

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

BEATRIZ LEITE

**PROPOSTAS DE MELHORIAS NA SEGURANÇA DO ALIMENTO EM
MICROCERVEJARIAS: INTEGRANDO AS FERRAMENTAS QFD E FMEA**

TUPÃ – SP

2026

BEATRIZ LEITE

**PROPOSTAS DE MELHORIAS NA SEGURANÇA DO ALIMENTO EM
MICROCERVEJARIAS: INTEGRANDO AS FERRAMENTAS QFD E FMEA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Tupã, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento.

Linha de pesquisa: Competitividade de Sistemas Agroindustriais

Orientador: Prof. Dr^a. Andréa Rossi Scalco

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Guilherme Satolo

TUPÃ – SP

2026

L533p	Leite, Beatriz Propostas de melhorias na segurança do alimento em microcervejarias : Integrando as ferramentas QFD e FMEA / Beatriz Leite. -- Tupã, 2026 154 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã Orientadora: Andréa Rossi Scalco Coorientador: Eduardo Guilherme Satolo 1. Indústria Cervejeira. 2. Casa da Qualidade. 3. Conformidade de processo. 4. Contaminantes. I. Título.
-------	---

Impacto potencial desta pesquisa

A dissertação apresenta potencial de impacto científico, econômico e social, ao propor ações voltadas à melhoria da segurança dos alimentos em microcervejarias, contribuindo para o fortalecimento do setor, qualificação dos processos produtivos e a oferta de produtos mais seguros ao consumidor. Ademais, a metodologia proposta apresenta caráter replicável e adaptável às especificidades de cada unidade produtiva. Assim, esse estudo agrega valor a cadeia produtiva e contribui para alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável, especialmente o ODS 9 e 12.

The potential impact of this research

The dissertation presents potential scientific, economic, and social impact by proposing actions aimed at improving food safety in microbreweries, contributing to the strengthening of the sector, the qualification of production processes, and the provision of safer products to consumers. Furthermore, the proposed methodology is both replicable and adaptable to the specificities of each production unit. Thus, this study adds value to the production chain and contributes to the achievement of the Sustainable Development Goals, particularly SDGs 9 and 12.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PROPOSTAS DE MELHORIAS NA SEGURANÇA DO ALIMENTO EM MICROCERVEJARIAS: INTEGRANDO AS FERRAMENTAS QFD E FMEA

AUTORA: BEATRIZ LEITE

ORIENTADORA: ANDRÉA ROSSI SCALCOCO **ORIENTADOR: EDUARDO GUILHERME SATOLO**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências, pela Comissão Examinadora:


Prof.ª Dra. ANDRÉA ROSSI SCALCO (Participação Presencial)
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / UNESP / Câmpus de Tupã - FCE


Prof. Dr. GILBERTO MILLER DEVOS GANGA (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR - São Carlos/SP


Prof.ª Dr.ª ANGELA VACARO DE SOUZA (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia de Biossistemas / UNESP / Câmpus de Tupã - FCE

Tupã, 27 de fevereiro de 2026.

Dedico este trabalho a todas as mulheres que não tiveram a oportunidade de transformar suas vidas por meio do estudo. Mulheres que, muitas vezes, silenciaram seus sonhos em nome de obrigações impostas ou pela falta de acesso à educação. Que minha trajetória acadêmica possa honrar essas histórias e contribuir para abrir caminhos mais justos.

AGRADECIMENTOS

Aos profissionais e às microcervejarias que gentilmente colaboraram com este estudo, compartilhando conhecimento, experiências e informações essenciais para a execução desta pesquisa, meu sincero agradecimento. A contribuição técnica e a disponibilidade desses profissionais foram fundamentais para a construção e a validação dos resultados apresentados.

Aos orientadores, agradeço pela orientação, pelas contribuições técnicas e pelo apoio ao longo do desenvolvimento deste trabalho, que foram determinantes para o meu amadurecimento científico e metodológico da pesquisa. O processo de execução deste trabalho foi um período desafiador, mas tornou-se mais leve graças ao apoio e à colaboração de toda a equipe do PGAD.

Um agradecimento especial à professora Dr^a. Andréa Rossi Scalco e ao professor Dr. Eduardo Guilherme Satolo, que acreditaram neste trabalho desde o início, oferecendo incentivo, apoio e confiança mesmo diante dos desafios ao longo do percurso. Agradeço a dedicação, sensibilidade e assertividade que foram fundamentais para que este estudo se tornasse possível. Agradeço sinceramente aos professores membros da banca examinadora pelas valiosas contribuições, sugestões e questionamentos apresentados durante a qualificação e defesa deste trabalho. As observações concedidas pelo Dr. Gilberto Miller Devós Ganga, Dr. Eduardo Festozo Vicente e Dr^a. Angela Vacaro de Souza foram importantíssimas para direcionar e refinar essa dissertação.

Por fim, agradeço aos meus amigos e familiares, que contribuíram com incentivo e aconselhamento ao longo de todo o percurso, em especial à minha mãe e ao meu irmão. Agradeço também aos amigos que auxiliaram no contato com os profissionais mestre-cervejeiros, viabilizando a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“A segurança dos alimentos é essencial para alcançar sistemas agroalimentares mais eficientes, inclusivos, resilientes e sustentáveis, que forneçam alimentos saudáveis para todos e em todos os lugares.”
(QU Dongyu, Diretor-geral da FAO, 2025)

LEITE, B. **Propostas de melhorias na segurança do alimento em microcervejarias: Integrando as ferramentas QFD e FMEA.** 2026. 153 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Tupã, 2026.

RESUMO

A indústria cervejeira é um setor relevante para economia dos países, sendo a cerveja a terceira bebida consumida mundialmente. Além disso, essa bebida tem importância histórica e cultural. No cenário internacional, o Brasil representa o terceiro maior produtor e ocupa a posição de 17^a em relação ao consumo, demonstrando potencial de crescimento e um mercado ainda emergente. Ademais, o movimento *slow beer*, consumo de cerveja como um evento gastronômico, tem incentivado a expansão das microcervejarias, por buscarem a diferenciação da cerveja e inovações sensoriais. Durante sua fabricação pode ocorrer intercorrências que afetam a segurança do alimento, como contaminantes, falhas durante o processamento, ocasionando a perda total do produto ou a redução da confiabilidade frente ao consumidor. Essas falhas resultam no desperdício de recursos, bem como geram risco à saúde do consumidor. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma proposta de melhoria da qualidade do produto especificamente no que se refere a segurança do alimento em microcervejarias, por meio da integração das ferramentas QFD e FMEA. Em termos metodológicos, foram coletadas as percepções de especialistas sobre a segurança dos alimentos e os aspectos do processo de fabricação em microcervejarias. Essas percepções foram posteriormente convertidas em requisitos de qualidade de processo por meio da ferramenta QFD. Em seguida, a integração das ferramentas QFD e FMEA permitiu a associação dos requisitos de qualidade a possíveis falhas, possibilitando a proposição de ações preventivas direcionadas. Como resultado, os especialistas identificaram as etapas de fermentação, envase e CIP como aquelas com maiores riscos à segurança do alimento. Em relação às falhas, a maioria esteve associada à ausência de laboratórios químicos e microbiológicos, bem como controle empírico do processo (experiência prática, observação direta e em padronização). A integração do QFD e FMEA possibilitou identificar os requisitos com maior probabilidade de ocorrência, detecção e severidade em termos de qualidade, permitindo que as microcervejarias direcionem seus recursos de forma mais assertiva. Por fim, esta pesquisa contribuiu para o alcance dos objetivos do Desenvolvimento Sustentável 9 e 12, que priorizam a industrialização sustentável e o uso responsável de recursos, ao propor ações capazes de mitigar falhas e aprimorar a qualidade dos processos.

Palavras-chave: Indústria Cervejeira. Casa da qualidade. Conformidade de processo. Contaminantes.

LEITE, B. **Proposals for improvements in food safety in microbreweries: Integrating QFD and FMEA tools.** 2026. 153 p. Dissertação (Agronegócio e Desenvolvimento) – School of Sciences and Engineering, São Paulo State University, Tupã, 2026.

ABSTRACT

The brewing industry is a relevant sector for national economies, with beer being the third most consumed beverage worldwide. In addition, this beverage has historical and cultural importance. In the international scenario, Brazil represents the third largest producer and occupies the 17th position in terms of consumption, demonstrating growth potential and a still emerging market. Furthermore, the slow beer movement, beer consumption as a gastronomic event, has encouraged the expansion of microbreweries, as they seek differentiation of beer and sensory innovations. During its manufacturing, incidents may occur that affect food safety, such as contaminants and failures during processing, causing total product loss or a reduction in consumer confidence. These failures result in the waste of resources, as well as generate risks to consumer health. In view of this, the objective of this research was to develop a proposal to improve product quality, specifically with regard to food safety in microbreweries, through the integration of the QFD and FMEA tools. In methodological terms, experts' perceptions regarding food safety and aspects of the manufacturing process in microbreweries were collected. These perceptions were subsequently converted into process quality requirements through the QFD tool. Next, the integration of the QFD and FMEA tools allowed the association of quality requirements with possible failures, enabling the proposal of targeted preventive actions. As a result, experts identified the fermentation, packaging, and CIP stages as those with the greatest risks to food safety. Regarding failures, most were associated with the absence of chemical and microbiological laboratories, as well as empirical process control. The integration of QFD and FMEA made it possible to identify the requirements with the highest probability of occurrence, detection, and severity in terms of quality, enabling microbreweries to direct their resources more assertively. Finally, this research contributed to the achievement of Sustainable Development Goals 9 and 12, which prioritize sustainable industrialization and responsible use of resources, by proposing actions capable of mitigating failures and improving process quality.

Keywords: Brewing Industry. House of Quality. Process Compliance. Contaminants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da dissertação.	23
Figura 2 - Estrutura metodológica dos artigos da dissertação.	24
Figura 3 - Esquema gráfico do processo padrão de fabricação da cerveja.	36
Figura 4 - Tipos de moinhos para moagem do malte: a) martelo; b) rolo e c) disco	37
Figura 5 - Barril modelo Sankey: a) Partes do barril e b) Detalhamento do gargalo	42
Figura 6 - Casa da qualidade aplicada ao QFD	45
Figura 7 - Etapas de aplicação da ferramenta FMEA.	47
Figura 8 - Fontes de contaminações química, física e biológica.	58
Figura 9 - Obras base para formulação do questionário e entrevista submetida aos especialistas.	61
Figura 10 - Descrição das etapas para análise de conteúdo pela abordagem indutiva.	62
Figura 11 - Eras da qualidade.	88
Figura 12 - Sequência da construção do QFD aplicado ao problema de pesquisa.	95
Figura 13 - Práticas de análises microbiológicas nas microcervejarias que os especialistas atuam	98
Figura 14 - Construção da matriz QFD para a etapa de fermentação.	105
Figura 15 - Construção da matriz QFD para a etapa de envase.	108
Figura 16 - Construção da matriz QFD para a etapa de CIP higienização.	109
Figura 17 - Priorização de requisitos de qualidade em acordo com a ferramenta QFD.	112
Figura 18 - Matriz simplificada do QFD.	128
Figura 19 - Etapas do FMEA.	129
Figura 20 - Diagrama de Pareto aplicado aos requisitos de qualidade.	135
Figura 21 - Requisitos de qualidade, indicação de etapa de processo e impacto.	136
Figura 22 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação.	138
Figura 23 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação (continuação).	139
Figura 24 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação (continuação).	140
Figura 25 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação (continuação).	141
Figura 26 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação (continuação).	142

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evidências históricas da cerveja ao redor do mundo.	29
Quadro 2 - Grau de severidade de falhas.	47
Quadro 3 - Grau de ocorrência da falha.	48
Quadro 4 - Probabilidade de detecção do risco.	48
Quadro 5 - Caracterização da metodologia de pesquisa.	60
Quadro 6 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre o insumo água.	63
Quadro 7 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre o insumo malte.	64
Quadro 8 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre o insumo levedura.	65
Quadro 9 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de moagem.	66
Quadro 10 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de mostura.	67
Quadro 11 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de filtração.	68
Quadro 12 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de fervura.	69
Quadro 13 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de resfriamento.	70
Quadro 14 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de Fermentação.	72
Quadro 15 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de Maturação.	71
Quadro 16 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de envase.	73
Quadro 17 - Etapas do processo cervejeiro e seus respectivos equipamentos, operações e pontos críticos de controle.	75
Quadro 18 - Critérios de especialistas participantes.	91
Quadro 19 - Classificação dos grupos de variáveis observadas e seus propósitos.	92
Quadro 20 - Pesos de cada grau de importância.	93
Quadro 21 - Símbolos da matriz de correlação.	93
Quadro 22 - Relação e pesos atribuídos a matriz de relacionamento.	94
Quadro 23 - Análise do nível de automação nas unidades em que os entrevistados atuam.	97

Quadro 24 - Principais parâmetros controlados pelos entrevistados durante o processo de produção cervejeira.....	99
Quadro 25 - Descrição dos riscos associados as etapas de fermentação, CIP e envase.....	100
Quadro 26 - Grau de severidade de falhas.	133
Quadro 27 - Grau de ocorrência da falha.	133
Quadro 28 - Probabilidade de detecção do risco.....	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das definições de microcervejaria com base na capacidade de produção anual nos EUA, Reino Unido, Europa e Brasil	31
Tabela 2 - Caracterização do perfil de experiência da unidade fabril que o entrevistado possui	96

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO CENTRAL DA PESQUISA.....	17
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO E SINOPSE DOS PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS USADOS.....	22
REFERÊNCIAS	26
2 REFERENCIAL TEÓRICO BASE	28
2.1 História da cerveja.....	28
2.2 Caracterização da indústria cervejeira e as cervejarias artesanais.....	30
2.3 Aspectos gerais de fabricação da cerveja	34
2.3.1 Ingredientes.....	34
2.3.2 Etapas do processo de fabricação	35
2.4 <i>Quality Function Deployment</i> (QFD).....	43
2.5 <i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (FMEA).....	46
2.6 Integração QFD e FMEA	49
REFERÊNCIAS	51
3 DIRETRIZES PARA A SEGURANÇA DO ALIMENTO NA PRODUÇÃO DE CERVEJA	
55	
3.1 INTRODUÇÃO.....	55
3.2 REVISÃO TEÓRICA	58
3.2.1 Conceito da Segurança dos Alimentos	58
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	60
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.4.1 Análise de conteúdo da literatura base	62
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS	78
4 PRIORIZAÇÃO DE REQUISITOS DE QUALIDADE PARA SEGURANÇA DO ALIMENTO EM MICROCERVEJARIA POR MEIO DA FERRAMENTA QFD.....	83
4.1 INTRODUÇÃO.....	83
4.2 REVISÃO DE LITERATURA	86
4.2.1. Cenário da segurança dos alimentos.....	86
4.2.2 Introdução da ferramenta QFD no setor alimentício	88
4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	89

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
4.4.1 Percepção de especialistas do microcervejarias	95
4.4.2 Desdobramento da função qualidade (QFD) aplicado a requisitos de qualidade.....	103
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
REFERÊNCIAS	115
APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA APLICADO A MICROCERVEJARIA....	121
APÊNDICE B – PROTOCOLO DE ENTREVISTA.....	122
5 INTEGRAÇÃO DAS FERRAMENTAS QFD E FMEA APLICADA AO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CERVEJA EM MICROCERVEJARIAS	123
5.1 INTRODUÇÃO.....	123
5.2 REVISÃO DE LITERATURA	125
5.2.1 Gestão de qualidade e a segurança dos alimentos	125
5.2.2. Abordagens integradas das ferramentas QFD e FMEA na indústria.....	126
5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	130
5.3.1 Diagrama de Pareto.....	131
5.3.2 Integração do QFD e FMEA.....	131
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	134
5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
REFERÊNCIAS	146
APÊNDICE C – ESTRUTURA FMEA	151
6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	152

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresentou o contexto que fundamentou o desenvolvimento desta pesquisa, abordando inicialmente a relevância histórica, econômica e cultural da cerveja no cenário mundial e nacional. Em seguida, discutiu a expansão do setor cervejeiro, com destaque para o crescimento das microcervejarias e para os desafios relacionados à gestão da qualidade e à segurança dos alimentos nesse segmento. Também foram apresentados aspectos regulatórios, riscos associados ao processo produtivo e casos que evidenciam a importância do controle de qualidade na produção de bebidas. Por fim, foram introduzidas as ferramentas de gestão da qualidade utilizadas neste estudo, QFD (*Quality Function Deployment*) e FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), bem como a problemática da pesquisa, os objetivos propostos e a estrutura da dissertação.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO CENTRAL DA PESQUISA

A cerveja ocupa a terceira posição entre as bebidas mais populares do mundo, ficando atrás apenas da água e do chá. Entre as bebidas alcoólicas, é a mais consumida mundialmente. Os primeiros registros de sua produção datam de aproximadamente 5000 a.C., com documentos egípcios que descrevem seu processo de fabricação (Melewar; Skinner, 2018; Archana *et al.*, 2024). Há também indícios de sua produção na China por volta de 7000 A.C, assim como de sua introdução tardia no Brasil, no século XVI, por imigrantes holandeses. Assim, a obtenção da cerveja com suas características atuais foi um processo que se desenvolveu ao longo de milênios, influenciado pelo aperfeiçoamento das técnicas por diferentes civilizações (Bianchi; Schuina, 2021).

Apesar de ser um produto tradicional, a cerveja não se limita a um contexto histórico, figurando-se também como um fenômeno econômico, cultural e tecnológico, que envolve cadeias produtivas complexas, exigindo padronização, controle e inovação (Farber; Barth, 2019). Segundo Petticrew *et al.* (2017), a popularidade da bebida em diversos países decorre de fatores sociais, psicológicos, comportamentais, econômicos, legais e ambientais. Em termos de produção, no período de 2024/2025 o Brasil figurou como o terceiro maior produtor de cerveja, ficando atrás apenas da China e dos EUA, indicando um mercado emergente e competitivo, com crescente valorização de produtos diferenciados (BarthHaas, 2025).

Nacionalmente, o ganho de notoriedade dessa bebida foi acompanhado pelo desenvolvimento de técnicas aprimoradas de produção e elaboração de legislações para regulamentação, garantindo sua padronização, qualidade e segurança (Bianchi; Schuina, 2021). Essa expansão favoreceu o crescimento das microcervejarias que se destacam pela produção artesanal e pela busca de identidade própria. Nesse cenário, destaca-se um contexto favorável às microcervejarias: o movimento *slow beer*. Esse movimento, também proeminente no Brasil, possui uma filosofia vinculada ao resgate da história, da cultura e do prazer de se fazer e consumir boas cervejas, associando-a à gastronomia de qualidade. Logo, muitas microcervejarias têm buscado esse viés de diferenciação do produto como mecanismo de posicionamento no mercado e estratégia de valorização (Vasconcelos *et al.*, 2011).

Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2024) em 2016, houve um aumento relativo de 48,5% de estabelecimentos cervejeiros, depois uma queda a partir da pandemia covid-19, e um aumento reduzido a cada ano, no qual o ano de 2023 teve um crescimento de 6,8% no aumento do número de cervejarias. Além disso, a maioria das cervejarias se encontram respectivamente nos estados de: São Paulo (400 unidades), Rio Grande do Sul (335), Minas Gerais (235), Santa Catarina (225), Paraná (171) e demais estados.

Contudo, o aumento do número de estabelecimentos nem sempre tem sido acompanhado por avanços equivalentes na gestão de qualidade, como consequência, pode gerar danos tanto na saúde do consumidor quanto na credibilidade do setor. Ainda que o Brasil possua legislações específicas que regulamentam a padronização e a inspeção de bebidas (Brasil, 2019), grande parte das pequenas cervejarias enfrenta dificuldades na adequação às exigências sanitárias, o que pode comprometer tanto a qualidade sensorial quanto a inocuidade do produto final.

Historicamente, a preocupação com a padronização não é um assunto recente. Uma das primeiras leis internacionais relacionadas à cerveja foi a Lei da pureza da cerveja promulgada na Alemanha em 1516, (*Reinheitsgebot*), que estabelecia a utilização exclusiva de malte, água, lúpulo, pois na época ainda não se conhecia a atividade das leveduras (Oliver *et al.*, 2020). Atualmente, segundo Brasil (2019), o decreto nº 9.902 de 8 de julho de 2019 que alterou o decreto nº 6.871/2009, regulamentado pela Lei nº 8.918/1994 sobre a disposição da padronização, classificação, registro, inspeção, produção e fiscalização de bebidas, a definição de cerveja é:

Art. 36. Cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro.

§ 1º A cerveja poderá ser adicionada de ingrediente de origem vegetal, de ingrediente de origem animal, de coadjuvante de tecnologia e de aditivo a serem regulamentados em atos específicos.

Apesar da existência de normas e diretrizes voltadas para o controle de qualidade, sua implementação prática em microcervejarias ainda constitui um desafio. Essas empresas, embora apresentem grande potencial econômico e social, são em sua maioria pequenas e microempresas (PMEs), com recursos humanos e financeiros limitados (Embry, 2018; Kohls *et al.*, 2021). Essa limitação se reflete em dificuldades de um controle mais rígido em exigências técnicas. Assim, mesmo com um processo historicamente consolidado, as microcervejarias enfrentam desafios como escassez de mão de obra especializada, ausência de laboratórios próprios para análises químicas e microbiológicas, falta de certificações de qualidade, elevado custo de investimento inicial, além de entraves legais e do alto preço dos insumos (Kohls *et al.*, 2021).

Esses desafios figuram um paradoxo: de um lado, há um mercado consumidor cada vez mais exigente quanto à qualidade e à segurança dos alimentos; e de outro, observa-se escassez de recursos técnico, financeiro e institucional para atender essas demandas. Somados a isso, recentemente, tem surgido diversos escândalos sobre a segurança dos alimentos que podem gerar estigmas e comprometer a confiança do consumidor, impactando diretamente na imagem das cervejas artesanais.

Um exemplo emblemático é o caso da Cervejaria Backer, em Minas Gerais, onde uma grave falha no setor produtivo resultou em um episódio de contaminação que provocou a retração inicial do consumo em todo mercado. Esse caso resultou em mortes e intoxicações graves devido a presença de dietilenoglicol em lotes de cerveja, demonstrando as consequências de falhas no monitoramento da segurança do alimento (MAPA, 2020). Em Defesa a categoria, associação Brasileira da Cerveja Artesanal (Abracerva), apresentou análises realizadas pelo Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em mais de 100 rótulos de cervejas produzidas no estado, comprovando que não se tratava de um problema sistêmico na produção de cervejas artesanais, mas sim de um caso isolado (Abracerva, 2020).

Mais recentemente, em 2024, na Coreia do Sul, houve uma chamada de recolhimento (*recall*) de 1,24 milhões de latas de cervejas devido à presença de contaminação microbiológica, relacionada a falhas na higienização da linha produtiva. Embora não tenha ocorrido mortes ou agravamentos a saúde, houve uma perda de credibilidade da empresa frente aos consumidores (Eun-Jee, 2024). Pascari *et al* (2022) também menciona que a cerveja pode ser sujeita à contaminação por micotoxinas, provenientes de matérias-primas infectadas, como cevada, malte, lúpulo ou adjuntos. Além disso, existe outras preocupações relacionadas com a

qualidade, como os perigos agudos e crônicos de ordem biológica, química ou física que podem tornar os alimentos prejudiciais à saúde do consumidor, como instabilidade de aditivos, resíduos de medicamentos ou pesticidas, contaminação microbiológica, toxinas alimentares, adulteração, falsificação e contaminantes físicos (Fufa, 2024).

Há diversos fatores que podem impactar na segurança do alimento, contudo as mais conhecidas são: limpeza, contaminação cruzada, resfriamento/refrigeração e cozimento/preparação. Assim como, há também outros fatores como infraestrutura inadequada para regulamentação e fiscalização, avaliação técnica e regulatória insuficiente, dificuldade nas inspeções e outros (Fufa, 2024).

Diante desse cenário, as pequenas cervejarias enfrentam diversos desafios que afetam sua operação e crescimento. Por outro lado, há ferramentas capazes de tornar o processo de fabricação mais eficiente, como o QFD (*Quality Function Deployment* ou desdobramento da função qualidade) e a FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* ou *Análise do modo e efeito falha*). A ferramenta desdobramento da função qualidade (QFD) pode ser destinada para priorização de necessidades essenciais que produto deve possuir na forma de requisitos de qualidade. Essa ferramenta traduz os requisitos do cliente na estrutura da “casa da qualidade”, uma matriz com requisitos mensuráveis que se desdobra em requisitos para o planejamento de um produto, planejamento dos componentes, planejamento do processo ou planejamento da produção (Miguel, 2001).

O FMEA é um método analítico para identificar e documentar possíveis falhas, de maneira a eliminá-las ou reduzir sua ocorrência. Usualmente, concentra-se nos modos de falhas potenciais relacionados a funções do sistema, decorrentes da deficiência de projetos, abrangendo interações entre os componentes do sistema e outros sistemas. Com isso, as falhas potenciais são identificadas bem como suas causas, priorizadas e controles para prevenção são atribuídos (Miguel, 2001).

A partir do QFD, é possível realizar uma integração com o FMEA, uma vez que as exigências priorizadas pelo cliente podem ser transformadas em especificações de engenharia que são utilizadas como entrada para a FMEA. Assim, o efeito de cada falha é relacionado com a correspondente especificação de engenharia, permitindo obter uma especificação otimizada de confiabilidade (Frank *et al.*, 2014).

Segundo Frank *et al.* (2014), a integração entre FMEA e QFD permite melhorias no produto ou processo, principalmente, na consolidação da garantia de qualidade.

Diante do exposto, essa pesquisa teve como problemática: como promover a melhoria da qualidade do produto, especificamente no que se refere a segurança do alimento, no processo produtivo de microcervejarias?

Decorrente da questão de pesquisa supracitada, essa dissertação apresentou como objetivo geral desenvolver uma proposta de melhoria da qualidade do produto, especificamente no que se refere a segurança do produto, no processo produtivo de microcervejarias por meio da integração das ferramentas QFD e FMEA.

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- (i) Investigar quais são as principais diretrizes para segurança do alimento na produção de cerveja;
- (ii) Converter a percepção dos especialistas a respeito da segurança da cerveja no processo de produção em microcervejarias, desdobrando-os em requisitos de qualidade para o processo produtivo da cerveja pelo QFD.
- (iii) Realizar a integração do QFD e FMEA do processo produtivo para microcervejarias considerando os requisitos de qualidade de produção da cerveja a fim de promover a melhoria na segurança do produto.

Por fim, no intuito de contribuir para o avanço das metas dos objetivos do desenvolvimento sustentável para 2030, esse trabalho corroborou para o alcance dos objetivos 9 e 12 do desenvolvimento sustentável (ODS) apresentados pela organização das nações unidas (ONU) (Brasil, 2025), aos quais buscam:

ODS 9: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação, em específico a meta 2, que versa sobre o avanço dessas infraestruturas para aumentar significativamente a participação da indústria no setor de emprego e no PIB;

ODS 12: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis, integrando-se em mais de uma meta, especialmente a meta 3 sobre a redução de perdas e desperdícios ao longo da cadeia de produção e abastecimento e a 8a sobre o fortalecimento de capacidade científica e tecnológica para mudar padrões mais sustentáveis de produção e consumo (Brasil, 2025).

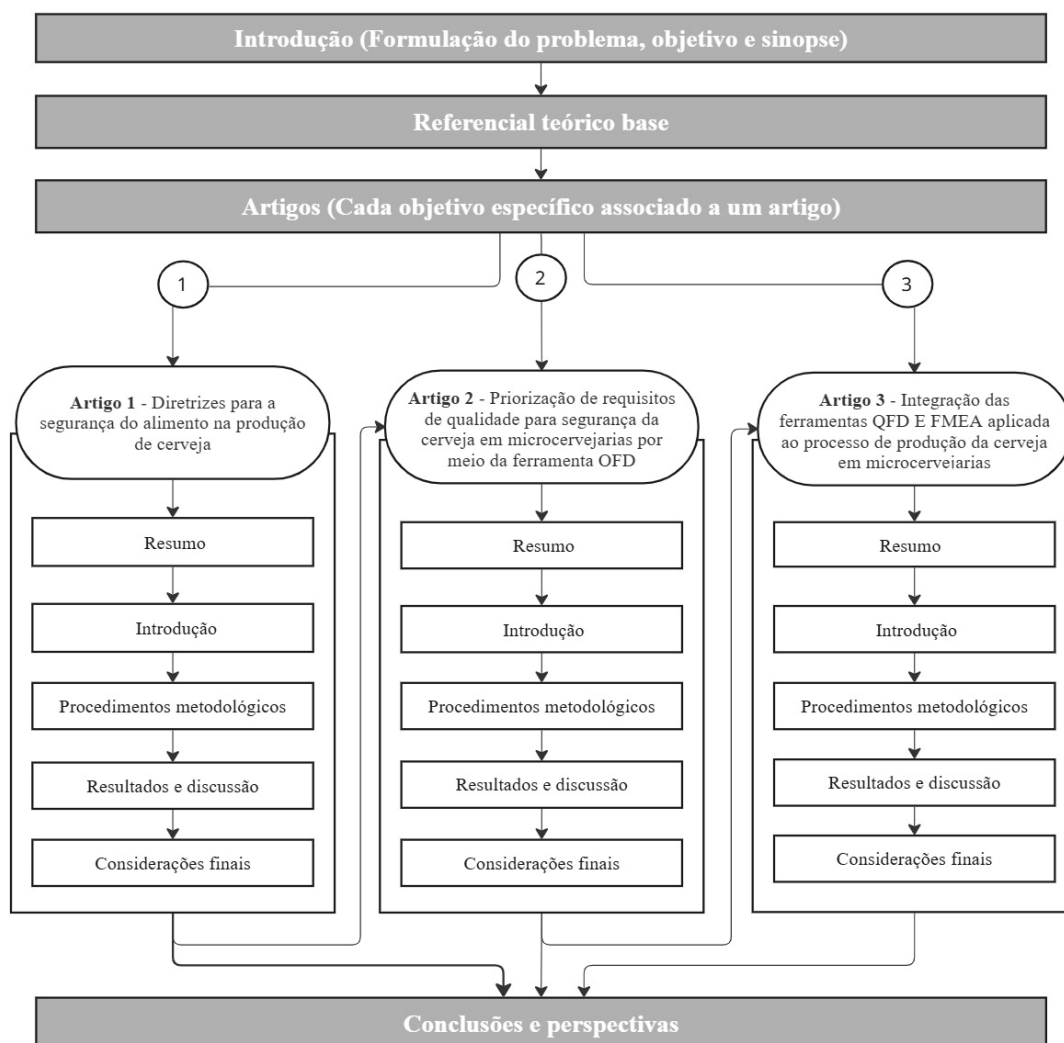
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO E SINOPSE DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS USADOS

A pesquisa teve como propósito investigar e propor estratégias para fortalecer a segurança dos alimentos no contexto das microcervejarias, a partir da análise dos processos produtivos e da aplicação de ferramentas da qualidade. Dessa forma, desenvolveu-se uma proposta de melhoria da qualidade do produto, especificamente no que se refere a segurança do produto no processo produtivo de microcervejarias por meio da integração das ferramentas QFD e FMEA. A dissertação foi desenvolvida e organizada na forma de artigos científicos, antecidos por um referencial teórico.

Assim essa dissertação iniciou-se com uma introdução, juntamente com a formulação do problema e objetivo central da pesquisa. Em seguida, foi apresentado um referencial teórico básico para contextualização da temática de pesquisa. Posteriormente, o núcleo da pesquisa foi organizado em artigos independentes, porém complementares:

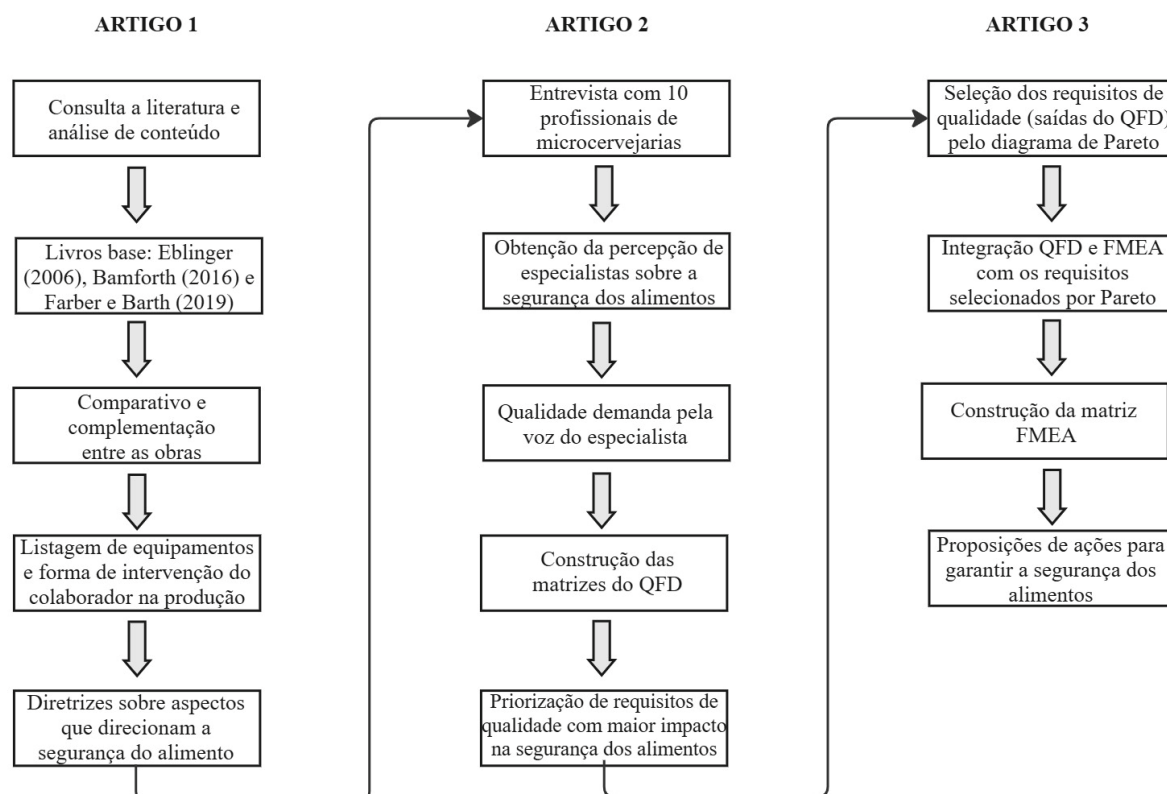
- O Artigo 1 abordou as diretrizes para a segurança do alimento na produção de cerveja, a partir da literatura;
- O Artigo 2 tratou da conversão da percepção dos especialistas em requisitos do cliente e realizou seu desdobramento em requisitos de qualidade.
- O Artigo 3 visou a integração das ferramentas QFD e FMEA aplicada ao processo produtivo da cerveja em microcervejarias, com foco na segurança do alimento.

Por último, ocorreu o fechamento da pesquisa, no qual foram apresentadas as conclusões gerais, perspectivas do estudo, limitações e contribuições sociais.

Figura 1 - Estrutura da dissertação

Fonte: Elaborada pela autora (2026)

Dessa forma, os três artigos seguem o fluxograma metodológico apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura metodológica dos artigos da dissertação

Fonte: Elaborada pela autora (2026)

No artigo 1 foi realizada a fundamentação inicial do estudo, iniciando-se com a consulta à literatura, conduzida pela análise de conteúdo de obras clássicas do setor cervejeiro, sendo estas: Eblinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019). Esse artigo permitiu entender diretrizes do processo de cerveja que norteiam a segurança dos alimentos pautado na teoria, bem como a listagem de equipamentos e ações que envolvem intervenção humana. Na análise de conteúdo, também foram verificados os principais riscos associados à segurança da cerveja nas etapas de processo, como contaminações químicas, físicas ou microbiológicas.

No artigo 2, as diretrizes teóricas do processo de produção da cerveja (artigo 1) orientaram a construção de um roteiro de entrevista para aplicação em uma microcervejaria consolidada. Esse roteiro de entrevista foi aplicado durante uma visita técnica, permitindo, posteriormente, seu ajuste conforme a realidade operacional do setor. Em seguida, esse roteiro de entrevista foi submetido a 10 profissionais de microcervejarias, possibilitando a obtenção da percepção dos especialistas sobre a segurança dos alimentos no processo produtivo da cerveja. A partir disso, a qualidade foi definida a partir da voz dos especialistas, seguida da construção das matrizes do QFD (*Quality Function Deployment*). As percepções dos requisitos do cliente

(especialistas) levantadas foram, então, convertidas em requisitos de qualidade no processo com uso da ferramenta QFD, possibilitando a priorização de acordo com a determinação da importância absoluta de cada requisito. Esse artigo trouxe alguns conceitos importantes para o entendimento dos artigos, sendo eles: percepção dos especialistas, requisitos do cliente e requisitos de qualidade. De tal forma que: percepções dos especialistas correspondem à forma como os especialistas expressam suas opiniões e experiências durante as entrevistas, geralmente de maneira não estruturada, como por exemplo, “Temos preocupação com as normativas do MAPA”. Já os requisitos dos clientes representam a conversão dessas percepções em necessidades mais amplas e estruturadas, que expressam o que o processo deve garantir, como por exemplo, “Garantia de conformidade com a legislação vigente”. Enquanto, os requisitos de qualidade se referem às ações, etapas, decisões ou respostas técnicas do processo produtivo necessárias para atender aos requisitos dos clientes.

