



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena - EEL

MATHEUS BRUSANTIN OLIVA

**Implementação de um plano de melhoria do processo produtivo de cervejas
empregando ferramentas de qualidade visando melhoria da qualidade do
produto.**

Lorena
2020

MATHEUS BRUSANTIN OLIVA

Implementação de um plano de melhoria do processo produtivo de cervejas empregando ferramentas de qualidade visando melhoria da qualidade do produto.

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de engenheiro químico.

Orientador: Prof. Dr. Geronimo Virginio Tagliaferro.

Lorena
2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Brusantin Oliva, Matheus

Implementação de um plano de melhoria do processo produtivo de cervejas empregando ferramentas de qualidade visando melhoria da qualidade do produto.

/ Matheus Brusantin Oliva; orientador Geronimo Tagliaferro. - Lorena, 2021.

63 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Industrial Química - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2021

1. Ferramentas. 2. Qualidade. 3. Cerveja. 4. Industria. I. Título. II. Tagliaferro, Geronimo , orient.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de estudar em uma boa universidade, ter pessoas especiais ao meu lado durante esta trajetória da minha vida e força nos momentos mais difíceis pelos quais passei. Sou grato por todo apoio da minha família desde sempre para alcançar meus sonhos e objetivos na vida e também pelo carinho e compreensão, nos momentos de dificuldade ao longo da faculdade e da minha trajetória.

Sou abençoado pelas pessoas que estiveram sempre comigo ao longo do curso, grandes amigos que fiz ao longo dessa etapa e que me ajudaram nos momentos difíceis, além de compartilhar grandes histórias que sempre levarei comigo. Sinto felicidade pela equipe da empresa onde trabalho, a qual foi totalmente aberta e esteve disposta todo o tempo para me ajudar na realização deste projeto de conclusão.

Ofereço uma grande saudação pelo meu orientador Gerônimo Tagliaferro, por toda atenção dada e ajuda para que esse trabalho se tornasse possível. Em fim, agradeço à Escola de Engenharia de Lorena e todos os professores, pela estrutura, atenção, acolhimento e conhecimento para me graduar como engenheiro químico.

RESUMO

DE OLIVA, MATHEUS. CRIAÇÃO DE UM PLANO DE MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO DE CERVEJAS A PARTIR DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE VISANDO A OTIMIZAÇÃO DA TÉCNICA E REDUÇÃO DOS CUSTOS PRODUTIVOS. 2020. P 63 Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo – Lorena, 2020.

A cerveja é uma bebida com ampla popularidade no Brasil e no mundo. As receitas nacionais vêm ganhando cada vez mais destaque no mercado internacional graças a diversas cervejarias que tem feito um produto de excelência. Os métodos de produção dos diversos tipos de cerveja são parecidos, portanto é razoável entender que os problemas e dificuldades de produção também são parecidos, reduzindo o rendimento do processo em geral, transformando a qualidade do produto final. Diante do contexto apresentado, esta monografia teve o objetivo de apresentar como foi feita a aplicação de ferramentas da qualidade como: Análise de modo e efeitos de falha potencial aplicado para projetos e processos, Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Pareto e Fluxograma de Processo, no sistema de produção de cervejas, para identificar os principais e mais críticos problemas no processo. O foco do trabalho foi criar um plano de melhoria e correção dos problemas do fluxograma, aumentando a produção com utilização de menor quantidade de matéria-prima, reduzindo assim o desperdício e melhorando a produtividade. Outro ponto de melhora foi o estudo em torno do controle de temperatura na sala de brassagem no momento da mostura, na atuação de enzimas beta amilase e alpha amilase e o controle de oxigênio no momento do envase. Os principais resultados foram: O controle da temperatura na sala de brassagem e fermentação para que os processos ocorram dentro dos padrões térmicos, outro resultado importante foi a reorganização e disposição do maquinário, além de uma revisão rigorosa dos sensores e medidores dos equipamentos. A quantidade e frequência de erros diminuiu em média 50% com a implementação das mudanças.

Palavras Chave: Produção de Cerveja, PDCA, Ferramentas de qualidade, plano de melhoria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja.....	21
Figura 2 - Ciclo de DEMING ou Ciclo PDCA.....	29
Figura 3 - Diagrama de Pareto.....	31
Figura 4 - Processo de produção da cerveja tipo Lager e Ale.....	34
Figura 5 - Símbolos definidos para diagramas de processo.....	35
Figura 6 - Exemplo de estrutura SIPOC para xícara de chá.....	36
Figura 7 - fluxograma do processo de seleção de materiais plásticos.....	37
Figura 8 - Abordagem do FMEA.....	40
Figura 9 - O Fluxograma do Processo de Produção da cerveja.....	44
Figura 10 - Principais problemas na produção de Cerveja.....	46
Figura 11 - Diagrama de Ishikawa para a falha 'Problemas na sala de brassagem	49
Figura 12 - Diagrama de Ishikawa da fermentação.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do lúpulo em flor.....	26
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações Físico-Químicas da água.....	23
Quadro 2 - Composição do grão de cevada e do Malte de cevada.....	24
Quadro 3 - Análise dos modos de falhas e seus efeitos FMEA de processo.....	41
Quadro 4 - Tabela de Falhas.....	45
Quadro 5 - Causas do problema de Brassagem 6M.....	50
Quadro 6 - Causas para o problema de controle da fermentação.....	51
Quadro 7 - Classificação de Índice de Ocorrência.....	53
Quadro 8 - Classificação de Índice de Severidade.....	54
Quadro 9 - Classificação de Índice de Detecção.....	55
Quadro 10 - Análise do FMEA para temperatura.....	56
Quadro 11 - Análise do FMEA para matéria-prima.....	56
Quadro 12 - Análise do FMEA para Maquinário.....	57
Quadro 13 - Plano de Ação para Melhoria na Produção de Cerveja.....	59

Lista de abreviaturas e siglas

FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise de falhas e efeitos)

PFMEA - *Process of Failure Mode and Effects Analysis* (Análise de Modo e Efeitos de Falha)

DFMEA - *Design Failure Mode and Effect Analysis* (Análise dos Efeitos e Modos de Falha para o Projeto)

PPM – Partes por milhão

PDCA - *Plan, Do, Check, Action* (planejar, fazer, checar, agir)

6M – Método, Máquina, Meio Ambiente, Matéria-Prima, Medição, Mão de Obra

NPR - Número de Prioridade de Risco

SIPOC - *Supplier, Input, Process, Outputs e Customer*

IBU - *Internacional Bitterness Unit*

Sumário

AGRADECIMENTOS	5
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 OBJETIVO GERAL	15
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 CERVEJA.....	17
2.1.1 HISTÓRICO DA PRODUÇÃO DAS CERVEJAS.....	17
2.1.2 Metodologia de fabricação da cerveja.....	18
2.1.3 ÁGUA	21
2.1.4 MALTE	22
2.1.5 LÚPULO.....	24
2.1.6 ADJUNTOS.....	25
2.1.7 LEVEDURA.....	26
2.2 TÉCNICAS DE QUALIDADE	26
2.2.1 DIAGRAMA DE PARETO.....	28
2.2.2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA (ESPINHA DE PEIXE)	30
2.2.3 FLUXOGRAMA	32
2.2.4 TIPOS DE FLUXOGRAMA.....	33
2.2.5 FMEA	36
2.2.6 FMEA DE PROJETO	38
3. METODOLOGIA.....	41
4. Resultados e Discussões	42
5. Conclusão	59

REFERÊNCIAS.....	60
------------------	----

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A cerveja chegou ao Brasil junto com a família real portuguesa em 1808 junto com as colônias europeias, a melhor definição da época para o produto era como sendo a bebida proveniente da fermentação alcoólica do mosto. A cerveja começou a ser comercializada no país antes dos primeiros registros, mas as primeiras propagandas de cerveja começaram a surgir por volta de 1836, No início as cervejarias eram pouco industrializadas, estas começaram a surgir por volta de 1860 e se desenvolveram durante os anos seguintes e o período da primeira guerra mundial. Durante este período era difícil encontrar matéria-prima de alta qualidade e pureza como era encontrado em outros países europeus (SANTOS, 2003).

Boa parte das cervejas era feita com trigo, arroz e milho, fontes de carboidrato que são abundantes no nosso país. Os sistemas de fermentação eram muito precários e evoluíram muito durante os anos seguintes. As primeiras cervejarias industrializadas, surgiram em Porto Alegre na época de 1870, com os avanços tecnológicos a fabricação da cerveja ganhou um controle de temperatura mais rígidas graças as produtoras de gelo de São Paulo e do Rio de Janeiro, neste período começa a história da atual AB InBev uma empresa que é referência e uma das líderes mundiais do comércio de cervejas e número de marcas. Em 1870 as empresas Companhia Cervejaria Brahma e a Antartica Paulista começam a se destacar no mercado pela qualidade e ritmo de produção (SANTOS, 2003).

Em 2019, o Brasil chegou a 1.209 cervejarias registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), distribuídas por 26 unidades da federação, um crescimento de 36% em relação a 2018. Em 2020, 320 novas fábricas abriram no país, o que significa quase uma nova cervejaria por dia.

Os dados estão no Anuário da Cerveja 2019, publicados pelo Mapa. A publicação traz estatísticas e dados do setor cervejeiro no Brasil. A maioria das cervejarias está localizada nos estados do Sul e do Sudeste: 80% ficam nessas regiões. São Paulo tem o maior número de estabelecimentos (241), seguido pelo Rio

Grande do Sul (236) e por Minas Gerais (163). No Espírito Santo, o total de cervejarias dobrou entre 2018 e 2019, passando de 17 para 34. (MAPA,2019)

Diante do levantamento histórico é possível entender que os problemas na fabricação industrial da cerveja são compartilhados com os produtores artesanais. São problemas como: o controle da temperatura da sala de brassagem na mostura, onde ocorre a transformação do amido em açúcar, Controle das enzimas alpha e beta amilase além do controle de oxigênio no momento do envase.

Os pontos citados podem ser a diferença entre uma produção de cerveja em larga escala com alto rendimento e pouco resíduo, e de uma produção em que não consegue se aproveitar todo produto por contaminação microbológica, baixo controle de fermentação por temperatura e aglomerado de proteínas, perdendo tanto uma parte do produzido como matérias primas.

Visto isso, uma forma de identificar esses pontos críticos e assim melhorá-los de maneira significativa é utilizando ferramentas de qualidade para analisar todo um processo de produção, sendo que com essas ferramentas será mais fácil descobrir causas e efeitos de situações e operações que reduzam a eficácia final do processo, diminuindo os ganhos da empresa.

1.2 JUSTIFICATIVA

A partir da oportunidade de analisar e entender o processo de produção de cervejas em uma empresa do centro-oeste paulista, a qual pediu para não ser identificada, observou-se que ao finalizar a produção de uma batelada de cerveja havia uma quantidade de matéria-prima que era desperdiçada, tanto por não reagir completamente, quanto contaminação microbológica, controle de fermentação por temperatura descontrolado e aglomerado de proteínas por fermentação incompleta, fatores que impediam o aproveitamento de toda a matéria-prima introduzida e, a longo prazo, esse problema causava desperdícios que impactavam os resultados financeiros.

O fundamento do trabalho foi mapear os principais problemas, falhas e princípios químicos, de uma cervejaria buscando o estudo detalhado das respostas e

testes correspondentes. Com oportunidade de melhorias nas etapas de fermentação, homogeneização e dispositivos que eram utilizados e dificultavam a síntese da cerveja.

Dando continuidade, surgiu a ideia de realizar um brainstorming com os funcionários da empresa relacionados com a produção de cervejas na fábrica para uma análise mais minuciosa do processo, assim, foi possível a aplicação de ferramentas de qualidade para desenvolver as falhas e problemas mais recorrentes e complexos com a produção, suas causas, seus efeitos, assim como mostrar quais ações deverão ser tomadas e priorizadas quando definidas, logo foi possível aumentar a eficácia da produção e evitar perdas de reagentes e outras matérias primas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa foi identificar os problemas de homogeneização e desperdício da produção de cerveja através da avaliação da matéria-prima e suas especificações. Empregando ferramentas da qualidade.

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar o fluxograma de todo o processo de fabricação da cerveja desde a matéria-prima até o produto final.
- Analisar os problemas, falhas e pontos de desenvolvimento do processo completo de produção avaliado usando o mapeamento de processo.
- Aplicar as ferramentas de qualidade como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto e Fluxograma que

determinaram as possíveis falhas e foi proposto uma melhoria no processo de produção de cerveja.

