiri</i> (utilização/seleção), <i>Seiton</i> (ordenação), <i>Seiso</i> (limpeza), <i>Seiketsu</i> (saúde), <i>Shitsuke</i> (autodisciplina).

Fonte: adaptado de Carpinetti (2016)

Dessa forma, as ferramentas da qualidade auxiliam na avaliação e implementação de melhorias por meio de análises objetivas do processo, orientando, assim, a ação do pesquisador (ROTONARO; CARVALHO, 2012).

3. Método de pesquisa

A pesquisa relatada neste artigo é predominantemente qualitativa, adota uma abordagem menos estruturada e utiliza o estudo de caso como procedimento (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2010), buscando uma análise mais profunda das possíveis causas de uma anomalia no nível de (SO₂) em um processo químico de fermentação de uma indústria cervejeira.

O desenvolvimento do estudo se deu devido a uma demanda de uma indústria cervejeira em analisar uma anomalia em seu processo de fermentação. Para que o objetivo seja cumprido, torna-se importante definir um método para análise e solução de problemas. O DMAIC é um método concebido para sanar problemas de forma metódica em cinco passos, que são: *Define, Measure, Analyze, Improve e Control* (VERKEMA, 2012, RÊGO; SYED; PRATES, 2015). A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, conforme é possível verificar no Quadro 3.

Quadro 3 - Procedimentos da pesquisa

1a Etapa: Revisão de Literatura	O quê?	Como?
1.1 Indústria cervejeira	Identificar as principais características da indústria cervejeira	Levantamento bibliográfico
1.2 DMAIC e Ferramentas da Qualidade	Revisar os principais conceitos sobre a metodologia DMAIC	
2a Etapa: Estudo de caso	O quê?	Como?
2.1 Caracterização da Empresa	Caracterizar a empresa e o processo de fermentação	- Análise de documentos - Observação direta do processo
2.2 Implementação do DMAIC e das ferramentas da qualidade	Implementar as ferramentas da qualidade seguindo o passo-a-passo da metodologia DMAIC	
2.3 Análise dos dados	Analisar os dados e definir o plano de ação para a anomalia	Utilização da ferramenta da qualidade: 5W1H

Fonte: Elaborado pelos autores

A coleta de dados se deu por análise documental, além de observações sistemáticas utilizando um roteiro de observação a fim de identificar e confirmar as análises realizadas no processo relevantes à pesquisa.

4. Discussão e análise dos resultados

4.1. Descrição da empresa

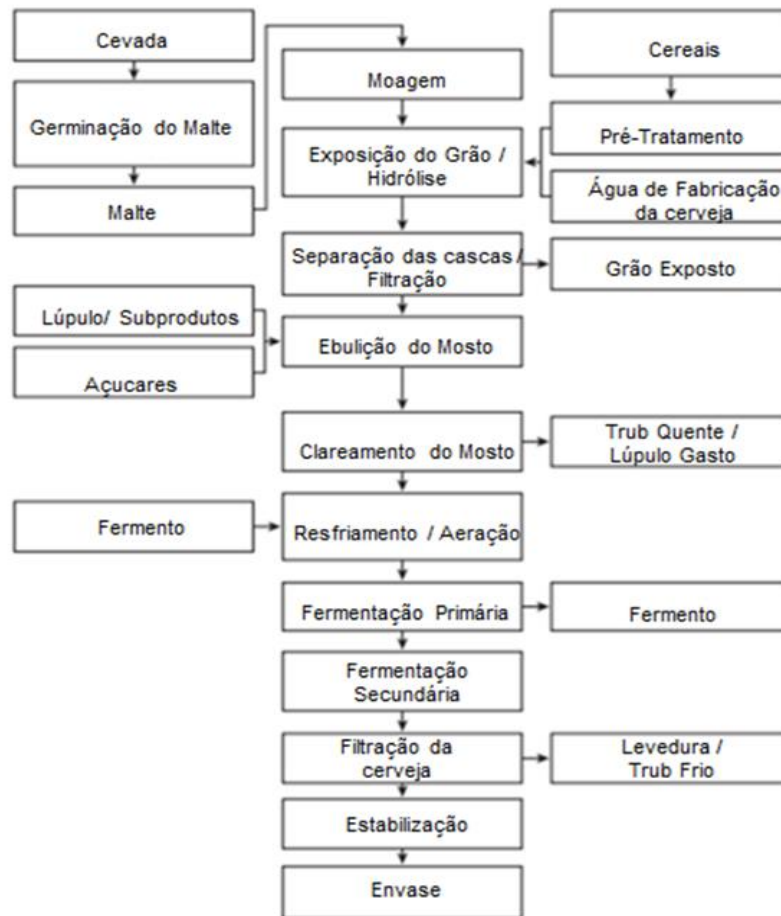
A empresa estudada é uma companhia de bebidas com capital aberto, produtora de bens de consumo. Nasceu da fusão entre outras duas grandes companhias de bebidas do Brasil, no ano de 1999. Apresenta como principais produtos: refrigerantes, sucos, não alcoólicos e não-carbonatados, porém, o principal negócio da companhia é a produção de cerveja, sendo líder em diversos mercados brasileiro, com várias marcas em seu portfólio.