No artigo 3, os requisitos de qualidade previamente priorizados foram selecionados com base no princípio de Pareto, de modo que 70% dos requisitos acumulados foram selecionados e considerados responsáveis pela maior parte do impacto na qualidade. Assim, esses requisitos foram utilizados como entrada para análise de riscos, ou falhas, por meio da ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*). Dessa forma, foram identificados os modos de falha com base na consulta aos especialistas, bem como seus efeitos e causas potenciais, conforme a literatura. Em seguida, foi realizada a construção da matriz FMEA, com a avaliação dos critérios de severidade, ocorrência e detecção por um especialista. Por fim, a etapa se encerra com o planejamento de ações voltadas à garantia da segurança dos alimentos.

REFERÊNCIAS

- ABRACERVA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERVEJA ARTESANAL. **Cinco conclusões da reunião extraordinária da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva Cervejeira sobre o caso Backer**. 2020. Disponível em: <<https://abracerva.com.br/2020/02/06/cinco-conclusoes-da-reuniao-extraordinaria-da-camara-setorial-da-cadeia-produtiva-cervejeira-sobre-o-caso-backer/>> Acesso em: 02 de nov. 2025
- ARCHANA, G.; GAURAV, S.; SHRUTI, M.; SARITA, M.; ANURADHA, S.; KUMAR, D.M. Beer Production by fermentation process: A review. 2024. **Journal of microbiology, Biotechnology and Food sciences**, v. 13, n. 4, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9532>
- BARTHHAAS. Report 2024/2025: **Brewing industry in transition worldwide**. 2025. Disponível em: < https://www.barthhaas.com/fileadmin/user_upload/PR_Top40-Breweries_2025.pdf>. Acesso em 28 set. 2025
- BAMFORTH, C.W. **Brewing Materials and Processes: a Practical Approach to Beer Excellence**. 1 ed. California: Academic Press Elsevier, 2016.
- BIANCHI, V. L.; SCHUINA, G. L. Cervejas. In: ALTERTHUM, F.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; MORAES, I. O. **Biotecnologia Industrial: Biotecnologia na produção de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2021. p. 101-132.
- BRASIL. Decreto nº 9.902 de 8 de julho de 2019. 2019. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9902.htm#art1>. Acesso em 26 de mar. 2025
- BRASIL. Objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS). 2025. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em 26 de mar. 2025
- EBLINGER, M. **Handbook of Brewing: Process, Technology, Markets**. 1 ed. Freiberga: Wiley – VCH, 2006.
- EMBRY, E. Green Beer: why small to medium sized enterprises adopt sustainable practices. **Academy of Management Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 17596-17623, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2018.105>
- EUN-JEE, P. Hitejinro recalls 1.24 million beers after ‘mucus-like substance’ found in cans. 2024. Disponível em: < <https://koreajoongangdaily.joins.com/news/2024-05-17/business/industry/Hitejinro-recalls-124-million-beers-after-mucuslike-substance-found-in-cans/2049279>>. Acesso em 02 nov. 2025
- FARBER, M.; BARTH, R. Brewing quality overview. In: FARBER, M.; BARTH, R. **Mastering Brewing Science Quality and Production**. 1 ed. Hoboken: Wiley, 2019. p.5-34.
- FRANK, AL. G.; PEDRINI, D. C.; ECHEVESTE, M. E.; RIBEIRO, J. L. D.. Integração do QFD e do FMEA por meio de uma sistemática para tomada de decisões no processo de desenvolvimento de produtos. **Production**, v. 24, n. 2, p. 295-310, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000036>
- FUFA, D.D. Food Safety. In: ARSHAD, M.; KHALID, W. **Health Risks of Food Additives**. 1 ed. London: IntechOpen, 2024, p.2-10.

KOHL, M.; REHLING JUNIOR, M. F. S.; SCHWANZ, D.; PEREIRA, A. S. Cervejarias artesanais: desafios, tendências e impactos frente a pandemia do covid-19. **Prociências**, v. 4, n. 1, p.1-18, 2021. <https://doi.org/10.15210/prociencias.v4i1.21372>

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Relatório de ações: Cervejaria Backer. 2020. Disponível em: < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-divulga-relatorio-final-das-acoes-na-cervejaria-backer/relatriodeaes_cervejariabacker.pdf/view>. Acesso em 02 de nov. 2025

MELEWAR, T. C.; SKINNER, H. Territorial brand management: Beer, authenticity, and sense of place. **Journal of business research**, v. 1, n. 116, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.03.038>

MIGUEL, P.A.C. QFD (*Quality Function Deployment*). In: MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: Enfoques e ferramentas**. São Paulo: Artliber. 2001, p. 188-204.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). Anuário da cerveja 2024: Ano de referência 2023). Brasília: MAPA/SDA, 2024. Disponível em: < <https://sindicerv.com.br/2025/wp-content/uploads/2024/05/Anuario-da-cerveja-2024-referencia-2023-MAPA-versao-web.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2025

OLIVER, G. *et al.* **O guia Oxford da Cerveja**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2020.

PASCARI, X.; RAMOS, A.; MARÍN, S.; SANCHÍS, V. Mycotoxins and beer: Impact of beer production process on mycotoxin contamination – A review. **Food research international**, v. 103, p.121-129, 2018.

PETTICREW, M.; SHEMILT, I.; LORENC, T.; MARTEAU, T. M.; MELENDEZ-TORRES, G. J.; O'MARA-EVES, A.; STAUTZ, K.; THOMAS, J. Alcohol advertising and public health: systems perspectives versus narrow perspectives. **Journal Epidemiol Community Health**, v. 3, n. 71, p. 308-312, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1136/jech-2016-207644>

VASCONCELOS, M. C. L.; JUDICE, V. M. M.; NEVES, J. T. R. Inovação na fabricação de cervejas especiais na região de Belo Horizonte. **Perspectivas em ciência da informação**, v. 16, n. 4, 2011.

2 REFERENCIAL TEÓRICO BASE

Este capítulo estabeleceu a base conceitual que orientou este estudo. Inicialmente, apresentou-se o panorama histórico, econômico e regulatório do mercado das cervejarias, com ênfase na consolidação dessa indústria, na ascensão das cervejarias artesanais e na inserção das micro e pequenas empresas nesse contexto, destacando seus principais desafios. Em seguida, o processo de fabricação da cerveja e seus ingredientes básicos são descritos, mencionando-se a função de cada etapa e suas principais características. Na sequência, relacionaram-se as ferramentas de qualidade e gestão, denominadas como QFD (Desdobramento da função qualidade) e FMEA (Análise dos modos de falhas e seus efeitos), como estratégia para identificar etapas mais vulneráveis conforme a percepção do consumidor (ou um especialista) e prevenir potenciais falhas, garantindo uma tomada de decisão e direcionamento de recursos de maneira mais assertiva. Por fim, apresentaram-se casos de aplicação integrada dessas ferramentas.

2.1 História da cerveja

Desde os primórdios, as bebidas fermentadas estiveram em diferentes e significativos momentos na vida humana. Ao longo da história, diversos tipos de bebidas alcoólicas, produzidas de uma ampla variedade de matérias-primas (frutas, cana-de-açúcar, mel, cereais, arroz, trigo, centeio, milho e outros) foram rotuladas como “cerveja”, especialmente em manuscritos antigos. No entanto, muitas delas seriam atualmente classificadas como “vinho” ou “destilado” (Nelson, 2005). Além das ambiguidades na nomenclatura, outro desafio para a compreensão da história da cerveja está relacionado com a escassez e a confiabilidade das fontes disponíveis. Segundo Meussdoerffer (2009) a maioria do conhecimento sobre a produção cervejeira antiga baseia-se em evidências arqueológicas ou documentos escritos, como resíduos de grãos ou a presença de oxalato. Embora esses indícios sejam considerados válidos, não podem ser tomados como provas definitivas dada a complexidade de interpretações.

Historicamente, a cerveja foi vista como um alimento valioso, constantemente aprimorado e adaptado às necessidades humanas ao longo dos anos. Entre os motivos para seu consumo e produção, destaca-se seu uso como uma alternativa mais segura em contextos de

escassez de água potável, uma vez que apresentava um baixo teor alcoólico em junção da presença de dióxido de carbono e baixo pH, que dificultavam a proliferação de microrganismos patogênicos (Nelson, 2005).

Há possibilidade de que a cerveja não tenha sido propriamente “criada”, mas sim resultado da reprodução de processos que ocorriam espontaneamente na natureza. Isso se deve ao fato que leveduras, principais responsáveis pela conversão dos açúcares em álcool, estão amplamente disponíveis no ambiente, assim como também há uma grande quantidade de açúcares no ecossistema global (DeSalle; Tattersall, 2019).

Segundo Nelson (2005), existem evidências da produção de cerveja ao redor do mundo, dificultando determinar ao certo se a técnica foi desenvolvida em um único local e, depois, disseminada entre povos e continentes, ou se o desenvolvimento ocorreu de forma independente em múltiplas regiões. Apesar das divergências, a história da cerveja pode ser sistematizada conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Evidências históricas da cerveja ao redor do mundo

Período	Descrição das evidências históricas
7.000 a.C	Na China, foi encontrada a evidência mais antiga de uma bebida fermentada. Análises químicas de resíduos orgânicos absorvidos em jarros cerâmicos revelaram a produção de uma bebida fermentada à base de arroz, mel e frutas.
6.000 a.C	Na Mesopotâmia, escavações arqueológicas revelaram uma das evidências mais antigas da fabricação de cerveja: uma receita de cerveja escrita em uma tábua de argila.
3.500 a.C	Na cidade suméria de Uruk, há indícios de que a cerveja e os grãos eram utilizados como moeda de troca para obter outros recursos mais escassos, como metais, madeira e pedras preciosas.
3.500 a.C 3.000 a.C	No Egito, a cerveja tornou-se popular em todas as classes sociais, sendo consumida tanto por homens quanto por mulheres. No auge do império Egípcio, era a bebida preferida em ocasiões festivas e nas refeições cotidianas.
3.000 a.C	Na Europa, há indícios da presença da cerveja no território; no entanto, não se sabe ao certo se o processo fermentativo foi descoberto de forma independente pelos europeus ou se foi uma tecnologia absorvida do contato com o Oriente.
1.800 a.C	Na cultura mesopotâmica, textos literários em forma de poema, como “Hino a Ninkasi”, descrevem com bastante precisão um processo semelhante ao preparado da cerveja, especificando ingredientes básicos.
500 a.C	Na cultura mesopotâmica, textos literários em forma de poema, como “Hino a Ninkasi”, descrevem com bastante precisão um processo semelhante ao preparado da cerveja, especificando ingredientes básicos.
643 d.C	Na Irlanda, a cerveja era associada a fé cristã, sendo produzida a partir do grão de trigo ou suco de cevada. Além disso, muitos homens considerados santos na época, como São Columbano, eram creditados milagres envolvendo a cerveja.
816 d.C	Na Alemanha, Sínodo de Aachen, onde foi deliberado que uma padronização da vida monástica. Nesse contexto, foi decidido que na ausência de vinho, um monge deveria receber o dobro dessa quantidade em cerveja de boa qualidade.
830 d.C	No norte da Europa, no texto citado pelo Plano de St. Gallen, que está ligado à Abadia de Saint Gall, há indicações de três cervejarias diferentes: uma para fornecer cerveja os nobres visitantes, outra para o consumo diário dos monges e uma terceira para fornecer cerveja aos peregrinos e pobres.
859 d.C 875 d.C	Na Alemanha, foi documentado o cultivo de lúpulo para fabricação de cerveja em pelo menos alguns mosteiros. Nesse período havia uma espécie de comercialização de fermento, também chamado de “ <i>Gruit</i> ” ou “ <i>fermentum</i> ”, sendo preservado pela mistura de vinho e/ou cerveja e

	farinha. Em segundo momento, a palavra Gruit passou a ser empregada para se referir a uma mistura pronta para fabricação de cerveja que era adquirida pelas autoridades locais
Séculos XI e XII	Na Inglaterra, foi registrado a presença de cervejeiros especialistas a serviço de senhores feudais. Entretanto, foi com a consolidação das cidades que a produção profissional realmente se desenvolveu.
Século XII e XIII	Na Alemanha e França surgiram as primeiras “Leis de pureza” que definia parâmetros gerais para fabricação de cerveja, incluindo proteção do consumidor (aditivos, épocas de fabricação e tecnologia), segurança do abastecimento (uso de grãos, preços, obrigação de produzir), organização das produções (treinamentos e autorização de fabricação), fiscalização (inspeção da cerveja) e comércio (venda e tributação de cervejas estrangeiras).

Fonte: Elaborado pela Autora a partir de (Civil, 1964; Geller, 1992; McGovern, 2004; Nelson, 2005; Meussdoerffer, 2009; Poelmans; Swinnen, 2011)

2.2 Caracterização da indústria cervejeira e as cervejarias artesanais

A consolidação da cerveja em nível mundial, concomitante com períodos de guerra e crise na Europa, transformou significativamente o cenário dessa bebida. Advindo disso, houve uma tendência de concentração industrial, principalmente nas décadas de 1970 e 1980, impulsionada por processos de fusão entre empresas. Globalmente, a partir de 1999, o mercado cervejeiro passou a ser dominado por quatro empresas multinacionais responsáveis por 60% da produção mundial de cerveja, sendo estas: Anheuser-busch (25%), Interbrew (13%), Heineken (12%) e Ambev (posteriormente inBev, 10%) (Cabras *et al.*, 2023).

A partir dos anos 2000, ocorreu a expansão da chamada “cerveja artesanal”, um termo amplo que se refere a cerveja produzida fora do âmbito das grandes corporações. Apesar dessa definição geral, esse termo pode variar de maneira considerável, especialmente em diferentes países. Nos Estados Unidos, conforme a *Brewers Association*, uma cervejaria artesanal é aquela que produz um pouco menos de 6 milhões de barris norte-americanos (704 milhões de litros por ano) e é considerada independente quando menos de 25% da empresa está sob controle de grandes ou médias cervejarias. No Reino Unido, as cervejarias artesanais são aquelas que produzem 500 mil litros por ano (Cabras *et al.*, 2023). No Europa, uma cervejaria artesanal é aquela que produz menos de 100 mil L/ano (Cabras *et al.*, 2023). No Brasil não existe uma definição por legislação que abrange todo o território brasileiro, contudo há algumas definições dadas pela Associação Brasileira das Cervejarias Artesanais (Abracerva) e Associação Brasileira de Bebidas (Abrabe).

No Brasil, a legislação vigente não estabelece um limite de capacidade produtiva para a definição de microcervejaria. Contudo, conforme proposta apresentada pela Abracerva (2023), considera-se microcervejaria aquela com capacidade produtiva de até 5 milhões litros por ano ou 416 mil litros por mês. Além disso, é classificada como independente quando não possui vínculo societário que represente mais de 50% do capital controlado por grandes e

médias cervejarias. Complementar a isso, a Abrabe (2023) define que uma cervejaria artesanal depende também de padrões qualitativos obtidos a partir de ingredientes especiais, maior quantidade de malte por hectolitro e microindústrias de origem familiar (Abracerva, 2023) (Tabela 1).

Tabela 1 - Comparação das definições de microcervejaria com base na capacidade de produção anual nos EUA, Reino Unido, Europa e Brasil

Países	Capacidade (L/ano)
EUA	704 milhões
Reino Unido	500 mil
Europa	100 mil
Brasil	5 milhões*

*Conforme proposta da ABRACERVA, ainda em análise. Pela legislação brasileira, não há um consenso.
Fonte: Adaptado de Cabras *et al.* (2023) e Abracerva (2023).

Além disso, não existe uma definição legal para os termos como cervejaria artesanal, microcervejaria, nanocervejaria, *craft brewery* e *brewpub*, entre outros. Do ponto de vista do ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2024), todos esses estabelecimentos estão sujeitos às mesmas regras e procedimentos aplicáveis às demais cervejarias. Segundo MAPA (2024), há 1.847 cervejarias registradas no Brasil, com maior concentração nos estados de São Paulo (410 unidades), Rio Grande do Sul (335 unidades), Minas Gerais (235 unidades), Santa Catarina (225 unidades), Paraná (171 unidades), Rio de Janeiro (129 unidades). Os demais estados possuem menos de 100 unidades. Dentre eles, Acre, Amapá e Roraima possuem apenas duas cervejarias em funcionamento em cada estado.

Por outro lado, é possível categorizar as cervejarias conforme critério estabelecido pela Receita Federal para a admissão ao regime tributário do simples nacional aplicável às microempresas (MEs) e empresas de pequeno porte (EPPs), assim como também pode-se utilizar os critérios estabelecidos pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae). Dessa forma, de acordo com Brasil (2006) pela Lei do simples Nacional, nomeada como Lei complementar nº123 de dezembro de 2006, as micro e pequenas empresas são definidas conforme seu faturamento bruto:

Art. 3º Para os efeitos desta Lei Complementar, consideram-se microempresas ou empresas de pequeno porte, a sociedade empresária, a sociedade simples, a empresa individual de responsabilidade limitada e o empresário a que se refere o art. 966 da Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil), devidamente registrados no Registro de Empresas Mercantis ou no Registro Civil de Pessoas Jurídicas, conforme o caso, desde que:

I - no caso da microempresa, aufera, em cada ano-calendário, receita bruta igual ou inferior a R\$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil reais); e

II - no caso de empresa de pequeno porte, aufera, em cada ano-calendário, receita bruta superior a R\$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil reais) e igual ou inferior a R\$ 4.800.000,00 (quatro milhões e oitocentos mil reais).

Complementarmente, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) adota a classificação das empresas com base no número de pessoas ocupadas. Segundo esse critério, as microempresas são aquelas com até nove pessoas ocupadas nas atividades de serviço e comércio; enquanto as empresas de pequeno porte são aquelas que possuem entre 10 e 49 pessoas ocupadas. Quando se refere a indústria de transformação e construção, são microempresas quando possuem até 19 pessoas ocupadas, e pequenas empresas, quando possuem entre 20 e 99 pessoas ocupadas (Guimarães *et al.*, 2018). Nesse sentido, é possível pensar que as cervejarias categorizadas como micro e pequenas empresas (MPes) também enfrentam os desafios desse grupo de empresas.

Nesse contexto, percebe-se a importância desses empreendimentos para a economia do país, especialmente pelo relevante papel socioeconômico desempenhado. De acordo com Figueiredo *et al* (2023), as micro e pequenas empresas (MPes):

- a) Compõem 99,1% de todos os negócios registrados e são responsáveis por parcela significativa da geração de riqueza;
- b) Correspondem a cerca de 20% do produto interno Bruto (PIB) e respondem por 60% dos quase 100 milhões de postos de trabalho existentes no Brasil;
- c) Contribuem na diversificação do mercado e oferecem soluções inovadoras aos consumidores;
- d) Apresentam elevada contribuição tributária, revertida em investimentos sociais e serviços públicos essenciais.