- Arquetar o plano de ação para observar os comportamentos e fenômenos em torno da variação de temperatura na sala de brassagem no momento da mostura e das enzimas alpha amilase e beta amilase.
- Criar o relatório com as informações coletadas e foram aplicados os índices de melhora em cada ponto de análise, concluindo a utilidade das ferramentas de qualidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CERVEJA

2.1.1 HISTÓRICO DA PRODUÇÃO DAS CERVEJAS

Ao Longo da História e das pesquisas em torno dela, acredita-se que o preparo da cerveja já era de conhecimento do povo da Mesopotâmia seis mil anos antes de Cristo, além disso existem diversos registros de métodos de fabricação de bebidas muito similares ou com a mesma receita de produção da cerveja. Por exemplo, as matérias primas da cerveja são muito similares aos cereais e leveduras do processo de obtenção do pão, sendo assim nas regiões como Egito era comum que se encontrasse uma mistura fermentada com técnica de fabricação próxima da cerveja, esta mistura é conhecida como Bouza, é uma cerveja mais rústica por assim definir (MARTINS, 1991; CEREDA, 1983).

Chegando ao período da Idade Média ainda se utilizava diversos tipos de cereais para a elaboração da cerveja, começa a introdução do lúpulo que trouxe avanços para o caminho da industrialização, sendo assim surge a chamada "lei mais antiga do mundo" sobre manipulação de alimentos elaborada em 1516 pelo Duque Guilherme IV da região da Bavária, que representa a Alemanha atualmente. A lei ficou conhecida como "Reinheitsgebot" esta lei padroniza a produção da cerveja como sendo derivada da matéria-prima: cevada, lúpulo e água (TSCHOPE, 2001).

Mais próximo da atualidade, nos últimos 150 anos os conhecimentos nas áreas de microbiologia e bioquímica permitiram um controle muito mais rigoroso dos métodos de fabricação de cerveja. Os novos equipamentos e máquinas da atualidade são projetados para otimizar, e reduzir custos e consumos do processo da cerveja de maneira geral é possível gerar mostos com alta concentração de açúcares, técnicas de fermentação contínua, controle de temperatura, pH, número de células simultaneamente ao processo de fabricação (HARDWICK, 1994).

Os principais pilares que geraram o desenvolvimento do segmento cervejeiro e das técnicas dentro das indústrias foram a busca pela redução de custos do processo,

a manutenção das características sensoriais e aromáticas, o sistema de vendas do produto e a melhoria na qualidade geral. Esta série de fatos sobre a história da cerveja cria uma quantidade enorme de composições e proporção de mistura de matérias primas (BAMFORTH, 2000).

2.1.2 Metodologia de fabricação da cerveja

A partir da lei Instituída por Guilherme IV, ocorreu uma padronização dos ingredientes Água, Malte e Lúpulo para a produção da cerveja. Estas são as principais matérias primas consagradas até hoje. Sendo assim, é possível dividir as etapas da produção como sendo: Mostura, Filtragem, Fervura, Fermentação, Maturação e Envase. Sendo os processos de Mostura, filtragem e fervura unidos pelo termo "Brassagem". Ao longo das etapas existem condições específicas de tempo e temperatura, além de equipamentos especiais para a função desempenhada.

A Figura 1 mostra uma linha tradicional de produção de cerveja. O processo de síntese do mosto ou simplesmente moagem, consiste na limpeza dos grãos de malte e no processo de moer o grão até atingir uma espessura que solubilize em água. Sendo o maior objetivo desta fase extrair a maior quantidade possível de açúcares. O malte que foi selecionado e moído seguindo os padrões de qualidade é cozido originando um composto repleto de açúcares que são usados pelos microrganismos que naturalmente realizam a fermentação. O Controle da temperatura e pH é vital para este momento do processo, estes fatores farão com que as enzimas alfa e beta amilases presentes no malte executem a transformação e redução de fibras em maltose e dextrinas (TSCHOPE, E.C. 2001).

A filtragem é importante para transformar a mistura de bagaço de cevada e água açucarada em duas partes homogêneas a parte líquida é a que interessa para o resto do processo, logo, é interessante um sistema de recirculação da parte sólida para melhorar o aproveitamento da operação, com peneiras e filtros calibrados e sem defeitos. (HUGHES, 2014)

Em seguida, tem-se a etapa da fervura que é importante para a esterilização do líquido, a etapa acontece através do superaquecimento do líquido que dura em torno de uma hora e meia, por consequência, parte da água da mistura acaba

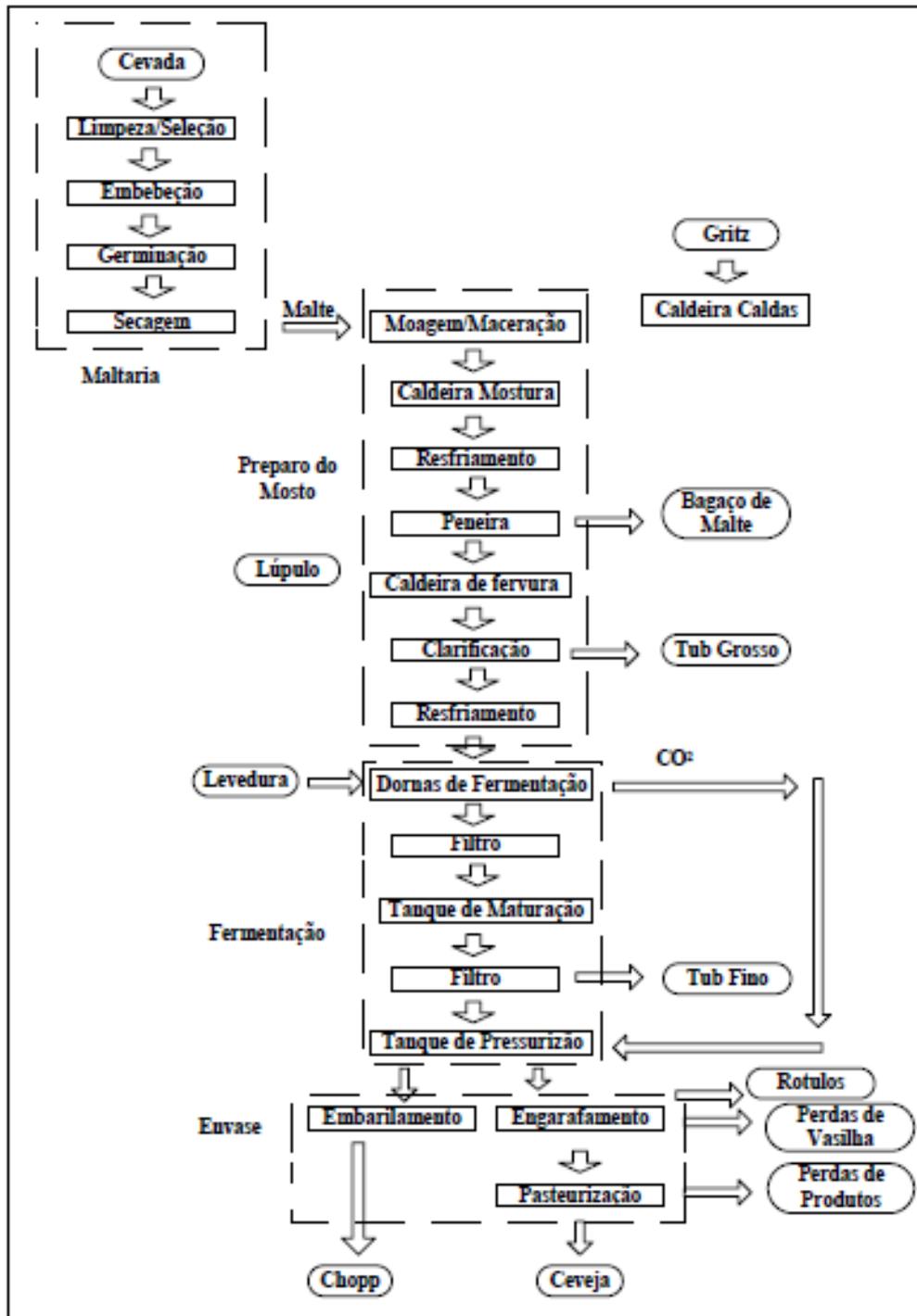
evaporando, concentrando o líquido repleto de açúcares. No momento em que se obtém a fonte perfeita de alimentos para os microrganismos é o momento da Fermentação.

A etapa da fermentação consiste na adição do lúpulo, responsável pelo amargor e aroma da cerveja, contudo, este momento é o mais delicado da fabricação pois as leveduras são organismos vivos sensíveis a temperatura e impurezas. Além disso a reação que transforma açúcar em álcool e dióxido de carbono libera calor, que deve ser controlado dentro do tanque. O processo fermentativo pode ser classificado em dois grupos: alta e baixa fermentação, para cervejas do tipo ALE, utiliza-se o micro-organismo da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, com temperatura de fermentação em torno de 18°C. Para cervejas do tipo LAGER utiliza-se os micro-organismos *Saccharomyces uvarum*, com temperaturas próximas de 12°C (MORADO, R. 2011).

Após a etapa a fermentação, inicia-se a etapa de maturação, a mistura repousa e as substâncias químicas se estabilizam, o fermento e o mosto são separados, o aroma e sabor da cerveja ficam mais intensos.

A última etapa, etapa de envase, é o momento em que deve existir um cuidado especial com a higiene e esterilização dos equipamentos envolvidos pois pode comprometer todo o procedimento. A esterilização das latas e frascos de vidro ocorrem através da passagem de fluido muito quente e muito frio para matar os microrganismos. O envase a nível industrial normalmente é feito de forma mecânica que é mais segura, a fim de manter o gás carbônico e manter os níveis de álcool a cerveja recebe uma mistura ácida com glicose que se chama "*primming*", os microrganismos presentes na cerveja vão utilizar esta mistura para manter os níveis ideais. (HUGHES, 2014).

Figura 1 - Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja.



Fonte: Cervejas e Refrigerantes (CETESB, 2005).

2.1.3 ÁGUA

A água é a principal matéria-prima em peso da cerveja, representando entre 95% e 90%, sendo assim as empresas normalmente utilizam em torno de 4 a 6 litros de água para produzir um litro de cerveja considerando Fabricação, Fermentação, Filtração e Higienização. O grande volume empregado faz com que a disponibilidade e qualidade da água seja muito relevante.

Existem diversas análises em torno da água utilizada na produção, algumas delas são a temperatura, pH, turbidez e íons dissolvidos.

Cada teste representa uma característica da água que pode representar uma cerveja boa ou ruim, por exemplo a concentração de cloreto de cálcio pode mudar o metabolismo da levedura, o cálcio deve ficar entre 50ppm e 150ppm, além de potencialmente mudar o gosto da cerveja, sensação de corpo, dulçor do malte e paladar (GOLDAMMER, 1990).

No caso do pH, este pode alterar a extração de alfa-ácidos dos lúpulos e a extração de taninos do malte, que são indesejados na cerveja. As amilases responsáveis pela conversão de glicose em álcool e gás carbônico, tem uma faixa curta de ótimo aproveitamento que está entre 5,2 e 5,5 Isso faz com que o controle do pH da água defina um processo de grande rendimento de um de baixo rendimento. O pH 5,5 também é ideal para a extração e transformação do lúpulo durante o cozimento, precipitação da proteína e clarificação do mosto. O pH ideal em cada etapa é entre 5,2 e 5,6 na brassagem simples, entre 4 e 6 durante a Lavagem e aproximadamente 5,1 a 5,3 durante a fervura.

Os íons Cálcio e Magnésio tem larga capacidade de alterar o pH e causar problemas no desenvolvimento do processo. Vista a importância dos íons temos os valores em ppm como sendo ideais: (50-150ppm) para o Cálcio (100-400ppm) para o Sulfato (0-100) para o Cloreto. Ainda devendo ser analisada a alcalinidade normal e residual que devem estar entre (40-120ppm) e (-30 a 30ppm) respectivamente. O Quadro 1 mostra as especificações ideais da água para produção de cerveja (GOLDAMMER, 1990).

Quadro 1 - Especificações Físico-Químicas da água

Parâmetro	Unidade	Especificações
Aparência	-	Límpida
Sabor	-	Clara
Odor	-	Insípida
pH	pH	Inodora
Cor	(mg Pt/L)	6,5 – 8,0
Turbidez	NTU	0 – 5
Matéria orgânica	(mg O ₂ cons./L)	Menor que 0,4
Sólidos dissolvidos totais	(mg/L)	50 – 150
Dureza total	(mg CaCO ₃ /L)	18,0 – 79,0
Dureza temporária	(mg CaCO ₃ /L)	18,0 – 25,0
Dureza permanente	(mg CaCO ₃ /L)	0 – 54,0
Alcalinidade	(mg CaCO ₃ /L)	0,8 – 25,0
Sulfatos	(mg SO ₄ /L)	1 – 30
Cloretos	(mg CL/L)	1 – 20
Nitratos	(mg NO ₃ /L)	Ausência
Nitritos	(mg NO ₂ /L)	Ausência
Sílica	(mg SiO ₂ /L)	1 – 15
Cálcio	(mg Ca ²⁺ /L)	5 – 22,0
Magnésio	(mg Mg ²⁺ /L)	1 – 6
Ferro	(mg Fe/L)	Ausência
Alumínio	(mg AL/L)	Máx. 0,05
Amoníaco	(mg N/L)	Ausência
CO ₂ livre	(mg CO ₂ /L)	0,5 - 5

Fonte: GOLDAMMER, 1990.