4.2. Processo produtivo da cerveja

A fabricação de cerveja avançou desde as últimas décadas do século XIX para se tornar uma tecnologia de controle rigoroso, na qual a excelência consistente da cerveja pode ser assegurada, produzindo produtos previsíveis, diferentemente, talvez, dos caprichos da qualidade do vinho (BAMFORTH, 2017).

Embora os detalhes do processo de fabricação possam variar dependendo do tipo específico de cerveja, normalmente consistem nas seguintes etapas: maltagem, produção de mosto, fermentação, maturação e processamento, que podem incluir a estabilização, pasteurização, filtração e envase, como pode-se observar no fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma do processo de fabricação da cerveja



Fonte: Kyselová e Brányik (2015, p.2)

4.2.1. Processo químico de fermentação

O processo é baseado na atividade enzimática natural que ocorre durante a maltagem de grãos, esmagamento de grãos e fermentação do mosto (produto do cozimento do malte) (BAMFORTH, 2009). A fermentação é o processo de transformação de açúcares para álcoois, CO₂, ácidos orgânicos e calor através da ação de leveduras (fermento). O objetivo desse processo é obter uma cerveja com as características organolépticas, químicas e físico-químicas desejadas. Para garantir um bom processo de fermentação, o controle de alguns fatores faz-se bastante necessário, como: oxigênio; temperatura de fermentação; gestão do fermento; dosagem do fermento e nutrientes adequados (açúcares, aminoácidos, vitaminas e metais: Zn, Mg, Fe).

Para transformar o mosto em cerveja, as células de levedura cervejeira ativas precisam ser lançadas no mosto resfriado e oxigenado. O processo de fermentação convencional consiste em duas fases: fermentação principal (geralmente 5 a 8 dias) e maturação (geralmente de 7 a 30 dias). Entretanto, na produção em massa a processos de maturação costuma durar apenas 2 dias.

Durante a fermentação principal, ocorre a conversão de açúcares fermentáveis (por exemplo, glicose, maltose, maltotriose) em etanol e CO₂, juntamente com a produção de outros subprodutos metabólicos (ésteres, álcoois superiores, aldeídos, ácidos orgânicos), além de antioxidantes como o SO₂ que é produto natural da ação metabólica das leveduras e o objeto de estudo dessa pesquisa que será melhor detalhado na seção 4.2.2.

Alguns dos subprodutos (dicetonas vicinais, acetaldeído) conferem sabores indesejáveis à cerveja e, portanto, a maturação é necessária para reduzir a concentração de compostos de sabor indesejáveis, promover a decantação de parte desses substratos, bem como para saturar a cerveja final com CO₂. A filtração, a pasteurização e a estabilização da cerveja são realizadas a fim de se obter estabilidade microbiana, coloidal e de sabor, de modo que não ocorram mudanças visíveis e sensoriais perceptíveis no produto final por um longo tempo. (KYSLOVÁ; BRÁNYIK, 2015).