Essas micro e pequenas empresas estão inseridas em um macroambiente composto por forças e instituições externas que podem afetar o seu desempenho. De acordo com Lemes e Pisa (2019), esse macroambiente é composto pelas variáveis:

1. **Político-governamentais:** São decisões oriundas do ambiente político-governamental, nas esferas federal, estadual e municipal, que determinam os rumos das políticas econômicas, fiscal ou tributária, formado por meio de leis, normas, agências reguladoras, órgãos-públicos e demais entidades relacionadas;
2. **Econômicas:** São os indicadores do cenário econômico nacional que influenciam diretamente o desempenho das empresas, favorecendo o desenvolvimento ou retração econômica. Esses indicadores estão relacionados com o poder de compra, hábitos de consumo e renda, nível de desemprego, PIB, inflação, taxa de juros, câmbio, política monetária e fiscal do governo.

3. **Legais:** São leis, regulamentos e normas que orientam, controlam e regulam o ambiente empresarial;
4. **Tecnológicas:** São avanços tecnológicos que devem ser incorporados pelas empresas para permanecerem competitivas, como novos métodos de gestão, novas máquinas, melhorias no processo de fabricação e tecnologias de monitoramento.
5. **Sociais:** São variáveis sociais que determinam e sustentam hábitos de compra, necessidades individuais e geram o corpo que movimenta as instituições, sendo relacionadas com emprego, educação, saúde, previdência social, segurança e bem-estar.
6. **Culturais:** São influências e pressões do meio cultural como arte, arquitetura, estilo de vida, expectativas da população e outros.
7. **Demográficas:** São características de densidade populacional, perfil etário, distribuição, migração e do mercado, normalmente são importantes para direcionar ações futuras da empresa.
8. **Ecológicas:** São o espaço físico e natural, bem como seus recursos naturais disponíveis.

Além das variáveis externas, as empresas também lidam com desafios internos, como as capacidades de qualidade, que, segundo Prim *et al.* (2023), representam fatores limitantes ao desempenho das micro e pequenas empresas. Segundo Prim *et al.* (2023), as capacidades de qualidade é um fator limitante para as micro e pequenas empresas, podendo ser compreendidas como um conjunto de rotinas heterogêneas da gestão de qualidade que servem de base para manutenção da competitividade organizacional da empresa. Entre essas capacidades, destaca-se a gestão de recursos internos, uma vez que as empresas de menor porte operam com recursos limitados. Essa limitação de recursos compromete a competitividade das empresas de micro e pequeno porte quando comparado às grandes corporações, que contam com ampla disponibilidade de ativos tangíveis e intangíveis. Tais recursos permitem que essas grandes corporações consigam integrar, construir, figurar competências internas e externas para enfrentar ambientes de mercado dinâmicos e sujeitos a rápidas transformações. Essas habilidades permitem um acesso a novos mercados, aumento de receitas, novas parcerias, novos conhecimentos e melhor alinhamento com as tendências de mercado.

2.3 Aspectos gerais de fabricação da cerveja

Nesta seção são apresentados os principais ingredientes utilizados na produção de cerveja, bem como as etapas fundamentais que compõem seu processo produtivo.

2.3.1 Ingredientes

Os principais ingredientes da cerveja são o malte, água, lúpulo e levedura, podendo-se empregar outros grãos, como arroz, trigo, centeio, milho e outros (Ventorim *et al.*, 2022; Dragone *et al.*, 2018). A seleção e controle de qualidade de cada ingrediente são determinantes, pois afetam diretamente as características sensoriais, físico-químicas e a estabilidade final da bebida (Ventorim *et al.*, 2022).

O malte é obtido a partir da germinação controlada de grãos de cevada, processo que promove diversas transformações bioquímicas no interior do grão. Durante essa etapa, ocorre a síntese e ativação de enzimas responsáveis pela conversão do amido em açúcares fermentáveis utilizados posteriormente na fermentação da cerveja. Simultaneamente, polímeros estruturais, como proteínas e beta-glucanas, são hidrolisados em moléculas menores, o que confere ao grão maltado uma textura mais macia e facilidade de trituração. Após a germinação, o malte é submetido à secagem em fornalhas sob altas temperaturas. Nesse processo, são produzidos diferentes tipos de malte decorrente de grau de modificação e dos tratamentos térmicos aplicados. Logo, tratamentos térmicos mais longos resultam em maltes mais escuros e aromáticos, porém com menor atividade enzimática residual, enquanto tempos mais curtos preservam maior atividade enzimática, originando maltes mais claros e neutros em sabor (Farber; Barth, 2019; Neto; Bordin, 2023).

O segundo ingrediente fundamental, a água, desempenha papel essencial como solvente na extração dos componentes do malte, etapa que resulta na formação do mosto cervejeiro. Paralelamente, exerce função operacional relevante nos procedimentos de limpeza e higienização dos equipamentos, realizados pelo sistema CIP (*Clean in Place*) (Dragone *et al.*, 2018). Alguns parâmetros importantes de qualidade da água, incluem o pH, a presença de sais e a dureza. A dureza excessiva pode favorecer a precipitação de oxalatos, gerando depósitos sólidos e incrustações em tubulações e tanques (Bamforth, 2016). Geralmente, utiliza-se a água proveniente do próprio abastecimento público (Dragone *et al.*, 2018).

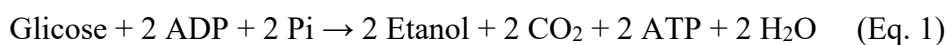
Outro ingrediente essencial é o lúpulo, responsável por conferir características sensoriais marcantes à cerveja, mesmo sendo utilizado em quantidades relativamente pequenas. Além de contribuir para o perfil de sabor e aroma, o lúpulo atua também conservante natural, devido às suas propriedades antibacterianas. O sabor proveniente do lúpulo é determinado por

substâncias não voláteis, normalmente os ácidos α e β , enquanto o aroma é resultante de substâncias voláteis, como os óleos essenciais. As condições de armazenamento influenciam diretamente as características do lúpulo: quando armazenado inadequadamente, especialmente sob altas temperaturas, pode desenvolver um odor semelhante ao de queijo; por outro lado, quando armazenado em condições adequadas, tende a proporcionar um aroma frutado (Eblinger, 2009).

Por último, mais um componente fundamental na produção da cerveja são as leveduras, micro-organismos responsáveis pela conversão dos açúcares provenientes do malte em etanol e dióxido de carbono durante o processo fermentativo (Barbosa *et al.*, 2017). Esse processo envolve uma sequência de reações bioquímicas catalisadas por enzimas específicas. Essas enzimas provêm tanto do metabolismo das leveduras, quanto do próprio meio. As células de leveduras são organismos aeróbios facultativos, ou seja, tem capacidade de ajustar seu metabolismo conforme a disponibilidade de oxigênio. Assim, na presença de oxigênio, realizam a respiração e divisão celular, possibilitando a multiplicação das células. Na ausência de oxigênio, ocorre a fermentação alcoólica (Basso *et al.*, 2020; Barbosa *et al.*, 2017).

2.3.2 Etapas do processo de fabricação

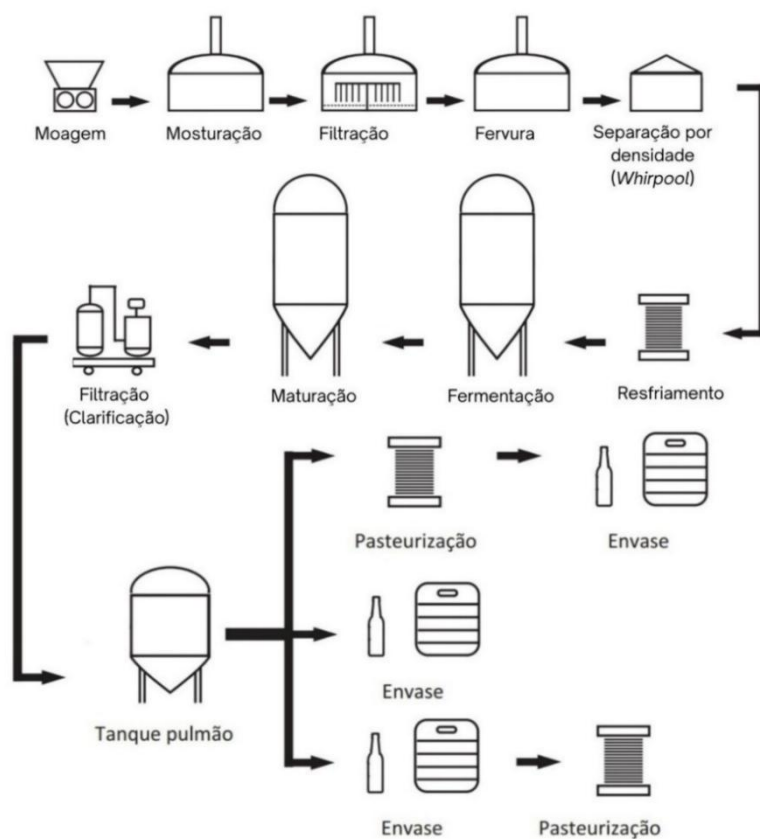
A cerveja é produzida pela fermentação alcoólica do mosto, um líquido rico em açúcares e compostos nitrogenados derivados do malte. Nesse processo, as leveduras convertem os açúcares fermentáveis em etanol, dióxido de carbono e calor (Dragone *et al.*, 2018), conforme descrita pela equação da reação química a seguir (Ventorim *et al.*, 2022):



O CO_2 liberado durante essa reação é especialmente importante para a carbonatação da cerveja, possibilitando a formação de espuma, de tal modo que o gás carbônico fica envolvido por proteínas de alto peso molecular e hidrofóbicas, permitindo que essas bolhas não se desprendam do líquido. Logo, quanto mais gás carbônico e proteínas, maior a formação de espuma (Barbosa *et al.*, 2017; Neto; Bordin, 2023).

Após a definição do estilo da cerveja a ser produzido, determinam-se os ingredientes correspondentes e inicia-se o processo de fabricação, que compreende 11 etapas principais: Moagem, Mosturação, Clarificação (Filtragem), Fervura, *Whirlpool* e resfriamento, Fermentação, Maturação, Filtragem, Pasteurização e Envase, conforme Figura 3.

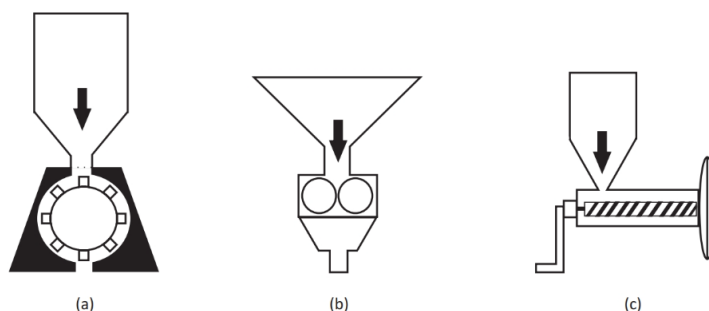
Figura 3 - Esquema gráfico do processo padrão de fabricação da cerveja



Fonte: Bianchi e Schuina (2021)

A primeira etapa é a moagem dos grãos, normalmente cevada, embora outros grãos possam ser adicionados, mesmo sendo algo incomum na produção de cerveja artesanal. O grão de malte possui uma casca rígida para ruptura, portanto, a sua quebra permite melhor atuação enzimática para extração de compostos de interesse para o mosto. Além disso, o nível de friabilidade pode mudar conforme o tipo de malte. Logo, nessa fase, deve-se controlar o tamanho das partículas obtidas, uma vez que uma moagem muito grossa ocasiona redução do rendimento de extração de açúcares, enquanto uma moagem muito fina pode gerar problemas na etapa de filtração. A finalidade dessa etapa é aumentar a superfície reativa para as enzimas, facilitando a dissolução dos componentes presente no malte. Deve-se também tomar cuidado para preservar parcialmente as cascas, pois auxiliam como camada de filtração durante a filtragem do mosto. A necessidade de cascas ou partículas grossas varia conforme o tipo de filtro empregado na clarificação do mosto, podendo, em alguns casos, ser dispensadas. A moagem pode ser conduzida com um moinho de martelos, rolo ou disco (Figura 4) (Bianchi; Schuina, 2021).

Figura 4 - Tipos de moinhos para moagem do malte: a) martelo; b) rolo e c) disco



Fonte: Bianchi e Schuina (2021)

A segunda etapa é a mosturação, na qual o malte moído é misturado à água e submetido ao aquecimento, permitindo que os componentes do malte se dissolvam no meio pela ação enzimática. De modo geral, ocorrem reações enzimáticas semelhantes às da maltagem, como amilólise, proteólise e citólise. Por conta disso, esse processo é influenciado pelos fatores como a proporção de água, temperatura e valores de pH. Na amilólise, o amido na forma de amilopectina e amilose é dissolvido. A dissolução ocorre em três fases principais, sendo elas: a gelatinização do amido, liquefação e sacarificação. Durante a gelatinização, as moléculas de amido adsorvem a água, ocasionando seu intumescimento e posterior ruptura. A temperatura necessária para a gelatinização depende do tipo de cereal ou mistura de cereais utilizada, bem como a presença de amilases. Em geral, os fornecedores indicam a faixa ideal de temperatura para gelatinização de cada matéria-prima, como por exemplo, malte, sorgo, milho e outros. No caso do malte, a gelatinização ocorre por volta de 60°C (Wunderlich; Back, 2009). O amido gelatinizado é digerido pelas amilases durante a liquefação, rompendo-se de dentro para fora, resultando em fragmentos maiores. Enquanto as dextrinas são degradadas em maltose durante a sacarificação. Esse processo é realizado porque são moléculas grandes demais e precisam ser convertidas em polímeros de açúcares para serem convertidos em etanol no processo de fermentação pela levedura. Dentro da cervejaria, esse processo é acompanhado utilizado uma tintura de iodo 0,2 N, assim quando ocorre essa degradação a coloração torna-se mais clara. Uma amostra rica em amido e dextrina apresenta uma coloração escura (Wunderlich; Back, 2009). Mesmo após o processo de amilólise ainda há moléculas que podem ser convertidas em açúcares, como moléculas de amido pouco organizadas, as proteínas e grupos moleculares de diferentes tamanhos, incluindo desde moléculas de alta massa até os aminoácidos. Então ocorre simultaneamente a proteólise que tem como enzimas atuantes as endopeptidases e exopeptidases, em que a primeira atua na quebra de proteínas internamente e as segundas atacam as

extremidades das cadeias proteicas, liberando aminoácidos. A ativação dessas enzimas ocorre entre 50°C (maior degradação proteica), e moléculas de média e alta massa molecular entre 60°C e 70°C. Outra reação enzimática que ocorre é a citólise que envolve a quebra das paredes celulares, especialmente a hemicelulose, da cevada maltada. Algumas frações de lipídios são degradadas por lipases, gerando ácidos graxos insaturados. A citólise também é responsável por aumentar a viscosidade do mosto, ocorrendo em temperaturas abaixo de 50°C (Wunderlich; Back, 2009).

Após a etapa de mosturação, ocorre a fase de filtração ou clarificação, responsável pela separação do mosto dos resíduos sólidos da mostura. Durante esse processo, os grãos esgotados, casca e outros resíduos permanecem retidos no recipiente, enquanto o mosto é coletado por meio do escoamento pelo fundo do tanque. Algumas cervejarias adotam o método de lavagem contínua, no qual são coletados tanto o mosto principal quanto a água utilizada na lavagem dos grãos. Normalmente, realizam-se duas ou três lavagens dos grãos quase esgotados. Cada extração subsequente resulta em um mosto mais diluído de compostos fermentescíveis e, conseqüentemente, em uma cerveja com teor alcoólico mais baixo (Archana *et al.*, 2024). O mosto separado é encaminhado para a fase da fervura, permitindo que as enzimas remanescentes do processo anterior, sejam degradadas e o mosto tenha a composição estabilizada. Além disso, a fervura permite a esterilização do mosto e dissolução do lúpulo, preparando-o para a inoculação da levedura. Por outro lado, durante a fervura também ocorre a reação de *Maillard*, gerando o escurecimento não-enzimático de forma intensa, resultando na produção de diversos compostos aromáticos voláteis e não voláteis, formação de melanodinas coloridas (que são polímeros e copolímeros nitrogenados de coloração marrom). Caso a reação seja muito intensa, pode gerar sabores desagradáveis na cerveja. Por outro lado, o sabor indesejável pode surgir devido a presença de Dimetil Sulfeto (DMS), uma vez que na etapa de maltagem da cevada forma-se a S-metilmetionina (SMM) e, ao ocorrer a fervura, ocorre a decomposição do SMM em DMS, gerando um sabor desagradável no produto final. Apesar disso, o DMS é um composto altamente volátil e pode ser removido pelos vapores durante a fervura. Normalmente, o pH é muito importante para evitar a formação de DMS, sendo significativamente menor em pH 5,0 do que em pH entre 5,5 e 5,8. Na fervura também ocorre evaporação da água e compostos orgânicos voláteis, como compostos derivados do malte e óleos essenciais do lúpulo. Por conta disso, é importante que a taxa de evaporação não seja muito alta, uma vez que uma alta de evaporação por longo período, compromete a qualidade sensorial da cerveja, características como amargor, retenção de espuma e aumento da cor. Em

processos clássicos, estima-se que a redução do volume do mosto evaporado é de 8 a 12% em relação ao volume inicial (Hui, 2006).

De acordo com Janish (2021), a composição dos óleos essenciais do lúpulo pode ser dividida em três grupos conforme grau de volatilidade, sendo estes: 1) Hidrocarbonos: São extremamente voláteis, correspondendo entre 40 à 80% da composição do lúpulo. Alguns exemplos são: Sesquiterpenos, Monoterpenos e outros compostos alifáticos. Possuem como característica sensorial herbal e picante 2) Compostos oxigenados: São menos voláteis que os anteriores e correspondem a 30% da composição do lúpulo. Alguns exemplos são: álcoois hemiterpênicos, álcoois monoterpênicos, álcoois sesquiterpênicos e outros. Possui como característica sensorial a sensação frutada, cítrica, herbal e ligeiramente doce. 3) Compostos contendo enxofre: São os menos voláteis e são facilmente identificados, considerados de baixo limiar sensorial (sensível ao olfato). Representam menos de 1%, sendo que alguns grupos têm sensação desejada e outros indesejadas. Alguns exemplos são Tióis que geram a sensação frutada e maracujá. Contudo também tem os grupos sulfetos (Dimetil sulfeto, Dimetil dissulfeto) que tem sensação indesejada de cheiro de milho cozido e queijo. Assim como os Tioésteres (s-metil-tio-hexanoato) que geram sensação de cheio de repolho cozido, alho e cebola.