2.1.4 MALTE

O Malte é um dos principais componentes da cerveja e definitivo para separar uma cerveja de alta e baixa qualidade. O Malte é definido como o produto derivado da germinação controlada de um cereal, no caso o mais utilizado para a fabricação de cerveja, a cevada do gênero *Hordeum Vulgare*.

A cevada pode apresentar tamanhos e concentrações de amido maiores ou menores. No caso do Brasil a cevada utilizada é a que contém 2 fileiras, que contém amido mais concentrado e menor quantidade de casca que contém substâncias fenólicas e amargas (MORADO, R. 2011).

A Cevada contém camadas celulósicas, sendo a primeira delas definida como "palha" que é eliminada durante o beneficiamento, as outras camadas aderentes ao grão são utilizadas ao longo do processo de produção da cerveja.

O caminho de chegada da cevada ao processo é basicamente dividido entre a colheita, onde os grãos são armazenados em silos, em condições controladas de temperatura e umidade e principalmente higiene, desta etapa os grãos limpos vão sofrer o processo de Malteação que é basicamente dividido em: Maceração, fase de umidificação da cevada, que possibilita a germinação. A Germinação é a fase que possibilita a formação de enzimas e modifica a estrutura do amido. Na próxima etapa, ocorre o processo de secagem, ou seja, o grão atinge o desenvolvimento desejado, acontece a interrupção da germinação. A etapa final é a Crivagem, que é um momento de separação dos pequenos caules e raízes que compõe a mistura sólida. A temperatura de tratamento e qualidade da semente interfere diretamente no gosto, sabor e cor da cerveja. (AQUARONE et al 2001)

O Quadro 2 apresenta valores importantes quanto à composição média do grão de cevada em comparação ao malte. (CEREDA, 1983).

Quadro 2 – Composição do grão de cevada e do Malte de cevada

Características	Grão de Cevada	Malte de Cevada
Massa do Grão (mg)	32 a 36	29 a 33
Umidade (%)	10 a 14	4 a 6
Amido (%)	55 a 60	50 a 55
Açúcares (%)	0,5 a 1,0	8 a 10
Nitrogênio Total (%)	1,8 a 2,3	1,8 a 2,3
Nitrogênio Solúvel (% de N total)	10 a 12	35 a 50
Poder Diastásico, °% L*	50 a 60	100 a 250
Enzima α -amilase, 20° unidades**	traços	30 a 60
Atividade Proteolítica	traços	15 a 30

* Lintner (índice de atividade das amilases), ** em unidades de dextrinas produzidas

Fonte: CEREDA, 1983.

2.1.5 LÚPULO

O nome científico do lúpulo é *Humulus lupulus linnaeus*, e pertence à família *Cannabaceae* sendo as principais espécies cultivadas para fins comerciais são o *H. lupulus* e o *H. japonicus*, as flores do lúpulo são dioicas, ou seja, podem ser macho ou fêmea sendo as fêmeas não fertilizadas as mais utilizadas na indústria cervejeira.

A Alemanha e os Estados Unidos correspondem a 80% da produção mundial de lúpulo, sendo assim mantem um alto padrão de qualidade para exportação. O Brasil ainda não é um grande produtor do cereal, mas é um grande mercado consumidor o que dá margem para negócios no ramo, para se ter ideia o Brasil em 2015 foi o terceiro maior importador de lúpulo do mundo com um gasto aproximado de 200 milhões de reais. (FERGUS; GRAHAM, 2006)

O principal aspecto de análise e interesse nas flores fêmeas são as glândulas de lupina, a lupina é um composto formado por polifenóis, resinas e óleos essenciais que são garantia do aroma para a cerveja, formar complexos com proteínas e reduzir riscos microbiológicos. Assim, é substancial destacar que as cervejas são divididas de acordo com a fermentação. Explorando a parte de sabor concedida a cerveja pelo lúpulo, temos uma unidade específica para o amargor chamada IBU (*International Bitterness Unit*).

O lúpulo pode ser apresentado de três formas comuns flores desidratadas, pallets e extratos e tem sua composição especificada na Tabela 1, que mostra a composição química do lúpulo como flor. A partir dos estudos dos tipos de Lúpulo utilizados nas cervejarias é possível identificar lúpulos com altos índices de amargor (alfa-ácidos) que estão entre 10% e 15% contem: *humulona*, *cohumulona* e *adhumulona*. (MEGA; NEVES; ANDRADE, 2011).

Por conseguinte, os óleos essenciais proporcionam aromas por conta dos 300 componentes complexos responsáveis por diversos sabores e notas.

Tabela 1 - Composição química do lúpulo em flor.

Características	Porcentagem (%)
Resinas Amargas Totais	12 - 22
Proteínas	13 - 18
Celulose	10 - 17
Polifenóis	4 - 14
Umidade	10 - 12
Sais minerais	7 - 10
Açúcares	2 - 4
Lípidios	2,5 - 3,0
Óleos essenciais	0,5 - 2,0
Aminoácidos	0,1 - 0,2

Fonte: TSCHOPE, 2001

2.1.6 ADJUNTOS

Os Adjuntos são definidos como compostos repletos de carboidratos não maltados que completam de forma nutricional e sinestésica o mosto, a partir do acréscimo de diferentes nutrientes e tipos de carboidratos, além de novos sabores e cheiros o mosto fica mais completo e complexo. Os adjuntos mais comuns são cereais como o milho, o arroz e o trigo, cada um dos adjuntos citados imprime um tipo de cerveja diferente.

As enzimas que dividem os carboidratos do malte em glicose são as mesmas que hidrolisam o adjunto, em alguns casos são necessárias enzimas especiais ou complementares de acordo com o adjunto. O principal benefício dos adjuntos na mistura é a melhora dos níveis de nitrogênio do mosto e melhora na estabilidade coloidal o que categoriza a cerveja como de melhor qualidade química e física e convergindo no aumento da validade. (RUSSEL e STEWART, 1995)

Existe uma diferença clara entre adjuntos amiláceos (milho e arroz) e açucarados (xaropes de maltose), especialmente os adjuntos açucarados devem conter carboidratos fermentáveis e dextrinas que não sofram reações químicas com baixo teor de proteínas para que as propriedades se aproximem do Malte.

Por último uma observação interessante é que uma das principais vantagens dos adjuntos está na redução de custo de se obter um mosto de melhor qualidade. (AQUARONE et al 2001).

2.1.7 LEVEDURA

Existe uma diferença na fermentação de diferentes tipos de Leveduras, este segmento do trabalho foi desenvolvido para apresentar as principais diferenças entre os tipos e características das leveduras. As Leveduras utilizada na fabricação de cerveja pertencem ao reino *Fungi* e normalmente dois tipos de levedura são utilizados: *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces uvarum*, a primeira utilizada para cervejas do tipo 'Ale' e a segunda para cervejas do tipo 'Lager'.

A principal função biológica da levedura na fermentação é a quebra da molécula de glicose em moléculas de álcool, gás carbônico em uma reação exotérmica, ou seja, que libera calor. Existem centenas de espécies de leveduras capazes de acelerar a fermentação alcoólica sendo as *Saccharomyces* as que mais são usadas na indústrias cervejeiras. Ao longo do processo fermentativo as leveduras assumem um papel de produzir outros compostos além do álcool como ésteres que acentuam notas frutadas ou os fenóis que trazem notas de especiarias para a cerveja. (DRAGONE, et al., 2010)

As leveduras são capazes de sintetizar dois tipos de carboidratos de reserva, glicogênio e trealose. Eles se acumulam no final da fermentação, sendo que o glicogênio é útil como reserva de energia e átomos de carbono redutores. Utilizados na fase aeróbica da fermentação durante a síntese lipídica. A trealose por outro lado é definida como um dissacarídeo. (MORADO, 2009)

2.2 TÉCNICAS DE QUALIDADE

Os resultados positivos de uma empresa ou processo sempre perpassam por uma sequência de ações executadas com precisão e eficiência, isto define a alta qualidade de um trabalho. Os procedimentos que ocorrem e se tornam fontes de

sucesso devem ser estudados a fundo, a ponto de que seja entendido tudo que acontece para ocasionar os melhores resultados.

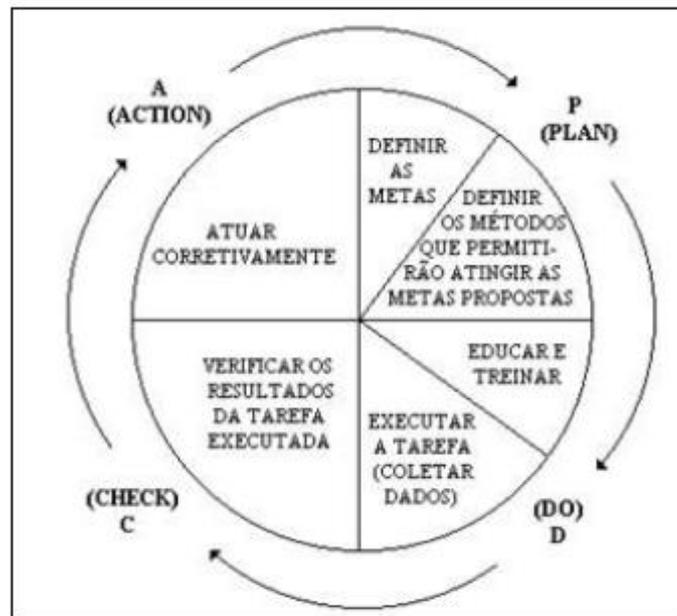
A competitividade é o maior combustível da qualidade que se aprimora em todos os campos industriais principalmente no das cervejarias. Sendo um dos procedimentos mais famosos inventado por Walter Andrew Shewhart na gestão da qualidade é o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*), esta ferramenta de qualidade contribui com o estudo de processos de melhorias sistematizados e gera resultados positivos. (CHOO, 2003)

O Ciclo PDCA pode ser traduzido livremente como a técnica de Planejar, Fazer, Checar, Agir. Também pode ser conhecido como Ciclo de Shewhart ou Ciclo de Deming. O principal objetivo deste instrumento é o auxílio no diagnóstico e análise de caso, fazendo um prognóstico de problemas organizacionais, fazendo-se útil para a solução de problemas simples até casos complexos. O principal foco é conduzir ações organizadas que vão garantir a melhor forma de realizar uma gestão ou tarefa.

O plano de ação do PDCA normalmente ocorre em quatro etapas principais, a primeira consiste em planejar "*Plan*" definir o amalgama do problema, definindo objetivos, estratégias e ações que vão se tornar metas. A outra fase de planejamento do processo de solução é definir os métodos que serão usados para atingir o objetivo. No momento que o plano estiver correto e claro, define-se os prazos e começa a segunda parte do processo de solução, a execução dos planos e metas (*Do*), passado o ato de fazer o plano funcionar, envolvendo aprendizagem individual e organizacional temos o terceiro procedimento que chamamos de "*Check*". Na terceira fase da resolução do diagnóstico do problema o objetivo é verificar os resultados e consultar se as metas foram atingidas e entender por que foram ou não. A etapa é responsável pela coleta de dados e verificar as ações tomadas será o último passo para aplicar o PDCA. (CHOO, 2003)

Com o Ciclo completo ilustrado na figura 2 é possível inferir uma análise específica para identificar como tudo que envolve o problema ou situação se comporta e pode ser resolvido, simplificado ou minimizado. (CHOO, 2003)

Figura 2 - Ciclo de DEMING ou Ciclo PDCA.



Fonte: CHOO, 2003

2.2.1 DIAGRAMA DE PARETO

Considerado como uma das principais ferramentas da qualidade moderna, O Diagrama de Pareto é uma técnica e método gráfico implementada em quase todos os sistemas produtivos. Um tipo de gráfico capaz de apontar quantitativamente as causas principais ou fatores mais importantes de um processo ou problema. O método gráfico de Pareto foi criado por Vilfredo Pareto e desenvolvido por Joseph Juran, um estudioso que foi capaz de analisar as iniciativas de melhora a partir da distribuição decrescente de importância dos problemas a serem resolvidos. Por Exemplo, um gráfico de Pareto sobre os principais problemas da fermentação, podem listar em ordem decrescente de importância, problemas como: Variação da temperatura ideal, Problemas com o Mosto e Leveduras de baixa qualidade. Assim é possível saber exatamente quais os principais problemas que devem ser "atingidos" para desenvolver a qualidade.