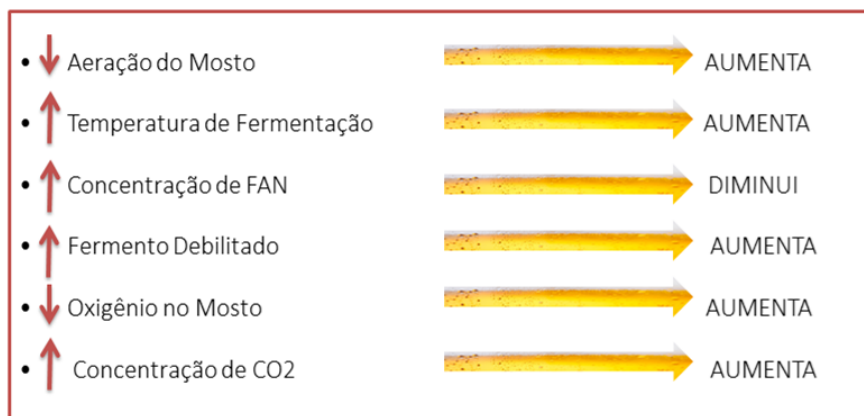
4.2.2. Dióxido de Enxofre x Fermentação

O SO₂ é usualmente utilizado pela indústria alimentar e de bebidas como aditivo. Entretanto, na produção de cerveja ele pode ser produto de um processo natural. O uso deste composto tem como objetivo proteger os produtos da oxidação e de contaminações microbiológicas, atendendo suas características antioxidantes e antissépticas. Logo, como agente antioxidante reage com o oxigênio e radicais livres, atrasando a evolução oxidativa, o que também previne ou reduz a perda da cor do produto. Além disso, retarda ações enzimáticas desnecessárias para o produto, e exerce ação antimicrobiana sobre diversos fungos e bactérias. Ainda mais, aumenta a estabilidade organoléptica da cerveja, a medida que bloqueia compostos carbonílicos responsáveis por gostos e aromas.

No processo de fermentação da cerveja, a levedura cervejeira produz sulfito como resultado da ação de seu metabolismo. A concentração desse composto está diretamente relacionada com a síntese de aminoácidos, já que a levedura necessita deles para o seu metabolismo natural. Contudo, é possível controlar a formação de SO₂ no processo de fermentação regulando algumas variáveis que impactam no funcionamento das leveduras cervejeiras. Essas variáveis podem ser: Temperatura do Fermento; Aeração do Mosto; Concentração de FAN (aminoácidos); Fermento Debilitado; Concentração de CO₂ e Oxigênio no Mosto.

Outrora, duas variáveis de extrema importância são: Aeração na Fermentação e Estanqueidade no Maturador. A etapa de aeração fornece o oxigênio necessário para a fase inicial de fermentação, que consiste na adaptação da levedura ao meio e sua propagação proporcionando tempos de fermentação, taxas de multiplicação do fermento e obtenção balanceada de componentes sensoriais de flavour e paladar. A estanqueidade dos tanques de maturação é muito significativa, pois tem como objetivo verificar e localizar o vazamento de algum fluido, líquido ou gasoso. Com isso, é importante mencionar que a contra pressão dos tanques utilizados nos processos e a formação do colchão de CO₂ (blindagem), é de suma importância, pois impede vazamento e contato do produto com o ar (oxigênio). Esses parâmetros exercem relações proporcionais e inversamente proporcionais com a produção de SO₂, como apresentado na Figura 2.

Figura 2: Relação entre os parâmetros de controle e a produção de SO₂



Fonte: Dados secundários fornecidos pela empresa

Vale ressaltar que a produção dos compostos de enxofre devem ser controladas para garantir a cerveja dentro dos padrões de qualidade especificados. Além do SO₂, compostos como o H₂S (Sulfeto de Hidrogênio) também é gerado pela ação das leveduras. Apesar desse gás em baixas concentrações contribuir para o frescor da cerveja, em concentrações elevadas ele gera um aroma indesejável. Fatores que diminuem o crescimento do fermento, contribuem para formação de elevadas concentrações de H₂S e SO₂. Ademais, é importante saber que esses compostos de enxofres também podem surgir em função de contaminação por bactérias (termobactérias). Referindo-se a produto acabado, alguns autores, mencionam ainda que a exposição da cerveja engarrafada a luz pode originar aumento no teor de SO₂, o fenômeno chamado *Light Struck*.

A curva de concentração de SO₂ e derivados do enxofre, diminuem naturalmente ao decorrer das etapas do processo. Além disso, em relação ao produto acabado, o tempo de armazenagem da cerveja em garrafa e a exposição a elevadas temperaturas contribuem para a redução da concentração do (SO₂).

Uma vez compreendido o processo de produção da cerveja, foi implementado o método de DMAIC com o intuito de analisar as possíveis causas de uma anomalia no nível de (SO₂) em um processo químico de fermentação em uma indústria cervejeira.

4.3. Implementação das etapas do DMAIC

4.3.1 Definir

Nos últimos meses, foi verificado na Indústria estudada constantes oscilações nas curvas dos níveis de SO₂ no processo de fabricação da cerveja. Essas oscilações fogem do padrão e limites estabelecidos pela empresa, evidenciando um possível problema no controle do processo.

Com os níveis de dióxido fora de faixa, a curva de qualidade sensorial da cerveja pode ser prejudicada, devido à falta de padronização. Como já mencionado, o SO₂ age como um antioxidante natural, e para garantir a estabilidade da bebida por mais tempo no mercado, ele precisa ser controlado e estar dentro das faixas de especificações da empresa. Dessa forma, é necessário analisar as possíveis causas destas alterações nos níveis de SO₂.