Posteriormente à fervura, ocorre a precipitação de alguns compostos e ainda há pequenas partículas sólidas. No tanque de clarificação (*Whirlpool*), uma bomba gera redemoinhos, fazendo os sólidos se acumularem no centro do vórtice, enquanto a parte líquida é deslocada para as bordas do recipiente. Os resíduos sólidos aglomerados nessa etapa são chamados de “*trub*”, sendo em sua maioria formada por material proteico e complexos polifenóis. As partículas também podem significar risco de contaminação microbiana. Após a remoção do *trub*, a fase líquida é direcionada para o resfriamento por meio de trocadores de calor. O resfriamento é importante por manter a viabilidade das leveduras ao realizar a inoculação no mosto, podendo ser resfriado até 8°C, dependendo do tipo de cerveja. A maioria das empresas utilizam trocadores de calor resfriado com fluído, chamados de *chillers*, e normalmente abastecido com água. O resfriamento ocorre ao criar uma relação entre o fluxo do mosto e a capacidade de resfriamento, assim, quando há uma capacidade de resfriamento menor, deve-se também reduzir o fluxo de passagem do mosto. Essa etapa é considerada crítica, pois representa um potencial de contaminação microbiológica, e por conta disso, deve-se manter constante à limpeza e sanitização (Farber; Barth, 2019).

Logo após o resfriamento, é realizado a oxigenação do mosto, pois ocorre o aumento da solubilidade do gás conforme o líquido diminui. As células de levedura utilizam o oxigênio

dissolvido para sintetizar novas membranas plásticas durante a divisão celular, possibilitando o aumento de células de levedura (Farber; Barth, 2019). Nessa fase de adaptação, as leveduras produzem as enzimas necessárias para utilizar os nutrientes disponíveis, denominada fase *lag*. Em seguida, há uma fase de transição e o microrganismo entra na fase de crescimento exponencial, que se dá devido a presença de nutrientes em concentração. Com o consumo do oxigênio dissolvido na fase de adaptação da levedura, ocorre crescimento celular da levedura no meio, formando CO₂ e água, bem como o esgotamento do oxigênio no meio. A levedura, então, passa a atuar em anaerobiose, performando a fermentação alcoólica. Durante a fermentação alcoólica, os açúcares do mosto são convertidos em etanol e excreta outros produtos secundários, como álcoois, estes, aminas, ácidos orgânicos, fenóis, compostos de enxofre, compostos carbonílicos, entre outros. Esses produtos secundários são produzidos em diferentes proporções, dependendo do tipo de cepa de levedura, temperatura de incubação, quantidade e tipo de adjunto, pH, densidade do mosto, presença de oxigênio e outros. Com o passar do tempo, ocorre o esgotamento de nutrientes ou a inibição do microrganismo devido aos subprodutos formados, assim define-se que essa fase é a estacionária. O teor alcoólico e outros subprodutos do metabolismo criam condições desfavoráveis, contribuindo para o envelhecimento das células de levedura e aumentando a taxa de mortalidade (Bianchi; Schuina, 2021).

Quando ocorre a finalização do processo fermentativo, as células de levedura podem ser recuperadas, pois ainda há células com viabilidade. É comum o reuso de células de leveduras entre 4 até 6 ciclos. Entre os ciclos, é necessário que seja realizado o tratamento com soluções ácidas para evitar contaminações. Em acréscimo, algumas empresas removem parte das leveduras utilizadas e as descartam, adicionando uma nova porção de leveduras frescas ao mesmo ciclo de fermentação. Os ciclos de reciclagem devem analisados em laboratório a fim de avaliar a viabilidade das cepas (Dragone *et al.*, 2018). A separação das leveduras do mosto ocorre pela decantação no fundo cônico do tanque fermentador, sendo então recuperada pela parte inferior desse tanque. Após os ciclos, a levedura sem ou com baixa viabilidade pode ser usada para produzir enzimas de interesse industrial, como invertase, lactase, oxidorredutases e outras, bem como ração animal (Rocha-Filho; Vitolo, 2018).

Ao final do processo fermentativo, é obtido a chamada “cerveja verde” que é aquela que ainda não passou pelo processo de maturação, caracterizada pela baixa concentração de dióxido de carbono, aromas e sabores sem refino. O refino dessas características ocorre no processo de maturação em um período que pode transcorrer desde dias até semanas ou meses. Entretanto, atualmente, na maioria das cervejarias esse processo é completado em uma ou duas

semanas. A maturação ocorre por meio de uma fermentação secundária, realizada pela pequena quantidade de leveduras remanescentes na cerveja. Essa fermentação secundária pode ser conduzida pelas quantidades restantes de açúcares fermentescíveis ou até mesmo pela adição externa de açúcares ou até mesmo mosto pelo cervejeiro em um processo chamado de *Krausening*. Na fermentação, a levedura produz um precursor do diacetil, nomeado como α -acetolacto. Esse precursor aparece quando a levedura está sintetizando os aminoácidos valina e leucina, e ao sair da célula de levedura, o α -acetolacto se transforma em diacetil por oxidação e perda de CO_2 . Outro ponto é que durante o metabolismo da levedura, o precursor α -acetohidroxitirato, produzido na síntese do aminoácido isoleucina. Assim, quando esse precursor sai da célula, sofre uma reação e se transforma em 2,3-pentanediona. São compostos indesejados, em que o primeiro traz um cheiro e sabor amanteigado e o segundo tem um sabor e cheiro adocicado enjoativo (Dragone *et al.*, 2018; Farber; Barth, 2019).

Esses compostos são reduzidos pela levedura durante a maturação. Ainda no processo de maturação, a cerveja é armazenada ou permanece em tanques sob baixas temperaturas, permitindo que ocorra o desenvolvimento dessas reações, melhorando as características organolépticas finais do produto. Somados a isso, o processo também favorece a sedimentação de leveduras residuais, proteínas e outras moléculas insolúveis, clarificando também o produto. Outro ponto importante também é que o gás carbônico é produzido na fermentação secundária, provocando a carbonatação da cerveja. A carbonatação é responsável pela efervescência e a sensação de acidez proporcionada pelas propriedades de gás ácido em quantidades controladas. Algumas cervejas ainda fazem a injeção de CO_2 em linha ou tanque. Nas indústrias de cerveja o CO_2 é capturado na etapa de fermentação devido ao excesso produzido e utilizado depois na etapa de maturação para obtenção da carbonatação ideal. Em relação ao sabor, ocorre uma melhora em decorrência de transformações na concentração de ácido sulfídrico, de acetaldeído e de diacetil que são reduzidos (Dragone *et al.*, 2018).

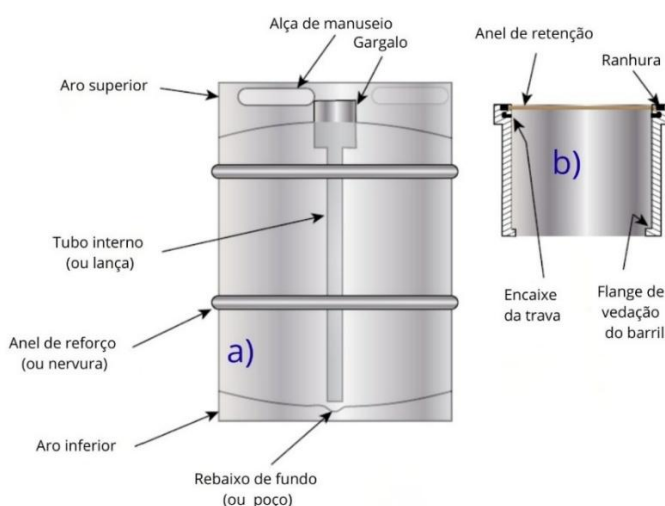
Na etapa seguinte ocorre a filtração, são removidos os sólidos suspensos e partículas pequenas que com o tempo podem se depositar no fundo da embalagem nos pós envase. Ademais, a filtração auxilia na estabilidade microbiológica e aspecto ao longo do tempo (Bamforth, 2016). Essa etapa pode ser realizada das seguintes maneiras: a) sedimentação por gravidade; b) uso de agentes clarificantes; c) centrifugação; e d) filtração (Dragone *et al.*, 2018).

Na última etapa ocorre a pasteurização e envase que possuem a função na estabilização, segurança e armazenagem do produto. Na pasteurização o produto é aquecido por um tempo determinado para garantir o tempo de vida útil da cerveja, evitando quaisquer alterações decorrentes da presença de microrganismos ou seus metabólitos. Nessa fase os

alimentos são conservados pela redução do número de células vegetativas indesejáveis de microrganismos patogênicos e deteriorantes dos alimentos. Normalmente, os líquidos são submetidos a uma temperatura de 60°C em um período entre 10 e 20 minutos (Srair *et al.*, 2024; Neto; Bordin, 2023). Ainda segundo Srair *et al.* (2024), uma cerveja não pasteurizada sofre diversas alterações sensoriais, como variações no nível de diacetil e acetaldeído, diminuição contínua do amargor e danos na embalagem, como estufamentos. Ademais, os componentes da cerveja possuem maior estabilidade em refrigeração.

O envase pode ocorrer em garrafas, latas e barris. No caso, das microcervejarias, normalmente, quando anexada a um restaurante, o recipiente de armazenagem mais comum é o barril para ser servida em copos. Os barris atuais utilizam um sistema chamado de *Sankey* (Figura 5), sendo um recipiente cilíndrico sob pressão com um único orifício de tamanho entre 5 cm de diâmetro, localizado no centro da parte superior. O preenchimento ocorre pela imersão de um tubo chamado de lança (*Spear*), que se estende até o fundo do barril, e por meio das suas válvulas concêntricas é permitido a passagem de gás e líquido. Normalmente são produzidos em aço inoxidável, embora possa também ser encontrado em alumínio. O manuseio pode ser perigoso, devido à alta pressão, por isso é necessário treinamento do operador. Após o uso, os barris passam pela limpeza CIP (*Cleaning in place*), garantindo a higienização (Farber; Barth, 2019).

Figura 5 - Barril modelo Sankey: a) Partes do barril e b) Detalhamento do gargalo



Fonte: Adaptada de Farber e Barth (2019)

2.4 *Quality Function Deployment (QFD)*

A ferramenta desdobramento da função qualidade, do inglês *quality function deployment* (QFD), é uma metodologia aplicada para o desenvolvimento de produtos ou processos por meio da transformação de requisitos de produto definidos pelo mercado em características do produto (Carpinetti; Gerolamo, 2016). Segundo Akao (1990, p.5), seu criador e disseminador, o QFD pode ser definido como:

[...] a conversão dos requisitos do consumidor em características de qualidade do produto e o desenvolvimento da qualidade de projeto para o produto acabado através de desdobramentos sistemáticos das relações entre os requisitos do consumidor e as características do produto. Esses desdobramentos iniciam-se com cada mecanismo e se estendem para cada componente ou processo. A qualidade global do produto será formada através desta rede de relações.

Em vista disso, desdobramento da função qualidade (QFD) propõe, basicamente, a conversão de dados em requisitos e extração de características a partir desses requisitos. Esse processo de conversão, extração e correlação decorre da construção de um diagrama e matrizes de relacionamento. Por exemplo, se uma exigência for biscoitos bem tostados, a conversão em parâmetros resultará em temperatura do forno e tempo de cozimento (Oliveira, 2020).

Essa ferramenta apresenta algumas versões; contudo, todas matrizes desse método possuem similaridades entre si, originadas do trabalho de Yoji Akao. Dentre as versões desenvolvidas, pode-se citar o QFD das quatro ênfases por ser o mais difundido. A primeira deriva da versão original criada pelos professores e pesquisadores Akao e Mizuno na década de 1960, juntamente com a *Union of Japanese Scientists and Engineers* (JUSE), a partir do diagrama da causa e efeito (diagrama espinha de peixe). Posteriormente, construíram uma matriz de demandas de clientes, que se tornou a ferramenta desdobramento da função qualidade. Assim, o QFD é entendido de uma forma mais ampla, ligado ao sistema de garantia de qualidade durante o desenvolvimento de produtos (Akao, 1990; Carpinetti; Gerolamo, 2016). Sendo essa metodologia adotada nessa pesquisa.

Segundo Miguel (2001) e Cheng e Melo-filho (2010) as etapas para implantação do QFD obedecem a ordem:

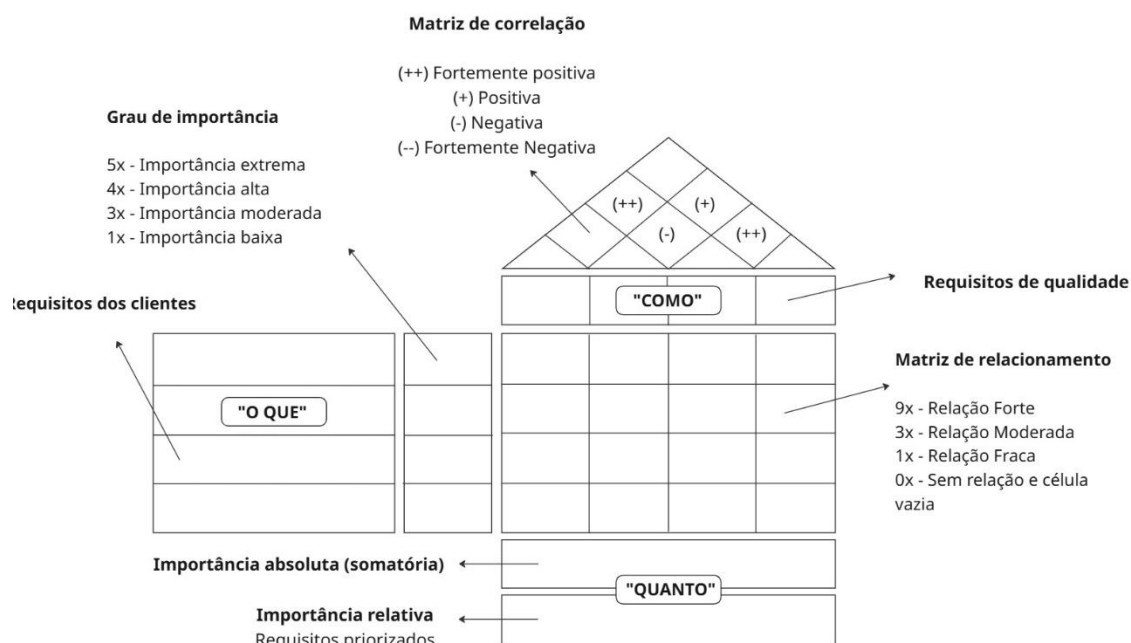
1º) Determinação do objetivo do QFD: Reflete o uso da ferramenta, como desenvolvimento de novos produtos, melhoria de produtos existentes, ou correção de problemas detectados a partir de reclamações de clientes. Esse recorte também requer o grupo alvo, tamanho da amostra e outros.

2º) Escolha da equipe multifuncional: a implementação depende do envolvimento de profissionais de várias áreas, norteados pelo projeto, bem como análise de dados.

3º) Obtenção das informações do cliente: É o grupo de pessoas que pode contribuir com conhecimentos técnicos e experiência com o produto, podendo ser dentro da sua especialidade ou não, depende do objetivo. Logo, as informações coletadas são agrupadas em tabelas, sendo a unidade básica para organizar e detalhar informações estruturadas.

4º) Construção da “casa da qualidade”: Nessa etapa ocorre a construção de uma matriz que relaciona os requisitos desejados com características ou especificações. Assim, inicia-se a construção da casa da qualidade e suas respectivas dependências, conforme Figura 6. A primeira “dependência” da casa da qualidade, possui os requisitos desejados pelos clientes, juntamente com uma pontuação da importância relativa entre cada uma delas, dada pelos próprios clientes. No “primeiro andar” da casa está localizada as características da qualidade, obtida pela lista de características ou especificações de projeto necessários para atender aos requisitos dos clientes.

Assim, observa-se que cada requisito do cliente (“o que”) se relaciona com pelo menos um correspondente de característica de qualidade (“como”). Essa correlação resultada em um grupo de células na parte central da Casa da qualidade, que é preenchida com símbolos para ponderar essa relação, classificando-as, por exemplo, em forte, moderado e fraco ou inexistente. Na base ou “alicerce” da casa da qualidade, formam-se os valores-alvo, determinados pela equipe multifuncional. O “telhado” da casa da qualidade, também é formado por um grupo de células utilizado para indicar a correlação entre as especificações do projeto, sendo adotados também símbolos, como: “fortemente positiva”, “positiva”, “negativa” e “fortemente negativa”.

Figura 6 - Casa da qualidade aplicada ao QFD

Fonte: Adaptada de Miguel (2001) e Matos e Cecconello (2019)

5º) Desdobramento da função qualidade: Desdobrar as qualidades de produtos que estão atendendo as necessidades em características de planejamento e processo, como fatores de controle e outros. Esse processo, denominado de desdobramento, tem como finalidade tornar explícito o que antes estava implícito. Por exemplo, destrinchar termos subjetivos como “ótima qualidade” em ideias mais objetivas e diretas, como parâmetros de processo, matérias-primas e controles.

A segunda versão, o QFD das quatro fases, foi desenvolvida pelo Macabe, nos Estados Unidos, em parceria com o *American Supplier Institute* (ASI), no qual em termos de conteúdo se restringe ao desdobramento da qualidade (QD). No Brasil, esse é o método mais comum. Esse método consiste em quatro fases, sendo elas: 1) planejamento do produto; 2) planejamento de componentes ou desdobramento de componentes; 3) planejamento de processos e 4) planejamento de produção dos produtos (Akao, 1990; Miguel, 2001; Carpinetti; Gerolamo, 2016).

Cada uma dessas fases subsidia uma matriz que norteia as análises, podendo ser complementada por atividades de suporte como FMEA, FTA, Análise de valor e estudos de confiabilidade, listas de processos requeridos, lista de parâmetros de controle e outros (Carpinetti; Gerolamo, 2016).

O QFD tem como vantagem a eficiência da análise de problemas, facilidade de utilização, procedimentos que favorecem a abordagem participativa e favorecem a implantação de processos gerenciais compartilhados (Paladini, 2025). Em comparação, Miguel (2001) menciona que o QFD permite a criação de produtos mais assertivos e concentrados nas características relevantes que o mercado requer. Na indústria de alimentos, o QFD tem sido aplicado para diferentes propósitos no quesito qualidade: aumento da qualidade do produto conforme requisitos de consumidores, criação de produtos e aprimoramento de produtos, otimização de processo, desenvolvimento de embalagens, integração de equipes e outras.

Em relação a melhoria da qualidade de produto, Dewi *et al* (2020) utilizaram o QFD para identificar os atributos de qualidade do leite pasteurizado mais valorizados pelos consumidores e, a partir disso, definir ações corretivas prioritárias que aumentassem a satisfação e competitividade do produto. Em comparação, Pop *et al* (2020), utilizaram a mesma ferramenta para o desenvolvimento de produto, no qual foram traduzidos os requisitos dos consumidores em parâmetros técnicos controláveis, permitindo a projeção de um sorvete de frutas mais saudável e alinhado às expectativas de qualidade e saúde dos consumidores. Ainda na indústria, Rihar e Kusar (2021), empregaram o QFD para a otimização de processos industriais a fim de torná-los mais sustentáveis na construção de turbinas, avaliando pontos como vida útil de componentes, decomposição de componentes, baixo uso de energia e outros. Outra aplicação importante, é no desenvolvimento de embalagens alimentícias, como apresentado no estudo de Muhammad *et al* (2021) que utilizou essa ferramenta para o desenvolvimento de embalagens para alimentos de rua, considerando segurança, conforto e outros aspectos.