Vilfredo Pareto era um estudioso Italiano que entendia a seguinte filosofia sobre a desigualdade na Itália: Na prática 20% da população possuía 80% das riquezas do país. Explorando essa visão para a solução de problemas temos que 80% dos defeitos

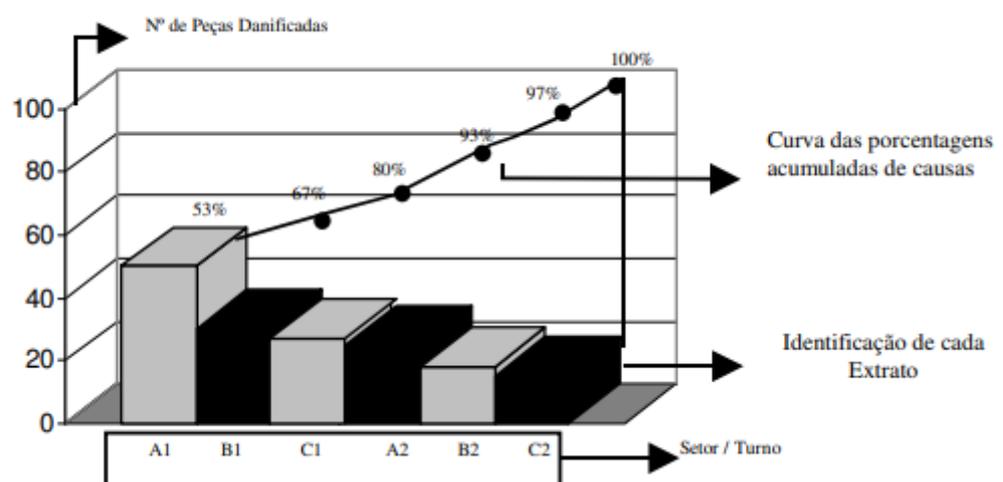
e falhas são responsabilidade de 20% dos motivos que podem gerar um defeito. Assim fica mais fácil identificar o que vai realmente trazer uma grande mudança para buscar a excelência da qualidade de uma atividade ou produto (SILVA, D. C. 1995).

Durante a utilização do Gráfico de Pareto é preciso montar e dar significado para cada elemento do gráfico. Sendo a principal utilidade do gráfico a visualização da concentração de esforços gerais e proporcionais, para a solução de um determinado problema.

No desenvolvimento do gráfico de Pareto são necessários dois conjuntos de dados, o primeiro é um gráfico de barras que represente os principais dados analisados em ordem decrescente, primeiro os principais e mais recorrentes problemas, não conformidades, defeitos ou ocorrências, por último os menos frequentes. Com este gráfico feito, passamos para um segundo elemento do gráfico que é uma ilha que representa a porcentagem acumulada de frequência dos dados. No fim do processo temos um gráfico com uma avaliação de porcentagem para saber quanto falta e o que falta para que o problema se resolva completamente.

Um exemplo prático pode facilitar o entendimento do gráfico em questão, na figura 3 abaixo temos um modelo do gráfico de Pareto baseado num problema imaginário de um alto índice de peças danificadas numa linha de produção. (SILVA, D. C. 1995)

Figura 3 - Diagrama de Pareto



Fonte: SILVA D.C. 1995

Com o diagrama pronto e a linha de "acumulação" das causas definida. É fácil visualizar na Figura 3 quais os principais problemas e a ordem de importância de solução para cada problema. No exemplo dado, observa-se com facilidade que metade do número de peças danificadas está relacionada a apenas um setor da linha de produção. É possível entender que 80% do número de peças danificadas corresponde ao mal funcionamento de três setores analisados, assim, o gasto de energia maior deve ocorrer para planejar e desenvolver os setores A1, B1 e C1 respectivamente. (SILVA, D. C. 1995).

2.2.2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA (ESPINHA DE PEIXE)

O diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Ishikawa foi desenvolvido por um japonês, grande estudioso dos métodos de qualidade, chamado Kaoru Ishikawa. O principal objetivo do Diagrama é encontrar, analisar estudando e organizando o problema e suas causas, categorizar e classificar os principais motivos e raízes do problema ou situação. A ferramenta de causa e efeito serve principalmente para atingir o problema de forma profunda e trazer uma resolução definitiva para a situação em questão.

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta amplamente utilizada pelos gestores de qualidade e já teve sua eficiência testada e comprovada muitas vezes. A divisão de categorias em forma de espinha de peixe origina o apelido "Espinha de Peixe" para esta técnica que lista os efeitos das causas convergindo para o efeito acumulativo gerando o problema.

Pensando em como desenvolver o diagrama de Causa e Efeito, é necessário seguir alguns passos: O primeiro deles é determinar o problema a ser estudado, relatar as principais causas do problema é fundamental, é necessário agrupar as causas em categorias que são chamadas de 6M, o penúltimo passo é analisar o diagrama feito com pensamento crítico e por último definir as soluções das causas para que juntas as resoluções resolvam o problema (CUNHA, 2010; DIAS et al, 2011).

A divisão de categorias 6M é uma parte do método de resolução que envolve: mão-de-obra, métodos, matéria-prima, medida, máquina e meio ambiente. A seguir temos as explicações de como dividir desta maneira e os motivos.

A Máquina é a divisão que se deve considerar falhas provindas de maquinário, aparelhos, eletrônicos responsáveis por leituras ou atividades físicas que registram problemas por funcionamento incorreto ou falhas mecânicas por exemplo.

A divisão de Materiais, retrata problemas que têm como fonte a matéria-prima, material em não conformidade, ou qualquer material fora das especificações, vencido, fora da temperatura ou forma ideal, etc.

Mão de Obra, uma divisão do 6M que serve para raízes de problemas relacionadas a pessoas, atitudes e falhas humanas na execução de um processo. Normalmente são problemas como pressa, imprudência, falta de conhecimento técnico ou prático.

Meio-ambiente: na divisão de meio-ambiente os itens em análise são causas externas e internas ao problema que podem estar agravando, acelerando ou mesmo causando um problema. Exemplos são como ambiente social, causas ambientais naturais como calor, poluição, chuva, excesso de umidade, falta de espaço, etc.

Método, a sessão de Métodos é reservada para causas de problemas que tem como base uma projeção ruim do método de como fazer determinada tarefa, procedimentos, protocolos incompletos, errados ou desatualizados. A análise que deve ocorrer é a forma e o planejamento do trabalho que deve ser executado, se está acontecendo da melhor maneira com as máquinas e ferramentas certas, no momento ideal, assim por diante (CUNHA, 2010; DIAS et al, 2011).

Medidas, esta é a divisão que reflete se a métrica e a proporção dada aos monitoramentos, indicadores, métodos de calibração, metas, instrumentos e quantidades em torno do problema, não estão literalmente causando ou agravando o problema de alguma forma.

As divisões das categorias apresentadas normalmente são feitas em uma sessão de Brainstorming, uma técnica de comunicação amplamente usada em trabalhos em grupo para compartilhar ideias e expor fatos que será melhor explicada ao longo do trabalho. O mais importante é que O Diagrama de Causa e Efeito é capaz de guiar o raciocínio da equipe e facilitar o registro e leitura das informações. Com toda essa teoria por trás dos métodos de resolução é muito difícil que um problema não possa ser resolvido ou estudado a fundo a fim de garantir a prosperidade. (WONG; WOO; WOO, 2016)

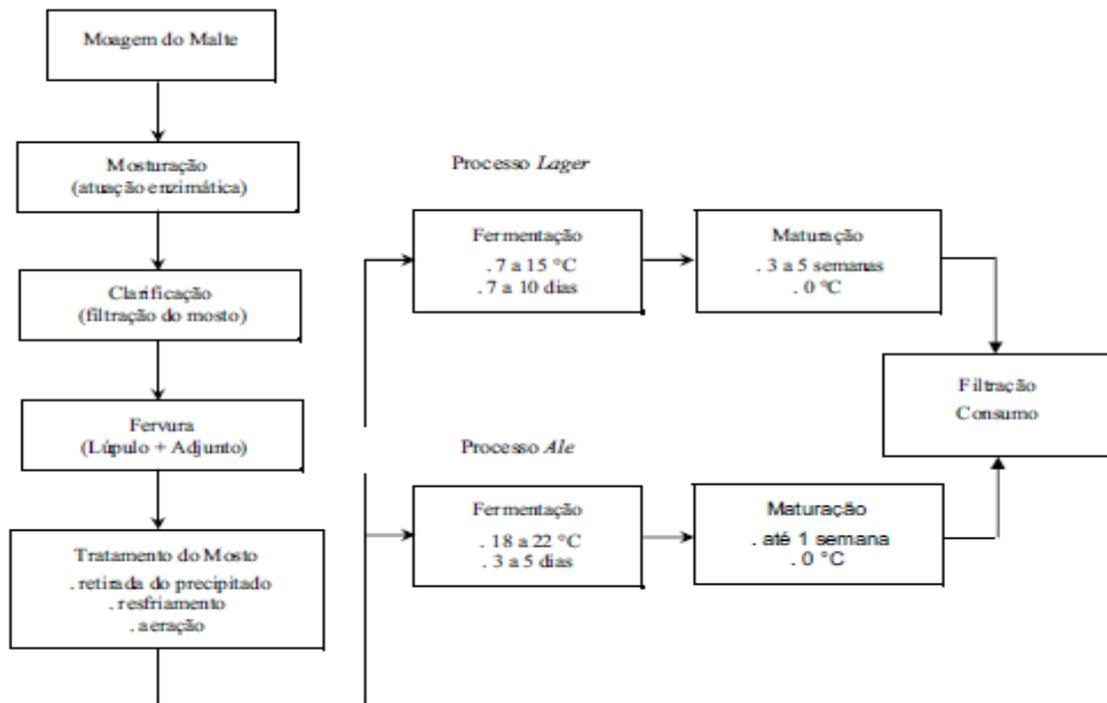
2.2.3 FLUXOGRAMA

O Fluxograma é a técnica de organização visual mais importante e utilizada para entender e desenhar o formato e as partes, fases do processo. Normalmente são usadas formas geométricas e uma sequência lógica com setas para representar uma grande quantidade de caminhos que podem ser tomados ou que se seguem conforme ocorre um procedimento industrial ou mesmo a representação simples de um fluxo de caixa. (CASADO et al 2015)

A vantagem do uso do fluxograma como a Figura 4 é justamente a nitidez de visualização da continuidade e entendimento do sistema, sobre como o processo ocorre e por que cada fase tem seu lugar na sequência. Normalmente são feitos Fluxogramas em processos por que as fases são dependentes entre si e é mais fácil entender as melhorias necessárias dessa maneira. (RIBEIRO, FERNANDES E ALMEIDA, 2010)

As principais vantagens deste método são: Facilitar o entendimento sobre o processo, é utilizado para encontrar falhas, pode ser usado como fonte de informação para análise crítica, demonstra a sequência de acontecimentos do processo, entre outras vantagens. Segue uma imagem com um exemplo sobre a preparação dos principais tipos de cerveja. (RUSSEL, 1194)

Figura 4 - Processo de produção da cerveja tipo Lager e Ale.



Fonte: RUSSEL, 1194

2.2.4 TIPOS DE FLUXOGRAMA

É possível entender o Fluxograma da figura 4 como o mapeamento do processo, sendo assim, existem algumas simbologias definidas para determinados pontos do fluxograma, na Figura 5 identificamos algumas delas. Em 1947 a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) definiu cinco símbolos para o diagrama de fluxo de processos como mostramos na figura a seguir. (RIBEIRO, FERNANDES E ALMEIDA, 2010)

Figura 5 – Símbolos definidos para diagramas de processo

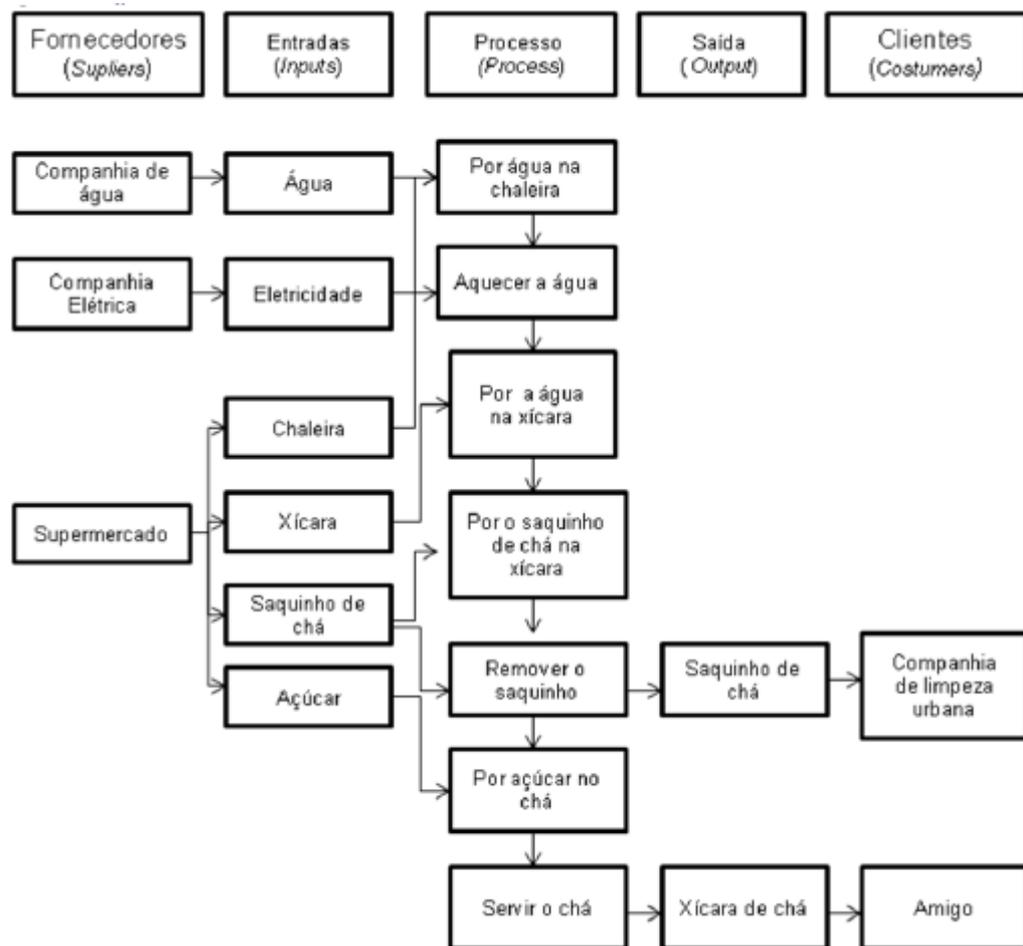
	Operação.
	Transporte
	Inspeção
	Espera
	Estocagem / Armazenamento