4.3.2 Mensurar

Para fundamentar o presente estudo, foi realizada uma rastreabilidade de 10 amostras de lotes diferentes (Quadro 4) produzidos em março/2018. Os dados em vermelho, evidenciam a anomalia na curva decrescente do teor de SO₂. Cada lote contém níveis, do teor de SO₂ (mg/L) referente às análises feitas no decorrer do processo, incluindo: Análise no Tanque de Fermentação; Análise no Tanque de Maturação; Análise de Produto Acabado.

Quadro 4: Amostras rastreadas do processo

Amostra	Lote	Tipo	Fementador	Maturador	Produto Acabado	Data de Análise P.A
1	117	Lata 350ml	3,03	3,1	2,33	06/03/2018
2	120	Garrafa 600ml	3,28	3,17	2,72	07/03/2018
3	125	Lata 350ml	3,35	3,25	2,82	10/03/2018
4	127	Garrafa 600ml	2,26	1,66	3,1	13/03/2018
5	129	Garrafa 600ml	2,29	1,37	2,5	14/03/2018
6	131	Garrafa 600ml	1,13	3,76	4,16	15/03/2018
7	138	Garrafa 600ml	1,3	1,23	1,66	19/03/2018
8	141	Garrafa 600ml	1,26	1,21	2,43	21/03/2018
9	142	Lata 350ml	1,55	1,47	2,57	21/03/2018
10	150	Garrafa 600ml	1,55	1,47	1,25	26/03/2018

Fonte: Elaborado pelos autores

Para rastrear os lotes, e garantir a confiabilidade e correlação de dados foi utilizado o sistema M.E.S (*Manufacturing Execution System*), que tem como característica monitorar e controlar todas as etapas do processo de produção em tempo real. O M.E.S conta com um conjunto de ferramentas que confronta o que foi planejado e o que realmente está sendo executado, em

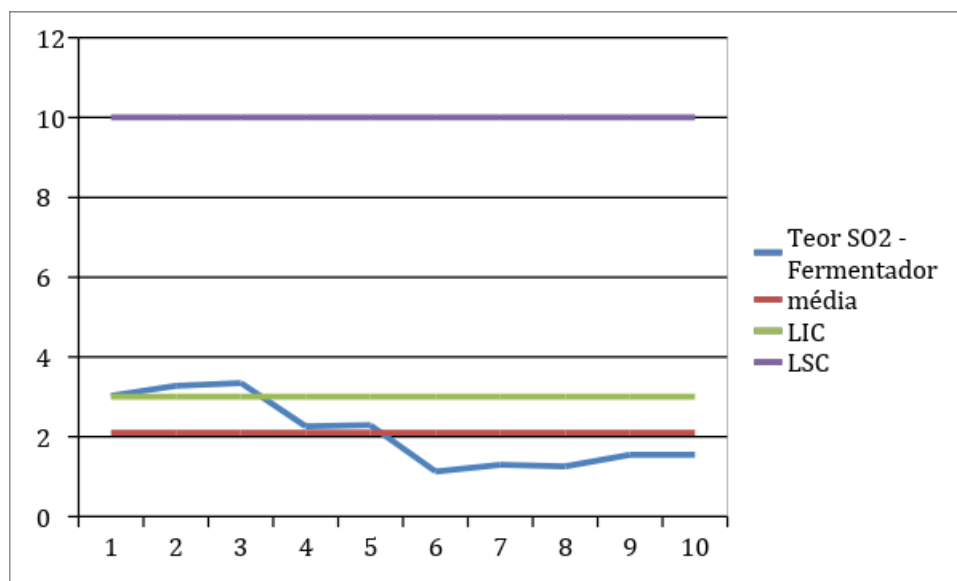
tempo real, garantindo a integração entre o ERP (*Enterprise Resource Planning*) e outros sistemas ligados, permitindo uma melhor gestão na tomada de decisão.

A indústria segue os padrões de análises e coletas desenvolvidos pelo seu Centro de Excelência em Engenharia. Nas análises referente aos compostos de enxofre é exigido que o operador realize a atividade exatamente conforme o padrão. A faixa de concentração de SO₂ em mg/L especificada no padrão para garantir a qualidade da cerveja é de 3 à 10. Ressaltando que, quanto mais próximo de 10 mg/L for o teor, melhor para a estabilidade sensorial da cerveja.

4.3.3 Analisar

Para avaliar se as amostras encontram-se nos limites estabelecidos, foi desenvolvido cartas de controles para cada um dos processos. Para o processo de fermentação, a carta de controle encontra-se expressa na Figura 3.