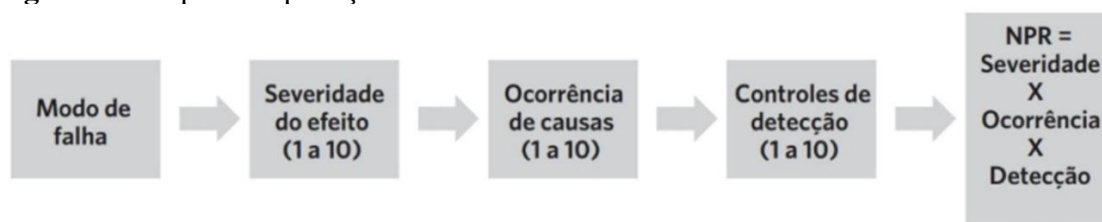
2.5 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

A ferramenta análise de modo de falha e efeitos, do inglês *failure mode and effects analysis* (FMEA) pode ser definido como uma ferramenta empregada para identificar, priorizar e eliminar falhas, problemas e erros potenciais em produtos, processos ou sistemas de desenvolvimento. No FMEA aplicado ao processo, são consideradas as falhas no planejamento e na execução, possibilitando evitar falhas do processo, tendo como base não-conformidades do produto com as especificações do processo (Lobo, 2020). Ainda no contexto dos processos, essa ferramenta pode ser empregada para diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em processos, reduzir falhas potenciais em processos já em operação e aumentar a confiabilidade

de produtos por meio da análise de falhas que já ocorrem (Lobo, 2020; Flogiatto; Ribeiro, 2009).

A análise ocorre pela formação de um grupo de pessoas que identificam para um processo/produto e suas funções, os tipos de falha que podem ocorrer e os efeitos e as possíveis causas dessa falha. Em seguida, são avaliados os riscos de cada falha por meio de índices e, com base nessa avaliação, são adotadas as ações necessárias para diminuir os riscos, aumentando a confiabilidade. Dessa forma, a análise do risco é obtida a partir do cálculo do NPR (número de prioridade de risco), que considerara em relação a cada modo de falha: a severidade do efeito (1 a 10), a ocorrência de causas (1 a 10), e controles de detecção (1 a 10), conforme Figura 7. Assim, o número de prioridade, permite identificar quais as falhas mais susceptíveis de ocorrer.

Figura 7 - Etapas de aplicação da ferramenta FMEA



Fonte: Abrantes (2009)

O modo de falha refere-se aos possíveis tipos de falhas que podem ocorrer em cada função, identificados por meio de formulários e discussões com a equipe de especialistas. A severidade é avaliada com base em critérios que consideram o impacto dessas falhas no produto acabado, conforme descrito no Quadro 2.

Quadro 2 - Grau de severidade de falhas

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	A ocorrência não causa nenhum efeito no processo ou o cliente não é capaz de perceber.
2	Baixa	Ligeira deterioração no desempenho. Os efeitos podem ser pouco percebidos pelo cliente.
3		
4	Moderada	Deterioração significativa no desempenho do processo com descontentamento do cliente.
5		
6		
7	Alta	O processo sofre grande impacto e há grande descontentamento do cliente. O produto pode perder sua capacidade de uso ou operação.
8		
9	Muito alta	O processo deixa de funcionar, há grande descontentamento do cliente e afeta a segurança.
10		

Fonte: Miguel (2001); Lobo (2020)

Posteriormente, é determinado o grau de ocorrência, referindo-se à probabilidade que uma causa listada pode ocorrer. Esse dado pode ser obtido com dados referentes à taxa de falha provenientes de históricos coletados no processo. Quando não disponíveis, pode-se definir de maneira subjetiva com consenso da equipe, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Grau de ocorrência da falha

Índice	Ocorrência	Critério
1	Mínima	A falha é muito improvável ou tem probabilidade remota.
2	Baixa	A falha raramente ocorre ou probabilidade baixa.
3		
4		
5	Moderada	A falha é ocasional ou probabilidade moderada.
6		
7		
8	Alta	A falha ocorre com frequência ou probabilidade alta.
9		
10	Muito Alta	A falha é quase inevitável ou probabilidade muito alta.

Fonte: Flogiato; Ribeiro (2009); Miguel (2001); Lobo (2020)

Em seguida, define-se probabilidade de detecção, definido como a habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente passar para operação subsequente. Assim como também pode representar a chance de a falha alcançar o cliente. O critério de avaliação é por consenso de equipe ou dados coletados junto a produção por amostragem e base estatística, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Probabilidade de detecção do risco

Índice	Ocorrência	Critério	% de alcançar o cliente
1	Muito Alta	É quase certo que os controles irão detectar esse modo de falha.	0-5
2		Há uma alta probabilidade de os controles detectarem o modo falha.	6-15
3			16-25
4	Moderada	Os controles podem detectar o modo falha.	26-35
5			36-45
6			46-55
7	Baixa	Os controles provavelmente não irão detectar esse modo de falha	56-65
8			66-75
9	Muito Baixa	Os controles provavelmente não irão detectar esse modo falha, ou não existem controles.	76-85
10			86-100

Fonte: Flogiato; Ribeiro (2009); Miguel (2001); Lobo (2020)

Dessa forma, o risco é calculado a partir da multiplicação dos índices de severidade, ocorrência e detecção, conforme equação 2, descrita por Miguel (2001).

$$\text{NPR} = \text{SxOxD} \quad (\text{Eq. 2})$$

2.6 Integração QFD e FMEA

A integração das ferramentas QFD e FMEA é uma temática um pouco recente, visto que por muitos anos foram considerados como metodologias sem conexão. O QFD é utilizado na construção da qualidade do produto e no controle de processo permite levantar necessidades de qualidade demandada por clientes ou especialistas, permitindo a elaboração em especificações técnicas e os respectivos pesos, geram sua priorização e os índices de priorização (IP). O FMEA representa um passo sucessivo ao QFD em que os requisitos de qualidade priorizados geram um indicador de risco, compreendendo ações do processo mais susceptível de falha. Assim, essas ações podem ser antecipadas em soluções, permitindo a antecipação da falha e redução de perdas de processo (Frank *et al.*, 2008).

O uso integrado dessas ferramentas começou a ganhar destaque na literatura a partir de 2006, por meio de alguns trabalhos, como o modelo apresentado por Fernandes e Rebelato (2006) que implementaram um modelo gerado por índices de priorização obtidos pela matriz QFD e esses foram utilizados como índices de severidade no FMEA. Ainda segundo Fernandes e Rebelato, essa integração permite a obtenção de indicadores mais robustos para detecção da não-conformidade dos requisitos de qualidade de um produto e/ou processo. Em contrapartida, Frank *et al* (2009) sugere que a condução adotada por Fernandes e Rebelato (2006) pode ser um desafio para mensurar a severidade. Na pesquisa desenvolvida por Menna *et al* (2012), foi proposto uma integração entre os métodos baseado em Cheng e Melo Filho (2007), mas mantendo o formato original, possibilitando maior robustez de resultado e devido ao histórico de sucesso em outras aplicações.

A integração do QFD e FMEA tem sido aplicada em diversos segmentos para melhorias no processo, produto e serviços. No caso de processo, destacam-se a integração para o aprimoramento de projeto de plantas propulsão naval (Wang *et al.*, 2017), no desenho de válvulas de controle desde as etapas iniciais do projeto até a fabricação (Chang *et al.*, 2014), desenho de mesa de computadores do tipo desktop (Frank *et al.*, 2008), adequação de equipamento de potência máxima até 5CV a norma regulamentadora nº12 (Matos; Cecconello, 2019), melhorias de postos de trabalho em operação de apoio na fabricação de produtos de fio

e cabos de uso dual para uso militar ou civil (Dmitriev *et al.*, 2021) e na manutenção da qualidade no refino do petróleo (Rahman *et al.*, 2021).

No desenvolvimento de produtos, a integração foi utilizada para adequação de fatores ambientais, humanos e operacionais na qualidade do leite fresco processado (Dachyar; Rachmadhani, 2019), melhorias no processo de atendimento de pedidos na produção de embalagens alimentícias (Tanik *et al.*, 2010) e desenvolvimento de um tipo de refrigerante (Favaretto, 2009).

No setor de serviços, a integração do QFD e FMEA, foi empregada para eliminação de riscos e atender às expectativas dos clientes na gestão de frotas (Menna *et al.*, 2012), na definição de passos para instalação de eixo de propulsão em sistemas marítimos em decorrência da dificuldade de irreversibilidade e garantia de conclusão (Guo *et al.*, 2016), na adoção de medidas para melhorias de serviços e fidelização de clientes em farmácia de manipulação (Magnago *et al.*, 2010), na escolha de ações para melhorar a experiência de atendimento em um hospital público, como tempo de espera, comunicação ineficiente, processos administrativos e queixas de empatia (Altuntas; Kansu, 2019).

REFERÊNCIAS

- ABRACERVA. **Definição de cervejaria artesanal**. 2023. Disponível em:<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/cerveja/2023/4a-re-30-01-2023/definicao-de-cervejaria-artesanal.pdf/view>>. Acesso em: 09 set. 2025
- ABRANTES, J. **Gestão da qualidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009, p.369.
- ARCHANA, G.; GAURAV, S.; SHRUTI, M.; SARITA, M.; ANURADHA, S.; KUMAR, D.M. Beer Production by fermentation process: A review. 2024. **Journal of microbiology, Biotechnology and Food sciences**, v. 13, n. 4, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9532>
- ALTUNTAS, S.; KANSU, S. An innovative and integrated approach based on SERVQUAL, QFD and FMEA for service quality improvement. **Kybernetes**, v.49, n.10, p.2419-2453, 2019.
- AKOA, Y. **Quality Function: Integrating requirements into product design**. Cambridge: Productivity Press, 1990.
- BAMFORTH, C.W. **Brewing Materials and Processes: a Practical Approach to Beer Excellence**. 1 ed. California: Academic Press Elsevier, 2016.
- BARBOSA, S. J.; FALCI, V.; BARBETTA, P. V. C.; CALLIARI, C. M. Cerveja artesanal de alta fermentação adicionada de hibisco (*Hibiscus sabdariffa*). In: OLIVEIRA, A. F. De; STORTO, L. J. (Eds.). **Tópicos em Ciências e Tecnologia de Alimentos: Resultados de Pesquisas Acadêmicas - v. 3**. [S.l.]: Editora Blucher, 2017.
- BASSO, L. C.; BASSO, T. P.; BASSO, T. O. Aspectos fisiológicos e bioquímicos da fermentação etanólica nas destilarias Brasileiras. In: ALTERTHUM, F. **Biotechnologia Industrial: Fundamentos**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2020.
- BIANCHI, V. L.; SCHUINA, G. L. Cervejas. In: ALTERTHUM, F.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; MORAES, I. O. **Biotechnologia Industrial: Biotechnologia na produção de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2021. p. 101-132.
- BRASIL. Lei complementar 123. Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp123.htm>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- CABRAS, I.; KOGLER, D. F.; DAVIES, R. B.; HIGGINS, D. Beer, brewing, and regional studies. **Regional Studies**, n.10, v.57, p.1905-1908, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2216066>
- CARPINETTI, L.C.R.; GEROLAMO, M.C. **Gestão da Qualidade ISO 9001:2015**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- CHANG, M.H.; LIN, C.A.; CHANG, C.H.; CHENG, Y.J.; TSENG, P.Y. Integration with QFDs, TRIZ and FMEA for Control Valve Design. **Advanced Materials Research**, v.1021, p.167-180, 2014.
- CHENG, L.C.; MELO-FILHO, L.D.R. QFD: **Desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimentos de produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- CIVIL, M. **A Hymn to the beer goddess and a drinking song**: Studies presented to A. Leo Oppenheim June 7. 1 ed. Chicago: Oriental Institute Press, 1964, p.67-89.

DACHYAR, M.; RACHMADHANI, G.P. Factor influencing product quality in Milk Processing Industry. **Proceedings of the international conference on industrial engineering and operations management**, p.98-105, 2019.

DESALLE, R.; TATTERSALL, I. Beer in the Ancient World. *In*: DESALLE, R.; TATTERSALL, I. **Natural History of Beer**. 1 ed. New Heaven: Yale University Press, 2019, p.14-23.

DEWI, S.K.; PUTRI, A.R.C.; RAHMAWATIE, L. The implementation of quality function deployment (QFD) method to improve pasteurized milk product quality. *Industria Jurnal Teknologi dan manajemen agroindustry*, v.9, n.1, 2020, p.64-72.

DMITRIEV, A.Y.; MITROSHKINA, T.; RUSSKIKH, I.V. Synergy of QFD and FMEA methods to improve workplaces in aircraft wire manufacturing. **IOP conference series materials science and engineering**, v.1027, n.1, 2021.

DRAGONE, G. ; SILVA, T.A.O. ; SILVA, J.B.A. Cerveja. *In*: VENTURINI FILHO, W.G. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

EBLINGER, M. **Handbook of Brewing: Process, Tecnology, Markets**. 1 ed. Freiberga: Wiley – VCH, 2006.

FARBER, M.; BARTH, R. Brewing quality overview. *In*: FARBER, M.; BARTH, R. **Mastering Brewing Science Quality and Production**. 1 ed. Hoboken: Wiley, 2019. p.5-34.

FAVARETTO, R.G.; NOVASKI, O. Modelo de aplicação de QFD no desenvolvimento de bebidas. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado profissional em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

FERNANDES, J.M.R.; REBELATO, M.G. Proposta de um método de integração entre QFD e FMEA. **Gestão & Produção**, v.13, n.2, 245-259, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2006000200007>

FIGUEIREDO, A. *et al.* Clube Horta Ecológica: Desafios das Micro e Pequenas Empresas no Brasil: Uma análise sobre o papel do Gestor. *ID on line Revista de Psicologia*, v.17, n.65, p.480-488, 2023.

FLOGIATO, F.; RIBEIRO, J.L.D. Failure mode and effect analysis (FMEA). *In*: FLOGIATO, F.; RIBEIRO, J.L.D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FRANK, A.G.F.; PEDRINI, D.C.; ECHEVESTE, M.E. Integração das visões de QFD e FMEA por meio de um índice de risco de falhas modificado. **Actualidad y Nuevas Tendencias**, v.3, n.8, p.7-20, 2012.

GELLER, J. **From Prehistory to History: Beer in Egypt**. 1 ed. Oxford: Oxbow, 1992.

GUIMARÃES, A.; CARVALHO, K.C.M.; PAIXÃO, L.A.R. Micro, pequenas e medias empresas: Conceitos e estatísticas. 2018. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/portal/publicacao-item?id=4f2d859e-513d-4520-bbab-5c518d569a1e>>. Acesso em 10 set. 2025

GUO, Q.; SHENG, K.; WANG, Z.; ZHANG, X.; YANG, H.; MIAO, R. Research on element importance of shafting installation based on QFD and FMEA. **Precedia Engineering**, v. 174, p.677-685, 2017.

HUI, Y.H. **Handbook of Food Products Manufacturing**. In: WILLAERT, R. Chapter 20: The Beer Brewing Process: Wort Production and Beer Fermentation. 1 ed. California: Wiley-Interscience, 2006, p. 443-504.

JANISH, S. Dry hop best practices: Using Science as a Guide for Process and Recipe Development. **Master Brewers Association of the Americas**, v.58, n.1, 2021.

LEMES, A.B.; PISA, B.J. **Administrando Micro e Pequenas Empresas**: Empreendedorismo e Gestão. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

LOBO, R.N. Failure Mode and Effect Analysis. In: Lobo, R.N. **Gestão da qualidade**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020, p.159-165.

MATOS, V.S.; CECCONELLO, I. Integração QFD/FMEA no desenvolvimento de produto: um estudo de caso de uma empresa de automação. **Scientia cum Industria**, v.7, n.2, p.108-116, 2019.

MAGNAGO, P.F.; MARTINS, V.L.; NETO, A.R.; MENDES, A.A.; PINTO, F.S.T.; ECHEVESTE, M.E.S. Desenvolvimento de melhorias em serviços: QFD e FMEA como ferramentas de fidelização de clientes de uma farmácia de manipulação. **Revista Espacios**, 2010.

McGOVERN, P. E.; ZHANG, J.; TANG, J.; ZHANG, Z.; HALL, G. R.; MOREAU, R. A.; NÚÑEZ, A.; BUTRYM, E. D.; RICHARDS, M. P.; WANG, C.; CHENG, G.; ZHAO, Z.; WANG, C. Fermented beverages of pre- and proto-historic China. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.101, p. 17593-17598, 2004. <https://doi.org/10.1073/pnas.0407921102>

MEUSSDOERFFER, F.G. **A Comprehensive History of Beer Brewing**. In: EBLINGER, H.M. Handbook of Brewing: Processes, Technology and Markets. Weinheim: Wiley, 2009, p.1-37.

MIGUEL, P.A.C. QFD (*Quality Function Deployment*). In: MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: Enfoques e ferramentas**. São Paulo: Artliber. 2001, p. 188-204.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). Anuário da cerveja 2024: Ano de referência 2023). Brasília: MAPA/SDA, 2024. Disponível em: <<https://sindicerv.com.br/2025/wp-content/uploads/2024/05/Anuario-da-cerveja-2024-referencia-2023-MAPA-versao-web.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2025

MUHAMMAD, F.; MOHAMAD, E.; RAHMAN, A.A.A. Safety and quality improvement of street Food Packaging Design Using Quality Function Deployment. **International Journal of Integrated Engineering**, v.13, n.1, 2021, p.19-28. DOI: <https://doi.org/10.30880/ijie.2021.13.01.003>

NETO, R.S.; BORDIN, K. **Fermentação alcoólica baseada em grãos**. In: Martens, I.S. Fermentação: Como obter alimentos diversificados e saudáveis. 1 ed. Santana de Parnaíba: Manole, 2023.

NELSON, M. The cultural construction of Beer Among Greeks and Romans. **Syllecta Classica**, v.14, n.1, p.101-120, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1353/syl.2003.0005>

OLIVEIRA, O. J. Ferramentas da Qualidade. In: OLIVEIRA, O. J. Capítulo 4: **Curso básico de gestão da qualidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2020.

PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: Conceitos Consagrados pela prática**. In: PALADINI, E.P. *Gestão da Qualidade: Teoria e Prática*. 5 ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional (GEN), 2025, p.1-32.

POELMANS, E.; SWINNEN, J. A brief Economic History of Beer. In: SWINNEN, J. **The economics of beers**. 1 ed. New York: Oxford University Press, 2011, p.3-28.

POP, C.G.; MIRCEA, I. Application of QFD methodology (house of quality) for production of fruit ice cream. **Scientific Papers D. Animal Science**, v.63, n.1, 2020.