Fonte: RIBEIRO, FERNANDES E ALMEIDA, 2010

SIPOC

Existe um tipo de Fluxograma chamado de SIPOC, representado na figura 6 como exemplo essa sigla guarda uma organização de alto nível para metodologias e processos complexos. A ferramenta é muito usada nas metodologias Lean e Six Sigma e significa: *Suppliers* (Fornecedores), *Inputs* (Entradas), *Process* (processo), *Outputs* (saídas) e *Customers* (Clientes). A estrutura organiza as partes do processo de maneira a facilitar ao máximo a organização das informações. Segue um exemplo deste tipo de método na figura 6 representada para a xícara de chá. (AMUNDIN, 2013)

Figura 6 – Exemplo de estrutura SIPOC para xicara de chá.



Fonte: AMUNDIN (2013)

Por último, O Mapofluxograma, este fluxograma ilustrado na Figura 7, assume a função de mapa além sequenciar os processos, para o desenvolvimento de um fluxograma como este é necessário uma série de dados e informações globais, medidas e proporções podem ser necessários. Segue um exemplo sobre materiais plásticos onde as linhas cheias representam espaços delimitados por paredes e as linhas tracejadas representam locais onde materiais são depositados. (CASADO et al 2015)

da falha e propostas viáveis de melhoria, identificação das probabilidades de falha, quantificação e priorização dos riscos relativos e o desenvolvimento de um plano de ações.

Além de ótima ferramenta de qualidade o FMEA tem duas variações básicas: O FMEA de projeto ou DFMEA que é a análise de falhas que acontece antes do processo, ou seja, é uma projeção dos possíveis problemas a serem enfrentados e corrigidos. O FMEA de processo ou PFMEA é a segunda variação que trata do processo já em andamento com problemas e falhas reais que já estão acontecendo. (STAMATIS, D. 2003).

A principal diferença entre o PFMEA e o DFMEA, é a ordem e o tempo de execução, o DFMEA serve para entender a projeção de como um determinado erro ou falha vai ocorrer ou não. O PFMEA é a resposta prática de uma falha que precisa ser corrigida. Para entender melhor o funcionamento deste artifício da qualidade levaremos em consideração alguns Índices que são prioridade para resolver falhas graves. O primeiro índice é a Detecção, sendo a probabilidade de a falha ser encontrada antes do produto ser liberado para produção.

Em segundo plano a Ocorrência é a estimativa de probabilidade da causa ocorrer de fato e ocasionar a falha. A única maneira de reduzir este índice que normalmente é escalonado de 1 a 10 é impedir a ocorrência ou controlar as causas da falha. Um detalhe importante é que um índice de detecção baixo não significa necessariamente um índice de ocorrência baixo (STAMATIS, D. 2003).

O último índice em análise é a severidade, sendo esta a avaliação do quanto severo ou grave é o efeito da falha potencial. Normalmente o índice de severidade só é reduzido com a modificação do projeto do sistema, componente, cliente ou produto. Este índice está intimamente ligado ao dano causado pela falha no objeto em análise.

Com os índices analisados é possível fazer um produto multiplicando os três índices, este número recebe o nome de Número de Prioridade de Risco ou NPR, este valor serve para dar uma noção de quais falhas precisam necessariamente ser corrigidas e as que não se encontram em situação extrema, avalia as prioridades do projeto de resolução da falha, o número varia entre 1 e 1000 e dependendo da composição do número a falha precisa de prioridade, de acordo com a influência da severidade. Para alguns autores este número é conhecido como criticidade, outro termo utilizado é a Criticidade Limite, ou seja, o limite de risco que a empresa está disposta a correr em torno de uma determinada falha (STAMATIS, D. 2003)

2.2.6 FMEA DE PROJETO

O FMEA de projeto ou DFMEA (*Design Failure Mode and Effects Analysis*) é feito todas as vezes que precisamos questionar ou pensar de forma crítica em torno de um produto que será produzido. O protótipo não pode conter falhas graves ou perigosas, defeitos que tem grande probabilidade de ocorrência também não são permitidos. O principal é que todos os aspectos sejam abordados.

O FMEA de projeto deve ser entendido como o resumo dos pensamentos da equipe em torno das falhas potenciais tanto do produto ou serviço final quanto do método como este será fabricado ou trabalhada. Para realizar o estudo de um FMEA de projeto ou DFMEA é necessário seguir alguns passos:

O primeiro deles é identificar os objetivos do projeto e as metas, assim começa-se a pensar nas falhas potenciais do produto, em segunda instância devemos avaliar os efeitos potenciais da falha sobre o cliente, em seguida é importante entender as causas potenciais do projeto, as quais estão localizados os controles para diminuir a ocorrência da falha. Após o mapa das falhas e causas estar completo é importante a fase de iniciar os testes que vão contribuir com a ordenação de quais falhas são mais frequentes e quais ações são corretivas. (STAMATIS, 2003)

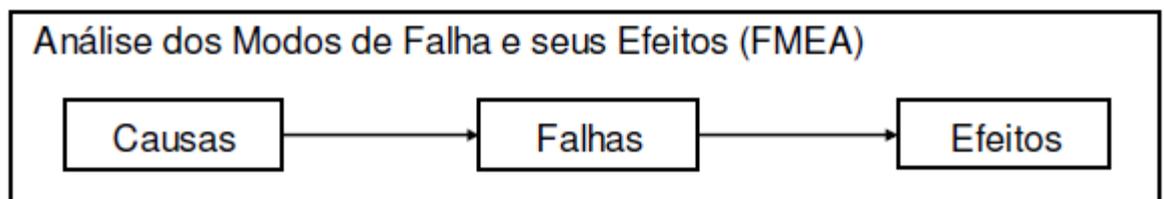
FMEA DE PROCESSO.

O FMEA de processo ou PFMEA (*Process Failure Mode and Effects Analysis*) é a ferramenta que estuda tudo que engloba possíveis falhas durante o sistema produtivo, a fim de entender, considerar e identificar com antecedência possíveis falhas e soluções com um sistema linear como apresentado na figura 8. O FMEA de processo deve seguir as seguintes análises:

- 1) conhecer as possíveis falhas vinculadas a produção e ao próprio produto
- 2) entender os efeitos potenciais da falha em torno da qualidade do produto
- 3) classificar as causas das falhas durante o processo e produto acabado, Identificando as variáveis de processo para que seja possível controlá-las.

- 4) classificar as ações corretivas conforme a análise das prioridades de Periculosidade ou tamanho do problema criado pela falha ou erro.
 - 5) montar um relatório e um documento sobre tudo que foi analisado, os Valores os testes e resultados que tem sido obtido ao longo do processo.
- (TOZZI, 2004)

Figura 8 – Abordagem do FMEA



Fonte: Elaboração própria

Uma das principais características do PFMEA é o fluxograma do processo que deve ser feito analisando os riscos e possíveis problemas em cada parte do processo, sendo os possíveis efeitos do produto analisados no DFMEA.

O Objetivo maior do FMEA de processo é evitar as falhas graves nos procedimentos, que podem ocasionar grandes problemas e que poderiam ser evitadas ou amenizadas. Assim sendo é fundamental que cada fase de análise fique completa antes de passar para a próxima fase de estudo. O momento mais importante acaba sendo o registro final e relato de tudo que ocorreu para que possa ser documentado e seja válido legalmente. Segue um exemplo de formulário do processo no Quadro 3. (GARCIA, 2000).

Quadro 3 – Análise dos modos de falhas e seus efeitos FMEA de processo.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS FMEA DE PROCESSO																		
Data Chave : Projeto : Peça : Participantes :							No. FMEA : Pag. / Rev. _____ / _____ Preparado por : Data da FMEA :											
Item/ Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	S E V E R	C L A S S	Causa Potencial (6M) Mecanismos	O C O R R	Controle Preventivo Atual	Controle Detecção Atual	D E T E C	N P R	Ações Recomendadas	Responsabilidade pelas ações recomendadas e os prazos envolvidos	Ações Resultantes					
													Ação Tomada	S E V E R	C L A S S	D E T E C	N P R	

Fonte: GARCIA, 2000

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no trabalho foi um estudo de caso, que analisa um fenômeno real considerando o contexto em que está inserido e as variáveis que o influenciaram. Foi feito o acompanhamento de todo processo de produção da cerveja desde a matéria-prima que envolve a produção da cerveja, como especificidades da água, aroma, sabor e aparência. Foi alvo de estudo partes do processo como armazenamento e etapas como preparo do mosto, fermentação, maturação, filtragem e envase. Todas as informações estão de acordo com o sigilo industrial proposto pela empresa na qual o projeto está sendo executado.

Após a ideia do trabalho sobre cerveja o primeiro passo foi a comunicação com contatos das áreas de processos como gerentes e coordenadores. Além de engenheiros e técnicos de áreas como qualidade e produtos. Outros profissionais como operadores da produção contribuíram com informações do cotidiano e técnicas.

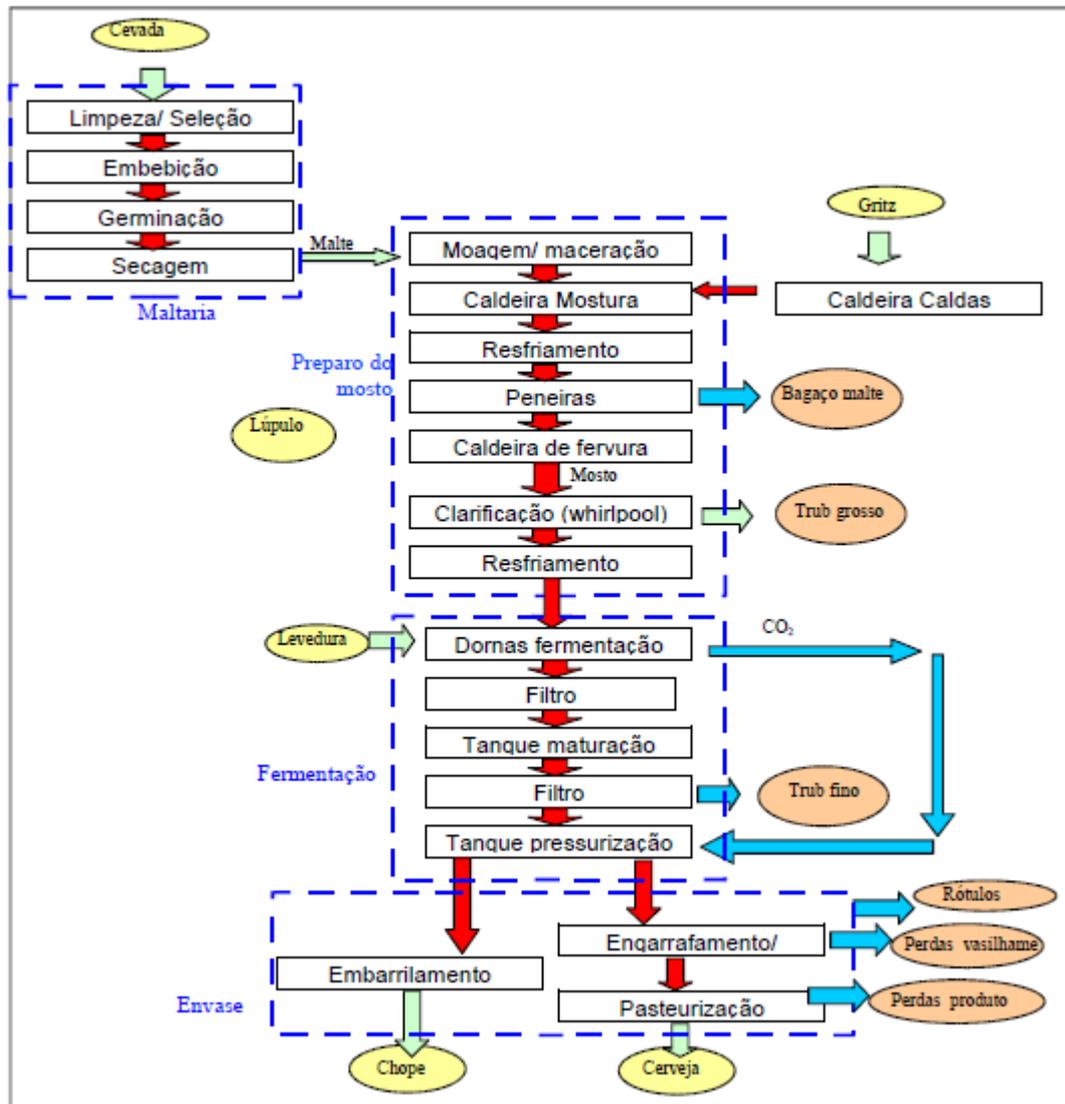
Feito a parte de contato com os profissionais, foi possível uma série de reuniões e um brainstorming sobre o processo global da produção da cerveja. O conjunto de encontros possibilitou o entendimento dos principais problemas em foco e traçar a estratégia em torno do uso das ferramentas de qualidade e suas vantagens, além da explicação do uso de cada uma delas. As principais ferramentas citadas e estudadas foram: Fluxograma de Processo, Diagrama de Pareto, FMEA (Análise de modos de falhas e efeitos) e Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito).