Figura 3: Carta de controle do processo de fermentação

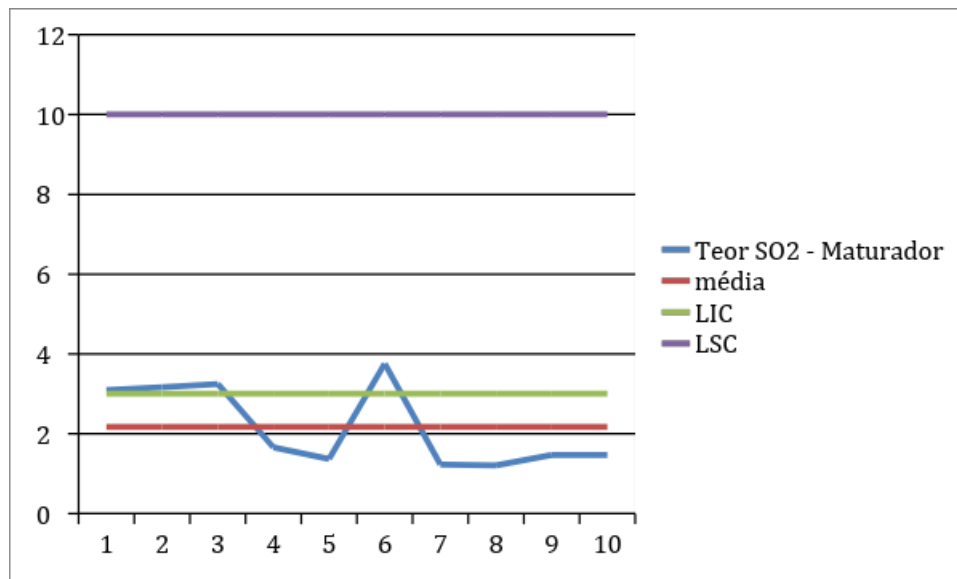


Fonte: Elaborado pelos autores

Pode-se observar que a média dos dados amostrais encontra-se abaixo do limite inferior de controle (LIC) estabelecido pelo padrão da empresa. Contando apenas com 3 pontos entre os limites, referente às amostras 1,2,3.

Já para o processo de Maturação, os dados são apresentados na Figura 4. O mesmo aconteceu em relação ao processo anterior, pois a média continua abaixo do LIC, entretanto 4 pontos estão dentro dos limites, uma vez que o teor de SO₂ da amostra 6 aumentou, contudo essa variabilidade tende a ser um problema que será discutido na próxima sessão.

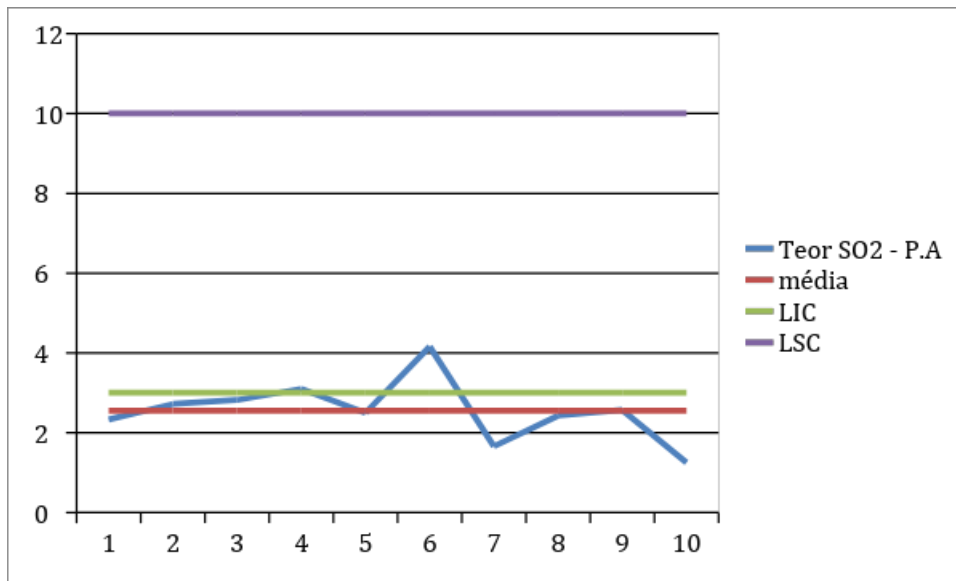
Figura 4: Cartas de controle de maturação



Fonte: Elaborado pelos autores

Os dados dos níveis de SO₂ do produto acabado referente às amostras encontram-se na Figura 5. Comparando aos processos anteriores, a média, apesar de baixa, aproximou-se do limite inferior de controle. No entanto, houve uma redução das amostras que encontram-se em conformidade. Este aumento torna-se evidente ao aprofundar ainda mais a amostra, realizando uma estratificação dos dados observando o que acontece em cada amostra, nos 3 processos.