PRIM, A. L.; FREITAS, K. A.; PAIVA, E. L.; KUMAR, M. The development of quality capabilities in Brazilian Breweries: A co-evolutionary approach. **Internacional Journal of Production Economics**, v. 256, p. 1-14, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108717>

RAHMAN, F.; SAID, M.S.; HASSAN, A.; YUSOFF, M.; ATMADYAYA, S. Using QFD and FMEA to improve maintenance effectiveness in a Petroleum refinery. **Proceedings of the 2nd international conference on experimental and computational mechanics in engineering**, n.1, p.217-232, 2021.

RIHAR, L.; KUSAR, J. Implementing concurrent engineering and QFD method to achieve realization of sustainable project. *Sustainability*, v.13, n.3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031091>

ROCHA-FILHO, J.A.; VITOLO, M. **Guia para aulas práticas de biotecnologia de enzimas e fermentação**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2018, p.120-134.

SRAIR, M.V.B.; FRANCO, F.S.; BORTOLETO, G.G.; NASCIMENTO, D.D. Temperatura de armazenamento e a qualidade da cerveja não pasteurizada. **Bioenergia em revista: Diálogos**, v. 14, n.2, p. 9-35, 2024.

TANIK, M. Improving “order handling” process by using QFD and FMEA methodologies: A case study. **International Journal of quality& reliability Management**, n.27, v.4, p.403-423, 2010.

VENTORIM, R. *et al.* **Capítulo 3: Do processo fermentativo**. In: MARTIN, J.G.P.; LIDNER, J.D. **Microbiologia de alimentos fermentados**. São Paulo: Blucher, 2022.

WANG, C.; CHEN, K.; TAN, K. Lean Six Sigma applied to process performance and improvement model for the development of electric scooter water-cooling green motor assembly. **Production Planning & Control**, v. 30, n. 5–6, p. 400–412, 2019.

WANG, T.; LIU, J.; ZENG, F. Application of QFD e FMEA in Ship Power Plant Design. In: 10th International Symposium on Computational Intelligence and Design, Hangzhou/China. **Anais [...]**. Hangzhou: ISCID, 2017, p.467-470,

WUNDERLICH, S.; WERNER, B. **Overview of Manufacturing Beer: Ingredientes, Processes and Quality Criteria**. In: PREEDY. V. *Beer in Health and Disease Prevention*, 1 ed. London: Elsevier, 2009

3 DIRETRIZES PARA A SEGURANÇA DO ALIMENTO NA PRODUÇÃO DE CERVEJA

RESUMO

A segurança dos alimentos é um aspecto fundamental na indústria cervejeira, especialmente no contexto das microcervejarias, que operam com menor escala produtiva, maior intervenção humana e limitações estruturais e financeiras. Essas características podem aumentar a vulnerabilidade do processo produtivo a falhas relacionadas à contaminação química, física e microbiológica, comprometendo a qualidade do produto, a saúde do consumidor e a sustentabilidade do setor. Dessa forma, este estudo teve como objetivo investigar quais são as principais diretrizes para segurança do alimento na produção de cerveja. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, propósito descritivo, conduzida por meio de uma revisão bibliográfica assistemática e fundamentada na análise de conteúdo de obras clássicas e amplamente reconhecidas da tecnologia cervejeira. Como resultado, foi observado que as etapas de recebimento de matéria-prima, fervura, envase e sanitização pelo sistema CIP (*Clean in place*), são as etapas com maior necessidade de controle e mais suscetíveis a falhas. Além disso, a análise de conteúdo permitiu identificar e comparar as etapas do processo produtivo da cerveja e pontos de relevância para a segurança dos alimentos.

Palavras-chave: Indústria cervejeira. Processo. Fervura. Fermentação. Envase. CIP.

3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja no mundo, atrás apenas da China e Estados Unidos (Sindicerv, 2025). Este volume de produção movimenta uma cadeia produtiva de relevância nacional, abrangendo setores como a agricultura, pesquisa, indústria, logística e varejo (Ristow, 2020).

Nos últimos anos, a indústria cervejeira tem apresentado crescente expansão, impulsionada tanto pelo crescimento no número de cervejarias, quanto pela mudança no perfil do consumidor, cada vez mais interessado por novas experiências sensoriais, como os produtos artesanais e o nicho *premium* (Betancur *et al.*, 2020; Limberger, 2024). Segundo o Anuário da Cerveja 2024, no ano de 2023 houve registro de 1.847 novas cervejarias, representando um aumento de cerca de 6,8% em relação ao ano anterior (Brasil, 2024). Além disso, conforme reportado pelo Sindicerv (2025), o setor é responsável por cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB), além de contribuir, direta ou indiretamente, com cerca de 2,5 milhões de empregos.

Apesar do setor produtivo ser dominado por grandes empresas, são as microcervejarias que concentram a maior parte dos postos de trabalho (Rio Grande do Sul, 2023), evidenciando o potencial destas empresas no fortalecimento da economia local. As microcervejarias podem ser definidas como fábricas com capacidade de produção de até 200

mil litros mensais, com grande ênfase em tradição, diferenciação local e atuação em nichos específicos (Castilho; Maymone; Oliveira, 2016; Rosa; Vieira; Sausen, 2023; SEBRAE, 2023). Todavia, estes empreendimentos também enfrentam diversos desafios, como a dificuldade de adentrar em um mercado fortemente dominado por grandes empresas, restrição à linhas de crédito e elevada carga tributária, impactando diretamente no investimento em infraestrutura e capital tecnológico (Kronbauer; Carlin, 2020; Moreira, 2014; Rosa; Vieira; Sausen, 2023).

Esses desafios econômicos se tornam críticos quando considerada a dependência de matéria-prima importada. Há evidências de que 98% de todo o lúpulo seja proveniente de importações, implicando no pagamento de taxas de importação e suscetibilidade às flutuações do mercado (Ruggeri *et al.*, 2024). Embora o lúpulo seja empregado em pequenas quantidades, possui papel essencial na produção de cerveja, sendo responsável por conferir o aroma e amargor típico da bebida (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019).

Outro desafio enfrentado pelas microcervejarias está associado à estrutura laboratorial, investimento este essencial para identificação de falhas e pontos críticos no processo produtivo (Andrade, 2020; González De Llano; Rodríguez-Saavedra; Moreno-Arribas, 2025). O controle de qualidade adequado envolve uma série de procedimentos experimentais, desde a etapa de seleção da matéria-prima, até o controle de fermentação e envase (Turvey *et al.*, 2017). Neste sentido, as análises físico-químicas são responsáveis por assegurar a estabilidade, segurança e sabor do produto, além de conformidade com a norma legal brasileira (Anderson *et al.*, 2019; Ciont *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023). Análises microbiológicas, por outro lado, garantem a qualidade da matéria-prima, ausência de microrganismos contaminantes e segurança microbiológica para venda (Oldham; Held, 2023).

Neste contexto, é importante considerar que microcervejarias utilizam matérias-primas de diferentes origens e produzem estoques limitados, logo, a falta de investimento em estrutura laboratorial pode impactar significativamente na padronização do produto (Díaz *et al.*, 2022; Mendes Neto, 2022). De fato, alguns dos principais problemas encontrados na produção estão associados à falta de controle da densidade durante a fase de fermentação, impactando negativamente no aroma e sabor da bebida (Venturini *et al.*, 2025). Além disso, as leveduras deteriorantes, presentes no ar, em matérias-primas contaminadas ou equipamentos mal higienizados, podem competir com a levedura responsável pela fermentação, reduzindo sua eficiência e qualidade sensorial da bebida (Ciont *et al.*, 2022; Suiker; Wösten, 2022). Cabe mencionar que a presença de fungos filamentosos ou de contaminantes emergentes, como metais pesados e microplásticos, podem causar danos à saúde do consumidor (González De Llano; Rodríguez-Saavedra; Moreno-Arribas, 2025).

Ademais, Nedovic *et al* (2016) mencionam que casos de doenças transmitidas por alimentos está se tornando cada vez mais comum, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. O impacto das doenças transmitidas por alimentos não se restringe à saúde humana, mas gera também perdas econômicas significativas e sobrecarga nos sistemas de saúde.

Atualmente, é crescente o número de estudos com ênfase em aspectos geográficos, culturais ou inovação, todavia, há uma escassez de pesquisas que aprofundam em aspectos técnicos da produção em microcervejarias, como melhoria da eficiência produtiva e otimização do controle de qualidade (Andrade, 2020; Ristow, 2020). Associado a isso, há uma tendência para que os estudos agrupem a indústria de bebidas e/ou alimentos de forma generalista, ignorando aspectos específicos da cadeia produtiva da cerveja (Rodrigues; Vale; Corrêa, 2023). Além disso, a maioria dos estudos relacionados a indústria, refere-se a um processo industrial sofisticado, com etapas bem estabelecidas e grande foco em parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Nesse sentido, grande parte do conhecimento abordado na literatura se refere a modelos industriais ideais, estabelecidos para grandes indústrias e com maior disponibilidade de recursos, laboratórios completos e processos altamente padronizados. Tal abordagem, embora valiosa teoricamente, não reflete a realidade das microcervejarias, especialmente pela infraestrutura reduzida, adaptações constantes e desafios operacionais. Ainda segundo Andrade (2020) e Ristow (2020), a literatura carece de estudos mais específicos sobre pequenas unidades produtivas e principais gargalos da produção.

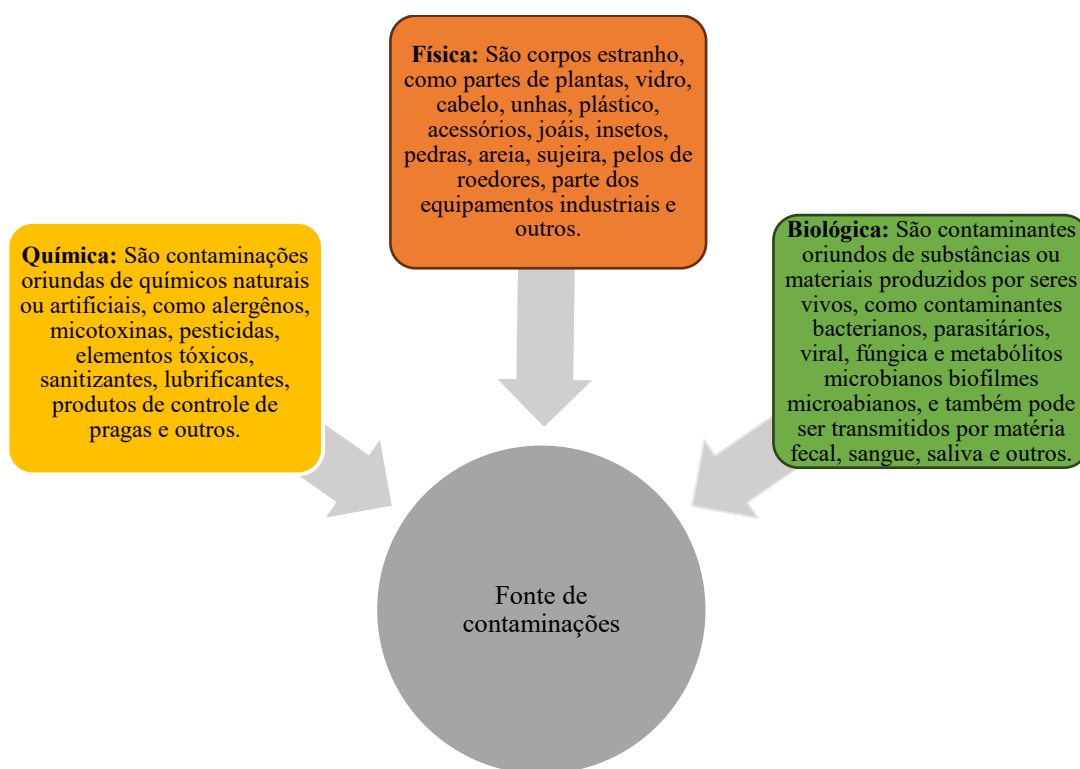
Por outro lado, é importante ressaltar que as pequenas empresas, incluindo as microcervejarias, normalmente não possuem margem de manobra que permite identificar rapidamente falhas e implementar correções de maneira mais completa. Como consequência, um erro grave no processo produtivo que poderia ser facilmente absorvido por protocolos de contingência e expertise técnica, pode representar perdas econômicas, riscos à saúde do consumidor e até a ameaça de continuidade do negócio. Essa disparidade evidencia a vulnerabilidade das pequenas unidades produtivas, assim como a importância de abordar uma resiliência operacional diferenciada entre grandes e pequenas empresas (Koporic *et al.*, 2025; Sullivan-Taylor; Branicki, 2011; Heller *et al.*, 2025). Diante do exposto, essa pesquisa teve como objetivo investigar quais são as principais diretrizes para segurança do alimento na produção de cerveja. Esse processo de investigação utilizou três principais obras, sendo estas Eblinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019).

3.2 REVISÃO TEÓRICA

3.2.1 Conceito da Segurança dos Alimentos

A segurança dos alimentos adota métodos científicos na preparação, no manuseio e no armazenamento de alimentos para prevenir doenças transmitidas por alimentos. Esses métodos incluem diversas rotinas que devem ser seguidas para prevenir possíveis riscos à saúde. Os alimentos são considerados contaminados quando existe pelo menos a presença de uma substância indesejada ou insegura, podendo ocorrer desde a etapa de colheita, produção, comercialização, preparo, embalagem, transporte, armazenamento. Essas contaminações podem ser de natureza química, física ou biológica (Awuchi, 2023; Lebelo *et al.*, 2021; Kamboj *et al.*, 2020), conforme observado na Figura 8.

Figura 8 - Fontes de contaminações química, física e biológica



Fonte: Adaptada de Awuchi, 2023; Lebelo *et al.*, 2021; Kamboj *et al.* (2020)

Na indústria da produção de cerveja, a cerveja pode ser contaminada pela presença de micotoxinas provenientes dos grãos contaminados por fungos, podendo comprometer a saúde dos consumidores devido ocasionar baixa imunidade, distúrbios do sistema reprodutivo

e danos a órgãos vitais, como fígado e rins (Wu *et al.*, 2024). As matérias primas da cerveja também podem carregar contaminantes químicos como metais pesados (Eliaza *et al.*, 2024) e pesticidas (Kaczyński *et al.*, 2024). Sobre os contaminantes físicos podem ser encontrados insetos e fragmentos de roedores provenientes de infestação na armazenagem, portanto devem ser comprados em pouca quantidade e armazenados em local com controle de umidade, temperatura e condições sanitárias. Esses contaminantes físicos também podem vir da colheita, sendo necessário a verificação de laudos dos fornecedores e amostragem dos produtos (Hagstrum *et al.*, 1999). Na sanitização da linha pós-produção, pode ficar algum residual de produtos químicos, uma vez que segundo Angassa *et al* (2022) são utilizados no sistema de limpeza e sanitização (*Clean-in-place*, CIP), diferentes produtos químicos como hidróxido de sódio (NaOH), ácido fosfórico (H₃PO₄), ácido nítrico (HNO₃), entre outros. A junção desses produtos químicos na dosagem correta permita a remoção de biofilmes e carga orgânica nas tubulações e equipamentos, reduzindo risco de contaminação biológica, mas deve ocorrer um enxague e remoção adequada.

No Brasil, a segurança dos alimentos para cerveja, deve seguir critérios e regulamentações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento (MAPA), Ministério da Saúde e legislações locais e internacionais, no caso de exportações. Assim, o Brasil implementou regulamentações federais e regionais que abrangem programas de boas práticas de fabricação (BPF), procedimentos operacionais padronizados (POP) e análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC), com propósito de atender as recomendações da organização mundial da saúde (OMS) (Arisseto-Bragotto *et al.*, 2017).

Quando não há conformidade com esses requisitos, podem ocorrer riscos à saúde do consumidor, prejuízos econômicos às indústrias, recall de produtos e sanções legais, além de danos à reputação da marca (Ahsan; Gunawan, 2014). De acordo com Ahsan e Gunawan (2014), o recall (chamamento para devolução) de produtos geralmente ocorrem devido preocupações com a segurança, sendo as razões principais as falhas de produção, defeitos de projeto, instruções e advertências inadequadas, novas informações científicas sobre perigos os materiais adotados, contaminação e outros problemas que podem interferir nas capacidades de desempenhar sua função pretendida durante sua vida útil.

No caso da saúde humana, podem ocorrer infecções, intoxicações, toxinfecções, lesões físicas e engasgamentos, quando contaminações físicas (Das *et al.*, 2023; ANVISA, 2025). Segundo Shang e Tonsor (2017), o *recall* de segurança dos alimentos tendem a gerar um encolhimento do setor na região, assim como de algumas categorias similares. Em seu estudo,

os autores perceberam que o recall de produtos contaminados sinaliza aos consumidores baixa qualidade e afetam a confiança, reduzindo a demanda por determinados produtos. Assim, recalls relacionados à presença da bactéria *Escherichia coli* em carnes bovinas reduziram a demanda por carne moída em diversas regiões.

Segundo Yue *et al* (2023), entre 2016 e 2021, no Reino Unido a maioria dos processos de *recall* (chamada de recolhimento) do segmento alimentício foram devido a presença de alergênicos, contaminações microbiológicas, físicas, químicas, higiene imprópria e rótulos. Dessa forma, a segurança alimentar na produção dos alimentos, incluindo a cerveja, é essencial para proteger a saúde do consumidor, preservar a credibilidade e viabilidade econômica das indústrias.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em relação aos procedimentos metodológicos, adotou-se uma abordagem qualitativa. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa com abordagem qualitativa busca entender as razões do acontecimento de um fenômeno, sem a preocupação com a representatividade numérica, conforme Quadro 5. Esse fenômeno pode envolver a compreensão de um grupo social, de uma organização, um recorte social e outros aspectos da realidade, de maneira que o pesquisador não possa fazer julgamento nem permitir que seus preconceitos e crenças contaminem a pesquisa. Para isso, analisa-se dados não-métricos.