O projeto colaborou com um crescimento na utilização das ferramentas de qualidade em torno do Sistema de Gestão de Qualidade e de Controle do Processo de maneira geral. Como a empresa é de porte médio, algumas análises já estavam sendo feitas e puderam ser utilizadas como base de estudos. Um dos principais focos do projeto foi o PFMEA que se trata do FMEA de processos. Ao longo do projeto foi possível analisar falhas, defeitos, problemas e efeitos do processo. Por fim, foi possível melhorar diversas partes, principalmente se tratando de disposição dos equipamentos, manutenção dos sensores e controladores de temperatura das fases do processo.

4. Resultados e Discussões

O Fluxograma de Processo que está representado na figura 9, foi a informação inicial do estudo que engloba desde o recebimento das matérias primas até o envase do produto final. Análises como pH, Turbidez, Cor e Álcool foram realizadas com os padrões de qualidade. Particularmente entre as etapas a serem estudadas é a Brassagem e a Mostura, duas etapas que são de vital importância e que apresentam problemas, principalmente relacionados a temperatura. A má homogeneização ou fermentação desregulada pode acarretar para o processo em análise problemas sérios na produção da cerveja. Atenção do tratamento do processo também está voltada para a redução do tempo morto, redução do gasto com matéria-prima e desperdício da produção.

Figura 9 - O Fluxograma do Processo de Produção da cerveja.



Fonte: (VENTURINI FILHO, W.G. 2010).

Com o fluxograma da figura 9 exposto, a visão global do processo se torna ou mais ampla. Partes do processo se tornaram de fácil análise e permitiram uma série de estudos dos problemas principais da linha de produção. Os dados obtidos permitem uma reflexão que induziu a severidade e frequência dos problemas apresentados. A análise profunda dos problemas facilitou a utilização das ferramentas de qualidade.

Para facilitar a visibilidade dos problemas, foi utilizado o diagrama de Pareto para listar e classificar a ocorrência de pontos de falha da linha como desperdícios e alterações na temperatura da sala de brassagem e do mosto cervejeiro por exemplo.

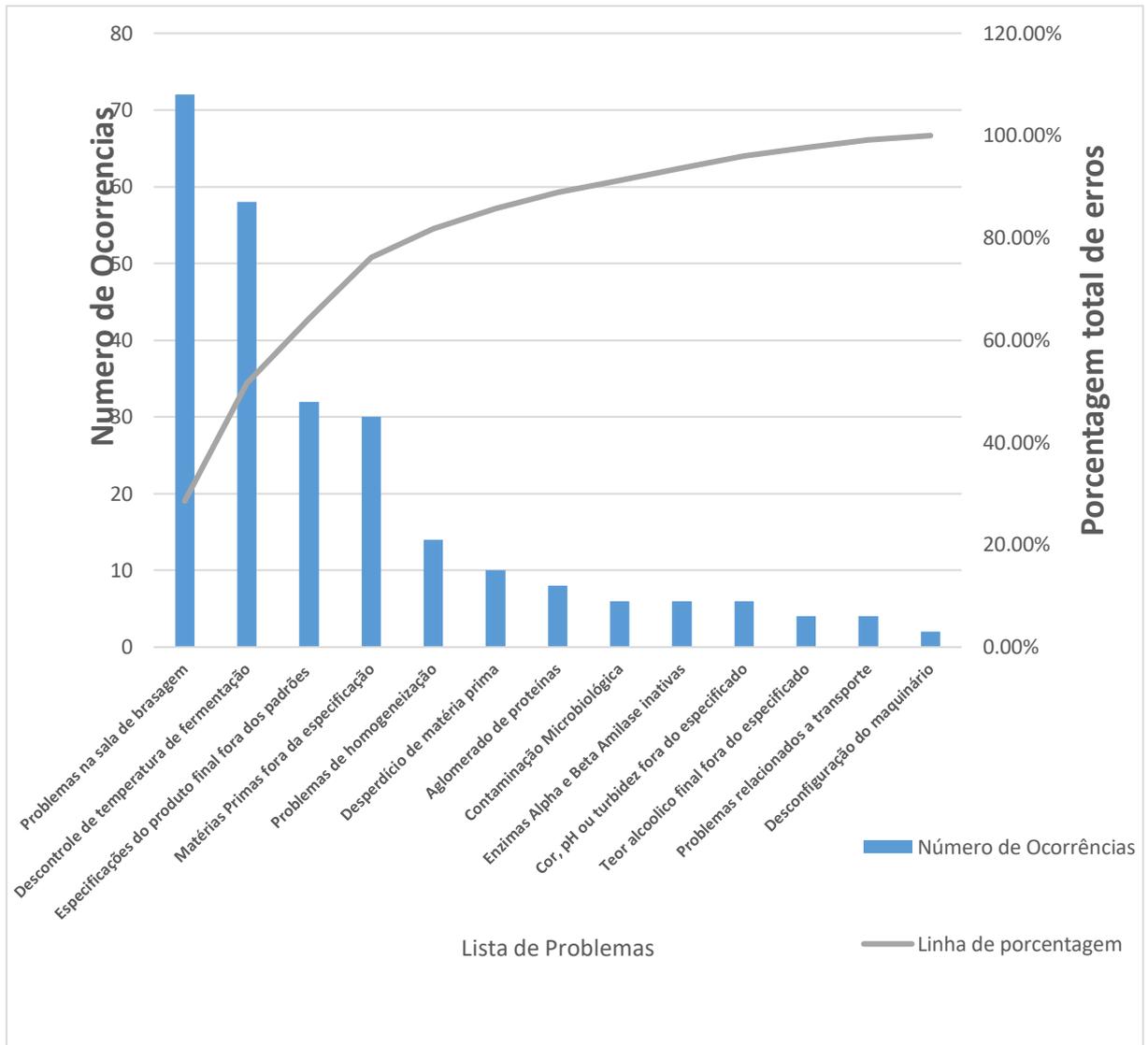
A aplicação do diagrama de Pareto foi utilizado o Quadro 4 que aponta as falhas e usa a frequência normal de cada problema e frequência acumulada, além da quantidade de cada problema ao ano. Com o conjunto de informações foi possível criar um gráfico de Pareto representado na figura 10 com uma linha de representação em porcentagem da influência dos problemas na linha e uma tabela para facilitar a leitura numérica

Quadro 4 - Tabela de Falhas

Diagrama de Pareto sobre o processo completo de produção de Cervejas			
Principais problemas	Quantidade de Ocorrência no ano	Percentual de cada problema	Percentual acumulado
Problemas na sala de brasagem	72	28,57%	28,57%
Descontrole de temperatura de fermentação	58	23,02%	51,59%
Especificações do produto final fora dos padrões	32	12,70%	64,29%
Matérias Primas fora da especificação	30	11,90%	76,19%
Problemas de homogeneização	14	5,56%	81,75%
Desperdício de matéria prima	10	3,97%	85,71%
Aglomerado de proteínas	8	3,17%	88,89%
Contaminação Microbiológica	6	2,38%	91,27%
Enzimas Alpha e Beta Amilase inativas	6	2,38%	93,65%
Cor, pH ou turbidez fora do especificado	6	2,38%	96,03%
Teor alcoólico final fora do especificado	4	1,59%	97,62%
Problemas relacionados a transporte	4	1,59%	99,21%
Desconfiguração do maquinário	2	0,79%	100,00%
TOTAL	252	100,00%	100,00%

Fonte: Autor.

Figura 10 – Principais problemas na produção de Cerveja



Fonte: Autor

Com Base no Diagrama de Pareto apresentado na figura 10, foi possível inferir que dentre os treze problemas analisados, apenas três deles somam mais de 64% das falhas totais do processo, eram eles:

- Problemas na sala de brassagem
- Descontrole de temperatura de fermentação
- Especificações do produto final fora dos padrões

Conforme escrito no Princípio de Pareto, cerca de vinte por cento dos problemas são responsáveis por 80% das ocorrências de falhas no processo. Comparando com o sistema que encontramos, temos que 3 entre 13 problemas estudados (23%) eram responsáveis por cerca de 64% das falhas no processo, o que levava a tomada de estudo de determinados pontos a fim de orientar um plano de ação contra as causas dos problemas. Com um plano de reduzir as ocorrências foi possível detectar e evitar perdas e efeitos colaterais de problemas como descontroles e problemas relacionados a Brassagem.

Utilizando o Diagrama de processo de produção da cerveja, foi possível entender a principal falha como os problemas na Sala de Brassagem, que representa 72 ocorrências ao longo do tempo de um ano e tinha uma representatividade diante do número total de casos falhos de 28,57% dos casos. Para entender melhor este problema, primeiro foram definidos com precisão a fase de brassagem para que fosse possível identificar o problema e possibilitar soluções.

Durante a fase de maceração (brassagem), na qual as enzimas do malte quebram o amido dos grãos em açúcares, se iniciava a mistura de matérias primas na água cervejeira e terminava no preparo completo do mosto. O nome Mosto é proveniente da maltose que é o glicosídeo do Malte. Os métodos mais comuns da Brassagem são: Brassagem por infusão, em que os grãos são aquecidos em um vaso. Brassagem de decocção, em que uma proporção dos grãos está cozida e volta para a brassagem aumentando a temperatura. Normalmente, ocorriam pausas durante a brassagem nas temperaturas de 45, 62 e 73 graus. Qualquer problema que ocorria nessa fase do processo acarretaria na concentração errada de maltose no mosto o que é irreversível para a qualidade do produto e normalmente resultava no descarte do mosto malformado e matéria-prima envolvida, quando o problema não era identificado, ainda era encaminhado para fermentação que também ocorre errado e gastava ainda mais matéria-prima, tempo e consequentemente dinheiro.

O descontrolo da temperatura de fermentação foi apresentado como a segunda principal falha no processo de produção da cerveja. Esta falha é tão comum quanto a primeira citada e representa ou 58 das ocorrências de falha em um ano. Somando a primeira falha e a obtém-se uma margem de mais da metade dos casos analisados. Para estudar melhor este segmento de falha foi necessário um estudo nas áreas de química, bioquímica e física.

Para que a fermentação tivesse chance de ocorrer de maneira correta, o preparo do mosto e o resfriamento tinham que estar impecáveis, para gerar um líquido com as propriedades exatas de pH, valor biológico e temperatura para ser utilizado na fermentação, por isso quando ocorria algum erro na etapa de preparo do mosto, provavelmente se o erro não fosse identificado teríamos um problema nesta etapa. Mesmo sem problemas nas etapas anteriores, o problema mais comum na etapa da fermentação era causado pelo descontrole da temperatura de fermentação.

O descontrole térmico poderia causar problemas sérios na atuação das enzimas com relação a interação com a maltose. Normalmente temperaturas maiores ou menores com relação a temperatura exata para a levedura colocada geram um desconforto para o micro-organismo que resulta na inibição ou até inatividade do processo de conversão biológica da maltose em álcool e gás carbônico, resultando em níveis diferentes do ideal para açúcares no líquido fermentado, álcool, etc.