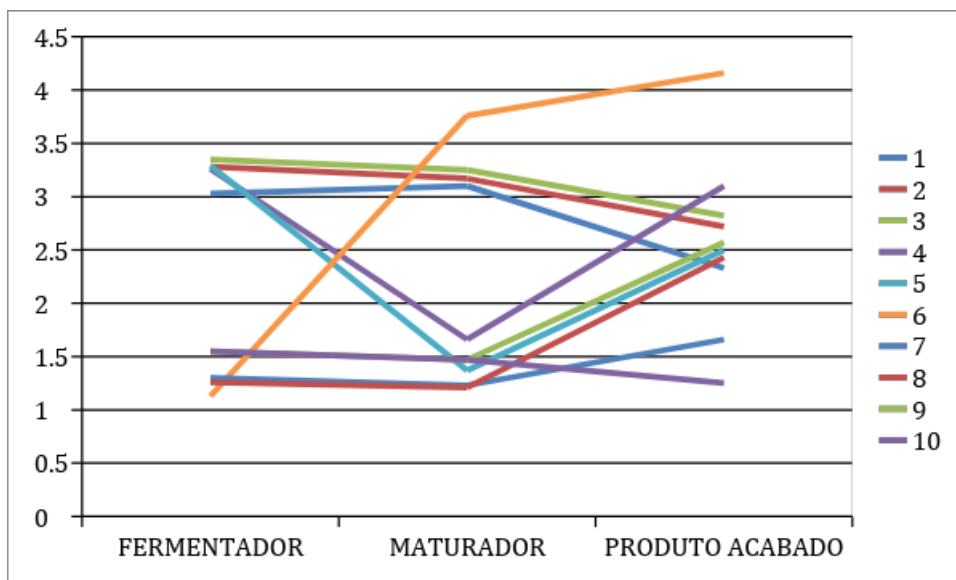
Figura 5: Cartas de controle do produto acabado



Fonte: Elaborado pelos autores

A estratificação realizada é demonstrada na Figura 5. Logo, além das amostras não estarem dentro do padrão especificado, existe uma anomalia no processo, pois o teor de SO₂ que deveria diminuir no decorrer das etapas, está aumentado na maior parte delas.

Figura 6: Variabilidade do teor de SO₂ por amostras



Fonte: Elaborado pelos autores

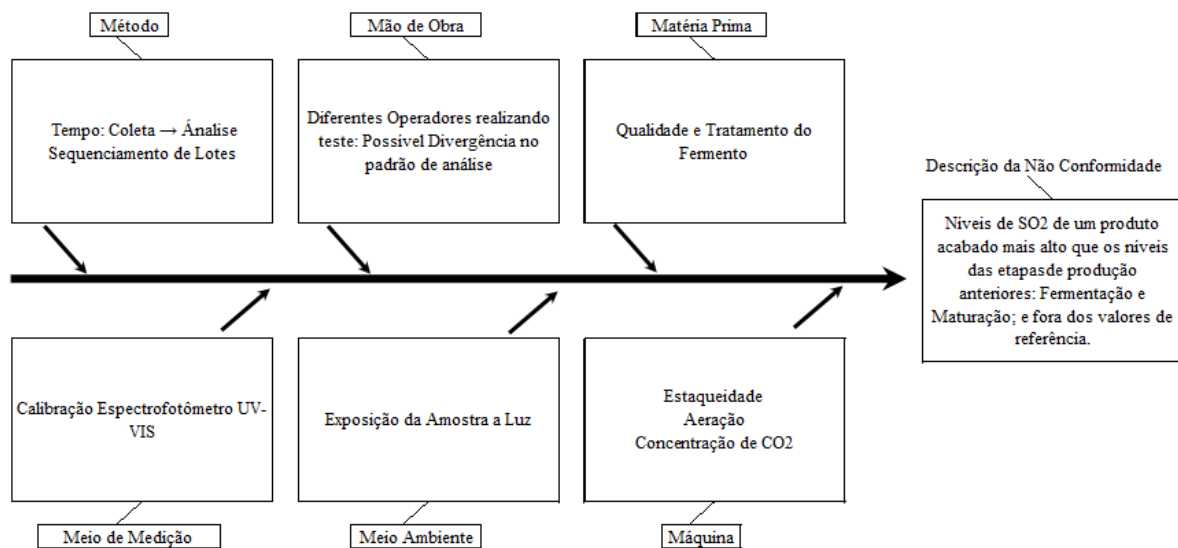
As amostras 2 e 3 foram as únicas que seguiram a escala correta de diminuição do teor de SO₂ ao longo do processo, apesar de não obedecer o LIC no produto acabado. A amostra 1 teve um leve aumento do teor na mudança de processo do fermentador para maturador. A

amostra 6 é a que mais evidencia a existência de uma anomalia no processo, pois tem uma curva crescente do teor de dióxido, apesar de ser a amostra que mais se aproximou do limite superior de controle. Observa-se que 100% das amostras analisadas estão fora das especificações, tornando evidente a necessidade de ações de melhoria do processo.

4.3.4 Melhorar

Analisando os fatores que impactam e envolvem o processo, foi elaborado um diagrama de Ishikawa para ajudar a levantar as causas-raízes do problema que fundamente o plano de ação, como apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Diagrama de causa e efeito desenvolvido no estudo



Fonte: Elaborado pelos autores

Com relação ao método utilizado, deverá ser feito um acompanhamento do horário da coleta versus horário da análise, pois essa divergência pode interferir nos resultados, e por isso o padrão assume que a análise deve ser feita imediatamente após a coleta, entretanto não há histórico na empresa que o operador estar seguindo a risca essa recomendação. Referindo-se a mão de obra, existe a possibilidade de haver divergência na forma como cada operador faz a coleta e análise do teor de SO₂, portanto é necessário um verificação em campo, para criticar a análise do operador conforme o padrão. Outrora, em foco na matéria prima, deve se

catalogar em uma planilha os resultados de SO₂ de cada lote com a qualidade e tratamento do fermento.

Deve ser feito uma revisão e uma verificação no plano de calibração da máquina utilizada para mensurar o teor de SO₂ das amostras, para assim garantir segurança nos resultados. Com relação ao ambiente, é proposto testes com o uso de ferramenta que não exponha a amostra a luz, como a utilização de uma bolsa/caixa térmica. E por fim, deve-se garantir a eficiência do maquinário, controlando e correlacionando os resultados de estanqueidade, aeração e concentração de CO₂.

As ações propostas, mediante a análise do diagrama de causa e efeito, encontram-se sintetizadas no Quadro 5, que foi estruturado fazendo uso da ferramenta 5W1H.

Quadro 5: 5W1H proposto no estudo

Objetivo	Reduzir as anomalias no nível de dióxido de enxofre em um processo químico de fermentação				
5W					1H
What?	Why?	Where?	Who?	When?	How?
O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?
Implementar a folha de verificação	Construir um histórico de monitoramento	Departamento de Qualidade	Estagiário da área Qualidade	Início em 21/05/2018	Treinar a operação na utilização e controle da folha
Aferir o horário: Coleta versus Análise	Garantir que as análises sejam feitas exatamente após a coleta	Tanques de Fermentação e Maturação; Laboratório de Análises	Supervisora do departamento de Qualidade		Supervisora deverá acompanhar o operador na análise
Verificação do procedimento de coleta e análise realizado	Assegurar que não há divergência na forma de realizar o procedimento entre os operadores				
Revisão no plano de calibração do Medidor de SO ₂ (Espectrofotômetro UV-VIS)	Atestar a confiabilidade dos resultados	Laboratório de Análises			Analisar as folhas de calibração
Rastrear os indicadores de Qualidade do Fermento utilizado	Construir um histórico de correlação entre a qualidade da matéria prima e os níveis de SO ₂	Laboratório de Análises, com utilização do sistema MES	Técnica Química do Departamento de Qualidade		Técnica deverá rastrear esses valores no Sistema MES
Utilização de caixa térmica no momento de transporte da amostra para laboratório	Para que não haja exposição da amostra a luz	Na empresa	Técnica Química do Departamento de Qualidade		Técnica deverá armazenar as amostras em uma caixa térmica durante o transporte

Fonte: Elaborado pelos autores

Como expresso no Quadro, uma das ferramentas propostas foi o desenvolvimento de uma folha de verificação (Figura 8) para correlacionar os resultados das variáveis impactantes, que já foram mencionadas no trabalho, com a curva de SO₂ no processo. A folha contém dois

Buscar através de dados históricos o momento em que começou a haver um distanciamento das medidas do teor, para o valor de referência.