A terceira falha com maior frequência foi a especificação do produto final fora dos padrões, isso significava que a cerveja resultante do processo não atendia alguma característica física ou química premeditada. Como exemplo pode-se citar uma falta de padrão para o pH, açúcares, teor alcoólico, entre outros caracteres químicos, ou turbidez, cor, gás, não conformidades físicas. Este problema ocorria em uma frequência relativamente alta, 32 vezes ao ano

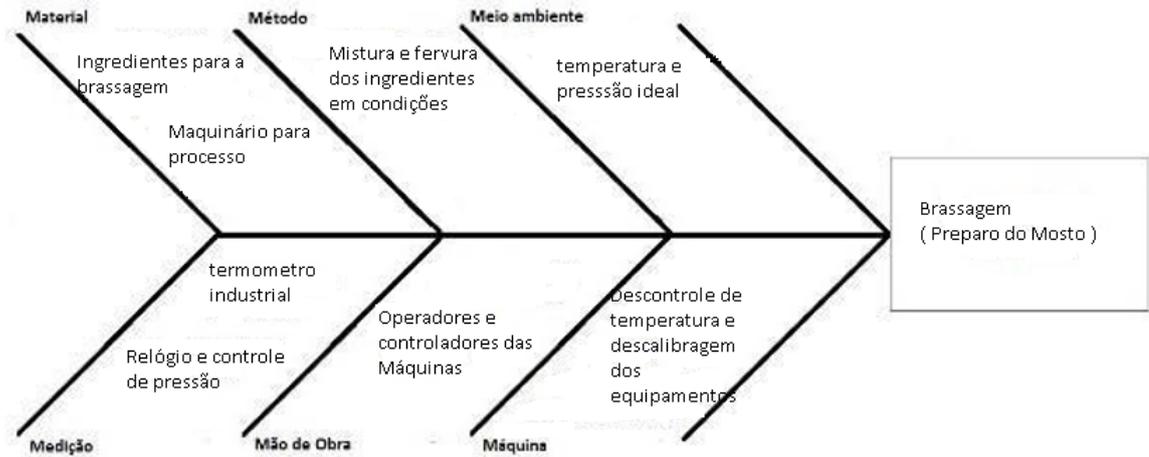
A partir da quarta falha identificou-se uma lista de problemas menos recorrentes e com expressão menor do que os três primeiros, partindo do princípio de Pareto, o foco do presente trabalho foi reduzir ao máximo os três primeiros problemas pois assim cerca de 65% dos defeitos da linha seriam melhorados.

Como os outros nove problemas representavam uma parcela menor do que os primeiros três, priorizou-se os de maior impacto para depois cuidar dos problemas menores, que eram incomuns e muitas vezes mais fáceis de resolver.

A fim de resolver os dois principais problemas listados, ocorreu uma reunião com o objetivo de entender e criar soluções em torno da fase de brassagem e fermentação. Nessa reunião foi realizado um *brainstorm* com a equipe de processos e alguns consultores para mapear e elaborar um plano de ação contra as falhas mais comuns de maneira efetiva. A reunião permitiu a ideia da criação de um diagrama de Ishikawa para a Fermentação e outro para a brassagem. Para o diagrama utilizamos o método organizacional 6M que dividiu o caso nas seguintes partes: Método, Máquina, Meio Ambiente, Matéria-Prima, Medição, Mão de Obra.

Esta ferramenta tinha como objetivo identificar o motivo das falhas e classifica-las como uma falha possível de resolução, parcial ou completamente. Coordenar a origem do problema foi o primeiro passo para resolve-lo, a seguir foi elaborado o diagrama de Ishikawa.

Figura 11 - Diagrama de Ishikawa para a falha 'Problemas na sala de brassagem'



Fonte: Autor

A partir da figura 11 foi elaborado o Quadro 5 com as prováveis causas.

Quadro 5 - Causas do problema de Brassagem 6M

Máquina	Meio Ambiente	Método	Material	Mão de Obra	Medição
<i>Equipamentos mal calibrados, sujos ou sem vistoria</i>	<i>Temperaturas extremas, sujeira e mal disposição dos equipamentos</i>	<i>Contaminação da matéria-prima, erro de programação dos equipamentos</i>	<i>Matéria-prima fora da especificação ou de baixa qualidade</i>	<i>Operadores das máquinas despreparados ou inexperientes</i>	<i>termômetro descalibrado, relógios com defeito</i>

Fonte: Autor

Depois de analisar a figura 11 e o quadro 5, a equipe concluiu que muitos dos problemas estavam possivelmente relacionados, além de entender que as principais causas do problema da brassagem era:

- Má qualidade de alguns lotes de matéria-prima
- Disposição errada dos equipamentos que ficavam em lugares quentes que dificultava a temperatura certa dos processos.
- Termômetros descalibrado e equipamento precisando de manutenção.

Para a solução dos problemas foi necessário a instalação de um aparelho de ar condicionado no ambiente da sala de brassagem e uma reorganização dos equipamentos. Em segundo plano feito uma revisão dos fornecedores e entrou-se em contato para conversar sobre o padrão do malte lúpulo e para a água foi feita uma manutenção do filtro por onde a água da cerveja passa antes da produção. Foi necessário procurar novos fornecedores.

No caso dos termômetros e problemas no equipamento, foi pedido a assistência de um técnico da empresa que se responsabilizou pela calibragem e a troca de um relógio que estava com defeito. Além disso o equipamento precisava de uma limpeza interna que foi feita com sucesso.

A outra análise foi do descontrole de temperatura de fermentação.

Para analisar a segunda maior fonte de não conformidades foi feito o mesmo método obtendo-se o diagrama de Ishikawa da figura 12 e o quadro 6 para a fermentação.

Figura 12- Diagrama de Ishikawa da fermentação.



Fonte: Autor

De maneira a analisar o diagrama de Ishikawa elaborou-se uma tabela com os fatores que servem para entender o que foi avaliado e organizar de maneira diferente, para facilitar a visibilidade das causas dos problemas. O quadro 6 ilustra basicamente as prováveis causas das falhas.

Quadro 6 – Causas para o problema de controle da fermentação

Máquina	Meio Ambiente	Método	Material	Mão de Obra	Medição
<i>Dornas, Tanques de fermentação, Sensores e Termômetros irregulares ou mal calibrados</i>	<i>Ambiente fechado com pouca ventilação o que dificulta o controle térmico</i>	<i>Dificuldade de controlar quantidade exata de enzima no mosto</i>	<i>Enzimas com baixo valor biológico, Mosto mal produzido, equipamentos mal calibrados</i>	<i>Técnicos e engenheiros, profissionais de limpeza e químicos</i>	<i>Termômetros, Sensores e Controladores de Fluxo descalibrados</i>

Fonte: Autor

Durante uma análise minuciosa dos fatores analisados (6M), foi percebido uma série de problemas muito parecidos com os problemas encontrados no momento da brassagem, como por exemplo excesso de calor no tanque durante a fermentação e elevada temperatura que inibe a atividade biológica dos micro-organismos

saccharomyces cerevisiae para converter a glicose em álcool, este problema foi identificado da seguinte maneira, sabe-se que o tipo de fermentação que ocorre ali deveria acontecer entre 17 a 24 graus e que o fermentador utilizava um líquido refrigerante que no caso estava fora do prazo de troca, além do fluido refrigerante, o ambiente em que o fermentador se encontrava tinha um teto forrado de isopor e uma região pouco ventilada que nos dias quentes dificultava o controle da temperatura. Segundo relatos dos próprios operadores, durante o inverno as conversões dos micro-organismos funcionavam bem, durante o verão era perceptível que a concentração de álcool atingida não era a ideal e que havia muita glicose na cerveja produzida, o que aponta uma fermentação impropria.

A resolução dos problemas citados foi aumentar a circulação de ar com ventiladores industriais e dutos de ar, além disso conversamos com a empresa responsável pelo fluido refrigerante e o fermentador que enviou um técnico para averiguar o equipamento.

A última ferramenta de qualidade que foi utilizada, avaliava diversos setores do processo é uma das mais completas selecionadas, o FMEA. O FMEA é o que determinou e avaliou a possibilidade de ocorrência dos problemas que encontramos e relacionou a ordem cronológica da frequência temporal do problema, sua ocorrência e detecção, determinando dessa maneira o NPR que é o Número de Prioridade de Risco, o que permitiu priorizar os erros e fazer um plano de ação.

A influência da falha tinha relação direta com sua nota que tem critérios pré-estabelecidos, os quadros a seguir sustentam a metodologia, são os quadros de Severidade, Ocorrência e Detecção. A seguir com o Quadro 7 encontramos alguns índices de ocorrência o divide a recorrência dos erros e classifica-os.

Quadro 7 - Classificação de Índice de Ocorrência

Probabilidade de Falha	Critérios: Ocorrência de Causa - PFMEA (Incidentes por itens/veículos)	Classificação
Muito Alta	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	10
Alta	50 por mil 1 em 20	9
	20 por mil 1 em 50	8
	10 por mil 1 em 100	7
Moderada	2 por mil 1 em 500	6
	0,5 por mil 1 em 2.000	5
	0,1 por mil 1 em 10.000	4
Baixa	0,01 por mil 1 em 100.000	3
	≤ 0,001 por mil 1 em 1.000.000	2
Muito Baixa	A falha é eliminada através de controle preventivo.	1

Fonte: STAMATIS, D. 2003

Quadro 8 - Classificação de Índice de Severidade

Classificação	Efeito	Crítérios
10	Falha em atender a Requisitos e/ou Normas Regulatórias e de Segurança	Falha afeta a segurança na operação do produto ou envolve não conformidade com regulamentação governamental sem aviso prévio ou Pode trazer perigo para o operador na máquina ou na montagem sem aviso antecipado.
9	Falha em atender a Requisitos e/ou Normas Regulatórias e de Segurança	Falha afeta a segurança na operação do produto ou envolve não conformidade com regulamentação governamental avisada com antecedência ou Pode trazer perigo para o operador na máquina ou na montagem mesmo avisado previamente.
8	Perda ou Interrupção Total do Produto ou Processo	Funções Primárias inoperável mas não afeta a segurança ou Refugado 100% do lote de produção, parada na linha de produção ou parada na expedição
7	Grande Perda ou Interrupção Significante	Funções Primárias com desempenho reduzido ou Parcela do lote de produção refugado, redução na produção e acréscimo de mão de obra
6	Perda ou Interrupção Moderada	Funções de conforto ou conveniência estão inoperáveis ou Necessário retrabalho de 100% do lote de produção fora da linha e aceito
5	Perda ou Interrupção Moderada	Funções de conforto ou conveniência com desempenho reduzido ou Necessário retrabalho de uma parcela do lote de produção fora da linha e aceito
4	Perda ou Interrupção Menor	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por mais de 75% dos clientes ou Retrabalho de 100% do lote de produção antes de ser processado
3	Perda ou Interrupção Menor	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por mais de 55% dos clientes ou Retrabalho de uma parcela do lote de produção antes de ser processado
2	Incomodo ou Desconforto	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por menos de 25% dos clientes ou Pequena inconveniência para o processo ou para o operador
1	Nenhum Efeito	Nenhum efeito perceptível

Fonte: STAMATIS, D. 2003

Quadro 9 - Classificação de Índice de Detecção

Severidade	Efeito da Severidade	Índice de Severidade
Nenhum	Sem efeito identificado.	1
Muito menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	2
Menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	3
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	4
Baixo	Equipamento operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos.	5
Moderado	Equipamento operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito.	6
Alto	Equipamento inoperável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	7
Muito alto	Equipamento inoperável (perda das funções primárias).	8
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento com aviso prévio.	9
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento sem aviso prévio.	10

Fonte: Autor

Quadro 10 – Análise do FMEA para temperatura

Análise dos modos de falhas e seus efeitos FMEA de Processo														
Centro de trabalho e data: Cervejaria 17/10/2020							Revisão da PFMEA : 13/11/2020 por Matheus Oliva							
											Resultados da Ação			
Função	Falha Potencial	Efeitos Potenciais	SEVE	Causa Potencial (6M)	OCCOR	Cont. Preventivo	DETEC	NPR	Ações Recomendadas	Responsavel	SEVE	OCCOR	DETEC	NPR
Temperatura	Descontrole de temperatura (excesso)	Problemas com a Brasagem/Fermentação	5	Falta de planejamento e ambiente, falta de manutenção	3	Controle com termômetros internos e externos	7	105	Controle e reestruturação interna e externa do ambiente e equipamento	Coordenador de produção	5	2	4	40
	Descontrole de temperatura (falta)	Problemas com a Brasagem/Fermentação	4	Falta de planejamento e ambiente, falta de manutenção	2	Controle com termômetros internos e externos	7	56						

Fonte: Autor

Quadro 11 – Análise do FMEA para matéria-prima

Análise dos modos de falhas e seus efeitos FMEA de Processo														
Centro de trabalho e data: Cervejaria 17/10/2020							Revisão da PFMEA : 13/11/2020 por Matheus Oliva							
											Resultados da Ação			
Função	Falha Potencial	Efeitos Potenciais	SEVE	Causa Potencial (6M)	OCCOR	Cont. Preventivo	DETEC	NPR	Ações Recomendadas	Responsavel	SEVE	OCCOR	DETEC	NPR
Matéria Prima	Malte fora da especificação	Problemas com alpha e beta amilase	4	Grão de Malte muito seco	3	Controle de umidade e padrão dos grãos de Malte	7	84	troca de fornecedor e avaliação do novo malte	Engenheiro de produção	4	2	3	24
	Levedura fora da especificação	Problemas com a Fermentação	3	Levedura com baixo fator de multiplicação e valor biológico	2	Controle com microscópio da multiplicação de células	7	42						