5. Considerações finais

Este artigo analisou as principais causas de uma anomalia no nível de (SO₂) em um processo químico de fermentação em uma indústria cervejeira. Os resultados confirmaram a anomalia no processo mostrando que o nível de (SO₂) está abaixo do estabelecido pelo padrão da empresa. Diante disso, foram analisadas as possíveis causas raízes que consistiam em: relação entre horário da coleta dos dados versus horário da análise, divergência na forma como cada operador faz a coleta e análise do teor de SO₂, calibração da máquina, exposição à luz e eficiência do maquinário.

Após a análise das causas raízes foram propostas ações de melhorias como: a implementação de uma folha de verificação; garantir que a análise seja realizada logo após a coleta dos dados; verificar o procedimento de coleta e análise realizado; revisar o plano de calibração do medidor de SO₂ para atestar a confiabilidade dos resultados; rastrear os indicadores de qualidade do fermento utilizado; utilizar de caixa térmica no momento de transporte da amostra para laboratório para que não haja exposição da amostra à luz.

A pesquisa apresentou limitações quanto o acesso aos dados, devido a dificuldade em criar o ambiente propício para rastrear o produto no processo, só foi possível utilizar 10 amostras. Contudo, entre as ações proposta inclui-se uma lista de verificação com um maior número de variáveis a serem analisadas, e uma vez que sejam coletados uma maior quantidade de dados será possível desenvolver análises mais detalhadas com técnicas estatísticas mais sofisticadas, como, por exemplo, a regressão multivariada. Esta análise permite, em projetos futuros, avaliar a correlação entre as variáveis e assim detectar as reais causas do problema detectado neste estudo.

REFERÊNCIAS

BAMFORTH, C. W. Current perspectives on the role of enzymes in brewing. **Journal of Cereal Science**, v.50, n.1, pp. 353–357, 2009.

- BAMFORTH, C. W. Progress in Brewing Science and Beer Production. **Annu Rev Chem Biomol Eng**, v. 7, n.8, pp. 161-176, 2017.
- BARTH-HAAS GROUP. **The Barth Reports (2000--2016)**. Disponível em: <<http://www.barthhaasgroup.com/en/news-and-reports/the-barthreport-hops>>. Acesso em: mai. 2018.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: Conceitos e técnicas**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- CARVALHO, M.M. de.; ROTONDARO, R. G. **Modelo Seis Sigma**. In: CARVALHO, M. M. de.; PALADINI, E. P. (COORD). **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A. Adoção do estudo de caso na engenharia de produção. In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. (Org.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, p. 129 -143.
- CERVBRASIL. **Dados do setor**. Disponível em: <<http://www.cervbrasil.org.br/paginas/index.php?page=dados-do-setor>>. Acesso em: Mai. 2018.
- CHEN, Y; YANG, X.; ZHANG, S.; WANG, X.; GUO, C.; GUO, X.; XIAO, D. Development of *Saccharomyces cerevisiae* Producing Higher Levels of Sulfur Dioxide and Glutathione to Improve Beer Flavor Stability. **Appl Biochem Biotechnol**, v.1, n. 166, p. 402-413, 2012.
- KYSELOVÁ, L.; BRANYIK, T. Quality improvement and fermentation control in beer. **Advances in Fermented Foods and Beverages**, v. 1, n.1, pp. 477-500. 2015.
- LIMBERGER, S. C.; TULLA, A. A emergência de microcervejarias diante da oligopolização do setor cervejeiro (Brasil e Espanha). **FINISTERRA**. v. 52, n. 105, 2017.
- MARIANI, C. A. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. **Revista de administração e inovação**. v. 2, n. 2, p. 110-126, 2005.
- REGO, S.; SYED, W.; PRATES, G. Aplicação do DMAIC para solução de latas amassadas em processos de fábrica de leite em pó. **Brazilian Journal of BioSystems Engineering**, v. 9, n. 2, pp. 171-181, 2015.
- ROTONDARO, G. R.; CARVALHO, M. M. de C. **Qualidade em Serviços**. In: CARVALHO, M. M. de.; PALADINI, E. P. (COORD). **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.
- SAERENS, S. M. G.; DUONG, C. T.; NEVOIGT, E. Genetic improvement of brewer's yeast: current state, perspectives and limits. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 86, n. 1, 1195–1212. 2010.
- SANTOS, G, T. dos.; SCHUSTER, M. M.; PRADELLA, S. Gestão da qualidade versus gestão por processos: metodologias unidas para dar maior competitividade à indústria. **Revista do secretariado executivo**, v.1, n. 9, p. 51-64, 2013.
- SILVA, L. S. da S. **Nível de serviço logístico: estudo de caso em uma empresa de bebidas da Paraíba**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP. Rio de Janeiro, 2008.
- WERKEMA, M.C.C. **Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing**. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.