Fonte: Autor

Quadro 12 – Análise do FMEA para Maquinário

Análise dos modos de falhas e seus efeitos FMEA de Processo														
Centro de trabalho e data: Cervejaria 17/10/2020								Revisão da PFMEA : 13/11/2020 por Matheus Oliva						
Função	Falha Potencial	Efeitos Potenciais	SEVE	Causa Potencial (6M)	OCOR	Cont. Preventivo	DETEC	NPR	Ações Recomendadas	Responsavel	Resultados da Ação			
											SEVE	OCOR	DETEC	NPR
Maquinário	Equipamentos descalibrados ou defeituosos precisando de manutenção	Produto fora das especificações nos termos de pH,turbidez,etc.	3	Grão de Malte muito seco	3	Controle de umidade e padrão dos grãos de Malte	6	54	manutenção e possíveis trocas de equipamento	Equipe Mecânica	3	2	2	12
	Equipamentos descalibrados ou defeituosos precisando de manutenção	Problemas com a Fermentação, Brasagem e desperdício de matéria prima	3	Levedura com baixo fator de multiplicação e valor biológico	2	Controle com microscópio da multiplicação de células	5	30						

Fonte: Autor

Com os Quadros 7,8,9,10,11 e 12 foi possível determinar os modos de falha presentes e considerar, observamos por um mês, as falhas do processo com um fluxograma em mãos e produção em andamento, ocorreu uma separação entre o recebimento e tratamento das leveduras e matéria-prima. A mistura e checagem dos padrões de qualidade da matéria-prima recebida e primeiros passos do processo, análise completa do momento da brassagem. Dando continuidade a pontuação e avaliação de gravidade e número de falhas, a fermentação e o momento do envase foi outra fase pertinente da análise.

Com a análise da falta de padrão do Malte e da baixa taxa de multiplicação das leveduras, foi feita uma revisão sobre os padrões de qualidade com o fornecedor de matéria-prima e uma consultoria com um professor de microbiologia para entender o motivo da multiplicação das leveduras não estar em níveis satisfatórios. A conclusão sobre o problema das leveduras manteve-se em sigilo empresarial.

Como feito anteriormente a análise da brassagem levantou questões sobre a temperatura de operação e do ambiente das máquinas, o ambiente passou por uma reformulação a fim de melhorar a disposição e ventilação dos equipamentos a fim de manter uma temperatura mais próxima da ideal.

No âmbito da fermentação observou-se que alguns dos problemas da fermentação na verdade eram continuação dos problemas iniciais de brassagem e que algumas partes do equipamento precisavam ser calibrada, além da levedura que não apresentava a concentração ideal na entrada do fermentador. O controle de temperatura pôde ser visualizado e resolvido de maneira parecida com a sala de brassagem, foi adaptado um sistema de ventilação melhor e troca do fluido refrigerante do fermentador.

Com os valores dos quadros 7, 8, 9, 10, 11 e 12 alguns modos de falha se destacaram, sendo:

- Qualidade do Malte recebido e da multiplicação das leveduras.
- Reestruturação do sistema de ventilação do ambiente de operação e planta.
- Controle de temperatura, manutenção e calibragem dos equipamentos.

Os modos em destaque obtiveram um NPR maior e conseqüentemente um nível de importância de resolução, frequência de ocorrência e risco mais alto. Conforme apresentado no PFMEA, algumas ações já foram recomendadas para cada um dos problemas listados em função da redução da ocorrência e detecção, visto que a severidade não se alterada.

Os problemas com maior NPR foram 'descontrole de temperatura' e 'matéria-prima fora da especificação' que apresentaram severidade em 5 e 4 respectivamente, o que significa que grande parte do problema não provem apenas de responsabilidade exclusiva da empresa mas dos fornecedores também.

Combinado com a gestão da área de qualidade ficou decidido um plano com uma equipe para cada um dos dois problemas citados e uma terceira equipe para a resolução geral com um prazo determinado de um mês para a resolução dos problemas. Para colaborar com a visualização do plano de melhorias o quadro 13 representa a aplicação das ferramentas apresentadas foi proposto um plano de ação que unifica e equaliza as ações em torno das falhas.

Quadro 13 - Plano de Ação para Melhoria na Produção de Cerveja

Causa do plano : Qualidade DATA: 15/10/2020

DESCRIÇÃO DAS FALHAS A SEREM TRABALHADAS	
DETALHAMENTO	
Descontrole de temperatura ao longo do processo	
Matéria-Prima fora da especificação	
Equipamentos e acessórios descalibrados ou defeituosos precisando de manutenção	
Não conformidade com o protocolo para multiplicação das leveduras.	

AÇÕES TOMADAS A PARTIR DA ANÁLISE DE FALHAS

Item 1	Mudança geral no sistema de ventilação e nova disposição de equipamentos para evitar o aquecimento dos equipamentos.
Item 2	Revisão dos padrões das matérias primas com os fornecedores
Item 3	Calibragem técnica e manutenção dos equipamentos envolvidos no processo.
Item 4	Investimento em tecnologia e estudos de leveduras para melhorar a multiplicação celular e bioatividade das leveduras nos tanques.

CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES A EXECUTAR			
Item	Descrição das Atividades	Responsável	Prazo
Item 1	Revisão geral do sistema termico	Processista e Analista de Vendas	15/11/2020
Item 2	Treinamento dos operadores 1	Engenheiro de Produção	11/11/2020
Item 3	Treinamento dos operadores 2	Engenheiro de Processo	10/11/2020
Item 4	Implementação sistema automatizado	Gerência de manutenção	15/11/2020

Fonte: Do autor.

O plano de ação se configurou completamente no âmbito de melhorar e estabilizar ainda mais o processo de produção da cerveja em escala laboratorial e industrial. Com as melhorias implementadas os principais benefícios foram a maximização dos lucros e rendimentos da planta, além da diminuição de gastos com matéria-prima descartada e retrabalho evitado. O número de defeitos, falhas e problemas na linha de produção foram reduzidos e minimizados em relação a intensidade e frequência. Os descontroles de temperatura passaram a ser menos frequentes e os problemas relacionados ao descontrole também se reduziram.

5. Conclusão

A partir das ferramentas de qualidade que foram trabalhadas ao longo do projeto de melhoria e relacionada com um estudo aprofundado do tema, foi possível identificar alguns tópicos de grande importância e oportunidade de otimização no processo de produção da cerveja, o desenvolvimento das falhas apontadas trouxe uma interferência significativa para o processo. Diante de um conjunto de falhas e mapeamento dos problemas ao longo do fluxograma foi possível identificar uma visão global das causas e consequências que abriram espaço para um plano de melhorias. Com o plano aplicado de maneira prática, o projeto foi um sucesso pois resolveu uma boa quantidade de problemas em pouco tempo. Melhorando o rendimento e fluência do processo produtivo.

Com os dados foi possível quantificar uma redução significativa da frequência e intensidade dos defeitos e falhas. Foram analisados temperatura, matéria-prima e maquinário, que sofreu redução do número de falhas em 53%, 50% e 55,55% respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA E SILVA, J.B. Cerveja. In: **Tecnologia de Bebidas**. VENTURINI FILHO, W.G. ed. São Paulo: Edgard Blucher, p.347-380, 2005 SANTOS, S. P. Os Primórdios da Cerveja no Brasil. Ateliê Editorial. 1 ed, Cotia, 2003.
- AQUARONE, E.;BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U.A. **Biotecnologia Industrial**. São Paulo, Edgard Blucher Ltda, vol.4, 2001.
- AMUNDIN, A. SIPOC: **A Modeling notation to create easy to understand diagrams**. Primacy Scape Fev, 2013.
- BAMFORTH, C.W. **Brewing and brewing research: past, present and future**. Journal of the Science of Food and Agriculture,v.80,p.1371-1378, 2000.
- CEREDA, M.P. Cervejas. In AQUARONE, E., LIMA, U.A.;BORZANI, W. **Alimentos e Bebidas Produzidos por Fermentação**. São Paulo, Edgar Blucher, p.3-78, 1983.
- CHOO, C. W.. **A Organização do Conhecimento**. São Paulo: SENAC, 2003.
- CUNHA, V. L. S. **Melhoria contínua do sistema de controle da qualidade**. 2010. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Metalurgica e de Materiais) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- CASADO, R. S. G. et al **Proposta de aprimoramento de um processo produtivo com base no uso de recursos esquemáticos: Estudo de caso de um engenho** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35., 2015 Fortaleza.
- DRAGONE, G. ALMEIDA e SILVA, J.B. In: VENTURINI FILHO, W.G. **Bebidas Alcoólicas: Ciências e tecnologia**. V.1. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.
- GARCIA, M. D. **Uso integrado das técnicas de HACCP, CEP e FMEA**. 2000. 128p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2000.
- GOLDAMMER, Ted. **The Brewers' handbook**. Clifton, Va: KVP Publishers, 1999.
- HUGHES, G. **Cerveja Feita em Casa: Tudo sobre os ingredientes, os equipamentos e as técnicas para produzir a bebida em vários estilos**. Publifolha. 1 ed. São Paulo,2014.

KUNZE, W. **Technology Brewing and Malting**. 3. ed. Berlim VLB Berlin, 2004.

LUCAS, A. s. et al **Mapeamento de Processos: um estudo no ramo de serviços IJIE: Revista Ibero-americana de Engenharia Industrial**. Florianópolis Vol 7 2015.

LUCINDA, Marcos Antônio. **Qualidade: fundamentos e práticas para curso de graduação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

Manual de Referência - Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA). Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. Editado pelo Instituto da Qualidade Automotiva (IQA). 2008

MUNROE, J.H. Fermentation. In: HARDWICK, W.A. ed. **Handbook Brewing**. New York: Marcel Dekker, p.323-362, 1994a.

MUNROE, J.H. **Aging and Finishing**. In HARDWICK, W.A. ed. Handbook of Brewing. New York: Marcel Dekker, p.355-379, 1994b

MORADO, R. **Larousse da Cerveja. Larousse do Brasil**. 1ed, São Paulo, 2011.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento , 2019

MEGA, J.F; NEVES, E.; ANDRADE, C.J. **A produção da cerveja no Brasil**. Revista Citino, vol. 1, nº1, out-dez 2011

MORADO, RONALDO;. **Larousse da cerveja**. 1.ed. São Paulo: Larousse, 2009, 357p

REHBERGER, A.J.; LUTHER, G.E. **Brewing**. In: HARDWICK, W.A ed. Handbook of Brewing New York: Marcel Dekker, cap.12, p.247-322, 1995.

RUSSEL, I. Yeast. In: HARDWICK, W.A. ed. **Handbook of Brewing**. New York: Marcel Dekker, pac 10, p.169-186, 1994.

RIBEIRO, J. R; FERNANDES B. C.; ALMEIDA D. A. **A questão da agregação de valor no mapeamento de processo e no mapeamento de falhas** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 300., 2010, São Carlos Disponível em [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_113\)740\)16600.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_113)740)16600.pdf)

RODRIGUES, H. **Poka - Yoke**. 2010. Acesso em 06 de Novembro de 2010, disponível em <http://qualidadeonline.wordpress.com/2010/02/01/poka-yoke/>

STAMATIS, D. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. ASQC, Milwaukee: Quality Press. 2003.

SILVA, D. C. **Metodologia de análise e solução de problemas: curso de especialização em qualidade total e marketing**. Florianópolis: Fundação CERTI, 1995.

TOZZI, A. R. **Desenvolvimento de um programa de verificação de processo de lançamento de cabos com o auxílio da FMEA**. 2004., 84p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2004

TSCHOPE, E.C. **Microcervejarias e Cervejarias**. A História, a Arte e a Tecnologia. São Paulo: Editora Aden, 223p.,2001.

VENTURINI FILHO, W.G., CEREDA, M.P. Cerveja. In: ALMEIDA LIMA, U., AQUARONE, E ., BORZANI, W., SCHMIDELL, W. Biotecnologia Industrial. Volume 4. **Biotecnologia na Produção de Alimentos**. São Paulo: Edgar Bluncher, p.91-144, 2001.

SILVA, D. C. **Metodologia de análise e solução de problemas: curso de especialização em qualidade total e marketing**. Florianópolis: Fundação CERTI, 1995.

WONG, K.C.; WOO, K.Z.; WOO,K.H. **Ishikawa Diagram**. In. O'DONOHUE, W.; MARAGAKIS, A.(eds). Quality Improvement in Behavioral Health. Springer, p.119, 2016.