Quadro 5 - Caracterização da metodologia de pesquisa

Tipo de pesquisa	Classificação
Abordagem	Qualitativa
Objetivo	Descritivo
Procedimento	Bibliográfico
Revisão de literatura	Assistemática

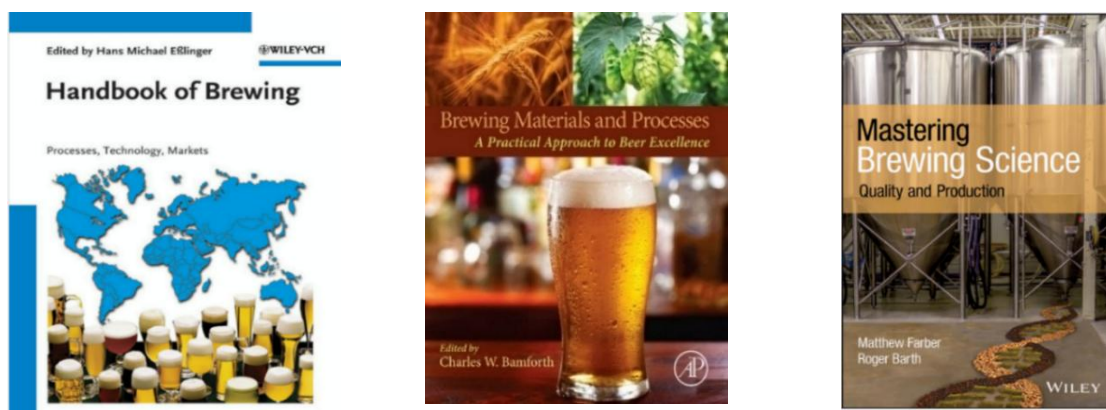
Fonte: Elaborado pela autora (2026)

O propósito, por sua vez, é descritivo por proporcionar a racionalização dos aspectos da produção de cerveja, permitindo descobrir a frequência, natureza, características, causas e relações com outros fatos (Gil, 2002). Em relação aos procedimentos, em primeiro momento, essa pesquisa adotou o levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas em meios físicos e eletrônicos, tais como livros, artigos científicos e outros, nomeada como pesquisa de literatura. Em relação ao tipo de revisão de literatura, essa pesquisa utilizou a revisão assistemática, adotando a técnica “bola de neve” na análise de referências de

outros artigos e livros que pode ser definida como a busca de fontes citadas em trabalhos anteriores por meio de palavras-chaves à medida que o foco da pesquisa se define melhor e o pesquisador adquire familiaridade com a literatura da área (Ridley, 2012).

A teoria foi, principalmente, obtida pela análise de conteúdo de três obras, Eblinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019), conforme Figura 9. A seleção das obras de Eblinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019) fundamentou-se em critérios de relevância, autoridade e abrangência temática. Tais autores são amplamente reconhecidos na área de tecnologia cervejeira e possuem experiência consolidada tanto em pesquisa quanto em aplicação industrial para grandes cervejarias.

Figura 9 - Obras base submetidas a análise de conteúdo



1) EBLINGER, M. **Handbook of Brewing: Process, Technology, Markets**. 1 ed. Freiberga: Wiley – VCH, 2006.

2) BAMFORTH, C.W. **Brewing Materials and Processes: a Practical Approach to Beer Excellence**. 1 ed. California: Academic Press Elsevier, 2016.

3) FARBER, M.; BARTH, R. **Mastering Brewing Science Quality and Production**. 1 ed. Hoboken: Wiley, 2019.

Fonte: Elaborada pela autora (2026)

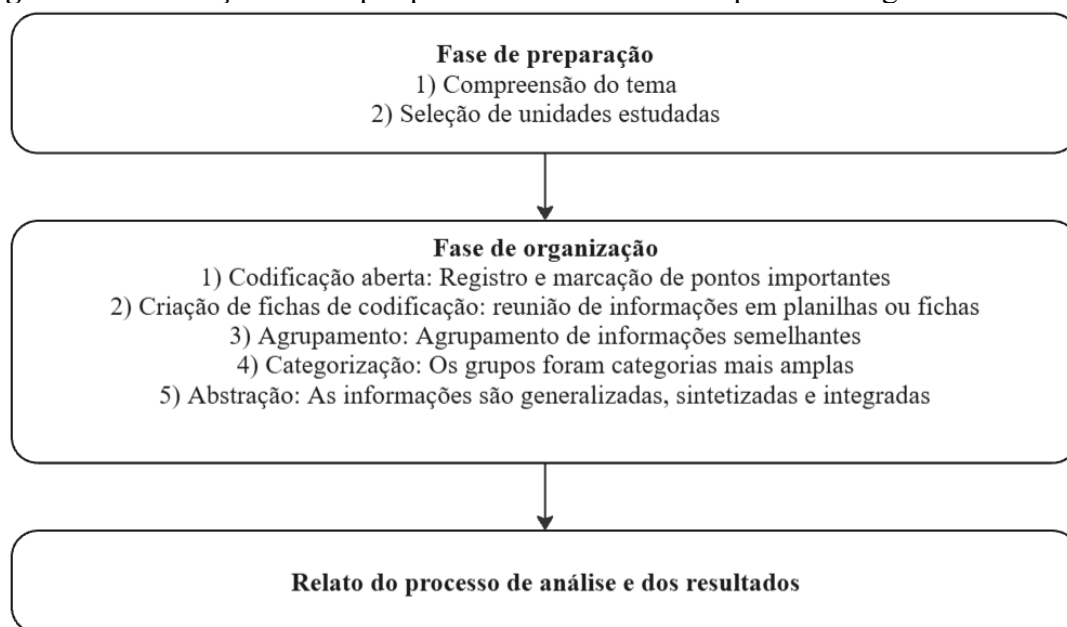
A obra *Handbook of Brewing: Process, Technology, Markets* (Eblinger, 2006) é considerado uma referência clássica no estudo dos processos produtivos e do mercado cervejeiro, abordando fundamentos físico-químicos e microbiológicos da fabricação de cerveja. A obra *Brewing Materials and Processes: A Practical Approach to Beer Excellence* (Bamforth, 2016), por sua vez, destaca-se pelo enfoque prático e pela discussão aprofundada sobre o controle de qualidade e os parâmetros tecnológicos que influenciam o produto. Enquanto, a obra *Mastering Brewing Science: Quality and Production* (Farber; Barth, 2019) traz

contribuições atuais sobre gestão de qualidade, segurança de alimentos e otimização produtiva, articulando aspectos científicos e industriais.

Dessa forma, a escolha desses autores permitiu a construção de uma base teórica sólida e atual, contemplando desde os princípios clássicos da produção até as tendências recentes em controle de qualidade e segurança do produto. Em contrapartida, não se utilizou artigos por não contemplarem o nível de detalhamento do processo que seria necessário para condução dessa pesquisa

A análise de conteúdo dessas obras foi realizada pela abordagem indutiva conforme a metodologia definida por Elo e Kyngäs (2007), descrito na Figura 10, uma vez que essa abordagem analisa dados qualitativos em que as categorias, temas e interpretações emergem diretamente dos dados, sem definições ou hipóteses próprias do pesquisador.

Figura 10 - Descrição das etapas para análise de conteúdo pela abordagem indutiva



Fonte: Adaptada de Elo e Kyngäs (2007)

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Análise de conteúdo da literatura base

Os quadros a seguir, descrevem o conteúdo da análise de conteúdo realizada nas obras Eblinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019), conforme mencionado na metodologia. A produção de cerveja envolve três principais insumos: a água, o malte e a levedura em acordo com a Lei da pureza, descritos pelos Quadros 6, 7 e 8. Enquanto seu processo de produção envolve as etapas de moagem, brassagem ou mostura, filtração, fervura,

resfriamento, fermentação, maturação e envase, descritos pelos Quadros 9, 10, 11, 12, 13, 14, e 15.

A água é o insumo utilizado em maior quantidade no processo produtivo da cerveja, sendo, portanto, um dos principais fatores que influenciam diretamente suas propriedades organolépticas, conforme Quadro 6. Além de representar o maior volume entre as matérias-primas, sua composição química e biológica afeta todas as etapas de produção, podendo alterar significativamente as características sensoriais do produto. Nas obras foi observado convergência de informações sobre a importância de um relatório adequado desse insumo para a fabricação de cerveja deve incluir a análise das concentrações de dureza total, cálcio, magnésio, alcalinidade, sulfato, cloreto, sódio e nitrato. Além disso, Bamforth (2016) menciona também que a água deve possuir as características de potabilidade e quando captada de poços, incluindo análises microbiológicas.

Quadro 6 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre o insumo água

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	Aborda sobre requerimentos gerais da água, características dos constituintes, critérios de qualidade, tratamento adequado. É mencionado a importância do controle do cálcio (que junto ao magnésio) contribui para dureza total, em excesso, forma sais insolúveis. Além disso um pH muito básico causa inibição das enzimas.	Análise da dureza e pH
2	Aborda, principalmente, aspectos gerais para o tratamento da água, como a importância de manter a integridade das instalações para evitar desperdício e segurança, monitoramento constante da água, evitar pontos mortos no CIP (<i>Clean in place</i>). O autor também menciona a importância de separar a água de produto (que faz parte da cerveja) e água de serviço (para limpeza, resfriamento e outros), assim como também separar a água de produto em água para brassagem e água de diluição, cada uma com requisitos específicos. Deve-se evitar desinfecção química da água por deixar resíduos, afetando na fermentação pelas leveduras. O cálcio seria o componente mais importante, pois junto aos fosfatos pode afetar o pH. Importante verificar características gerais de potabilidade.	Análise da dureza, pH, monitoramento e determinação de indicadores para cada tipo de água.
3	Aborda como a qualidade da água como um fator essencial, pois é o principal ingrediente, afetando no produto em termos sensoriais e rendimento produtivo. O controle de traços minerais e químicos na água é fundamental para garantir consistência e perfil desejado da cerveja. A dureza da água causa tanto resultados positivos, quanto negativos, por isso deve ser controlada. No positivo é cofator para várias enzimas e reduz o pH. No negativo, floculação de leveduras e formação de depósitos em tubulações e outros.	Análise da dureza, pH e relatório de alguns componentes.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

O malte influencia diretamente na cor, espuma, estabilidade e outras características da cerveja, conforme Quadro 7. É importante avaliar alguns pontos acerca do malte, como: friabilidade, umidade, poder diastático (capacidade de enzimas do malte de converter amido),

condições de torrefação, granulometria, cor, sabor e presença de impurezas/insetos. Essas informações, normalmente, são obtidas na compra do produto por laudo de fornecedores. Em relação a segurança dos alimentos, Bamforth (2016) também menciona que o malte pode carregar contaminantes residuais, incluindo algumas toxinas fúngicas e defensivos agrícolas, as aflatoxinas em algumas condições ambientais. Em complemento, Farber e Barth (2019), reforçam a importância de analisar os grãos de malte, verificando aroma, presença de mofo e infestações por pragas, como insetos e ácaros. Algumas recomendações são verificar alterações na coloração que indica baixa qualidade, testes de flutuações para verificar taxa de infestação por pragas e verificação visual de mofo.

Quadro 7 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre o insumo malte

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	Menciona que a qualidade do malte influencia no sabor, cor, espuma e estabilidade. Alguns parâmetros importantes para considerar: 1) Citólise: descreve a degradação das substâncias de suporte e estruturais das paredes (revestimento), assim quando a degradação dessas substâncias é alta no processo de malteação, o ataque enzimático ao amido no processo de brassagem é mais fácil, logo mais rendimento; 2) proteólise: conversão das proteínas dos grãos para açúcares que podem ser fermentados, aumentando o rendimento; e 3) Amilólise: está relacionado com o poder de atuação da alfa-amilase.	Solicitar laudo do fornecedor com características do malte
2	Menciona que o malte afeta no sabor e aroma da bebida. Alguns pontos importantes para avaliar é: friabilidade (tendência de se desintegrar e deve ser maior do que 85%) e cor (claro, dourado e marrom). Uma das variedades de cevada mais empregada no malte é a cevada de duas fileiras, pois possui tamanho uniforme, casca fina, menos polifenóis, menor teor de proteína total, maior extração e menos beta-glucano. Mesmo com o laudo é importante identificar também a qualidade do malte, especialmente risco por contaminações por aflatoxinas.	Solicitar laudo do fornecedor com características do malte
3	Menciona que maltes mais escuros são mais ácidos do que os maltes mais pálidos, assim a água mais alcalina favorece cervejas mais escuras. Além disso, o malte fornece componentes essenciais como: amido (carboidratos complexos), enzimas (para gerar os carboidratos simples a partir do amido), proteínas (afetam na espuma e turbidez), proteases para gerar nitrogênio aminoácido livre, promovendo o extrato, lipídios, polifenóis/taninos e vitaminas). Além desses aspectos, deve-se considerar também a qualidade do malte, em termos de produto com estado de frescor, ausência de mofo e infestações por pragas.	Solicitar laudo do fornecedor com características do malte

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

As obras demonstram uma convergência de informações sobre a composição do mosto, conforme Quadro 8. A composição do mosto é importante para desenvolvimento da levedura, de modo que cada etapa de desenvolvimento possui uma exigência diferente. Esses aspectos vão definir o resultado do processo fermentativo em relação a qualidade, tempo e

produtos formados. Além disso, deve ter uma grande precaução quanto a contaminação por bactérias ou cepas de leveduras selvagens. Recomenda-se análises também da viabilidade celular da levedura.

Quadro 8 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre o insumo levedura

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	Cita aspectos gerais das leveduras, como morfologia, composição química e requerimentos para fermentação, processo metabólicos, formação de compostos indesejáveis e desejáveis, replicação em laboratório e tratamento para reutilização. A levedura, é um microrganismo, responsável para conversão dos açúcares do mosto em álcool, sendo os principais açúcares: a frutose, a glicose, a sacarose, a maltose, maltotriose e dextrinas. Exceto as dextrinas, todos são fermentescíveis. Antes de iniciar a fermentação, na inoculação em mosto aerado, permitindo crescimento e propagação celular. Após o consumo de oxigênio, ocorre a fermentação. Alguns minerais contribuem para fisiologia da levedura, influenciando na integridade celular, floculação, expressão gênica, divisão celular e atividade enzimática (como, potássio, Magnésio, Cálcio e Zinco). Alguns compostos são reduzidos após a fermentação pela própria levedura, caso a floculação ocorra antes do tempo, alguns compostos indesejáveis podem permanecer, como o Diacetil que gera um sabor e aroma amanteigado. Após a fermentação, cerca de 90% dos álcoois já estão produzindo, mas alguns ainda serão produzidos na maturação, com impressões de aroma desde floral até alcoólica. Recomenda-se o reciclo da levedura até 4 semanas ou manter por períodos mais longos desde que tratada e armazenada.	Monitoramento das condições do mosto (composição e pH) parâmetros operacionais (Temperatura, velocidade e gestão de pressão). A reciclagem das células depende de armazenamento específico.
2	Cita aspectos gerais das leveduras, como estrutura celular, requerimentos para crescimento e fermentação, influência do pH durante a fermentação. A diferença de atuação entre cepas de leveduras industriais e selvagens. Além disso, é definido as diferenças entre viabilidade e vitalidade da levedura, sendo a viabilidade definida pela capacidade de realizar certas funções, como a fermentação, embora não possa ser capaz de se reproduzir, pois existe um limite no número de vezes que uma levedura pode se reproduzir, ou seja se refere apenas a estar “viva ou morta”. Enquanto vitalidade, refere-se à saúde da levedura, em termos metabólicos.	As características do malte impactam nas necessidades nutricionais da levedura.
3	Cita poucos aspectos das leveduras, mas menciona o uso da cepa <i>Sacharromyces spp.</i> e outras para estilos especiais de cerveja. Relaciona o processo de fermentação a clássica curva de crescimento microbiológico, caracterizado pelas fases de latência, exponencial, estacionária e, finalmente, a fase de declínio. Cada fase é relacionada com condições mínimas para ocorrência. Na fase de latência, o elemento mais essencial é o zinco, fornecido pelo malte, uma vez que esse elemento é cofator para enzima álcool desidrogenase. Nessa fase também é requerido oxigênio para produzir esteróis e ácidos graxos insaturados, componentes essenciais da membrana celular. Assim, dão entrada na fase exponencial (crescimento), dividindo-se por duas a três durante uma fermentação normal. Certos ésteres, fenóis, álcoois superiores, compostos de enxofre e outros compostos são produzidos e permanecem na cerveja. Outros compostos produzidos são reabsorvidos pela levedura durante a maturação, como acetaldeído e diacetil. Na fase final, ocorre o declínio, ocorrendo redução do número de células pela floculação, ocorrendo algumas poucas mortes celulares.	Explica sobre as fases de crescimento da levedura e aspectos nutricionais

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

A primeira etapa do processo de produção da cerveja é a moagem, descrita no Quadro 9. Há convergência de informações nas obras sobre ser essencial que a moagem gere partículas de tamanho uniforme, rompa o endosperma dos grãos para liberar os compostos fermentescíveis nas etapas subsequentes. Não deve ser muito fina e nem muito grossa. Outro ponto, é manter a integridade da casca, quando se usa um *Launter tun*, pois o excesso de fragmentação pode gerar obstrução do fluxo do sistema. A escolha do método exige uma configuração que equilibre velocidade de filtragem, rendimento de extrato e facilidade de clarificação. Sobre a segurança dos alimentos, Farber e Barth (2019), reforçam a possibilidade de presença de insetos que deve ser verificado antes da moagem.

Quadro 9 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de moagem

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	A redução dos grãos ocorre por moagem, sendo essencial extrair ao máximo o interior do grão de malte ou cereal a partir do endosperma, facilitando a extração e diluição futura. Contudo, as cascas devem permanecer integras para formar um bolo filtrante permeável, quando se usa um <i>Launter tun</i> . Se a moagem for excessiva, dificulta a clarificação e se for pouco, ocorre perda de rendimento, pois o amido aderido à casca do grão é descartado. A moagem mais comum é a seco.	Uso de peneiras para padronizar os grãos
2	É mencionado que o malte deve ser fácil de se desintegrar. Além disso, a granulometria dos grãos moídos depende do sistema de separação do mosto utilizado, sendo o mais comum a separação por <i>Launter Tun</i> . No caso do <i>Launter Tun</i> deve-se manter a integridade das cascas para formar um bolo filtrante permeável menor partículas finas (farinha).	Adaptar a moagem aos métodos de separação do mosto.
3	É importante inspecionar o malte no recebimento, especialmente para detectar insetos. A moagem expõe o amido e libera as enzimas formadas na malteação, mas as cascas devem permanecer inteiras para manter a permeabilidade da mistura, evitando que a pasta de amido obstrua o fluxo no sistema <i>Launter Tun</i> . O excesso de moagem gera pó, aumenta a extração de taninos (sabor adstringente) e reduz a qualidade da filtragem/clarificação. A moagem deve ser feita pouco antes da produção, pois o armazenamento por mais de 24 horas favorece a ação da lipoxigenase, que oxida gorduras e acelera o envelhecimento da cerveja. A sala de moagem deve ser isolada para evitar a contaminação por pó.	Realizar a Inspeção de qualidade dos grãos e avaliar o grau de moagem.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

Na etapa da brassagem ou mostura, os componentes do malte, como amido, proteínas, polissacarídeos, são solubilizados por meio de ações enzimáticas, químicas e físicas, resultando na formação do mosto, conforme Quadro 10. Nessa etapa, a temperatura e o pH são fatores decisivos, uma vez que são precursores para ativação ou inativação de enzimas, sendo que cada grupo enzimático atua em um componente diferente do malte. Logo, ocorre a conversão do amido principalmente em açúcares fermentescíveis e dextrinas.

Quadro 10 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de mostura

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	A mostura consiste na solubilização dos componentes do malte por processos enzimáticos, físicos e químicos. As principais classes de compostos envolvidos são amido, proteínas e substâncias da parede celular, que são dissolvidos principalmente por hidrólise. Os lipídios são degradados por autooxidação e por via enzimática, originando diversos produtos. Os polifenóis passam por oxidação e polimerização, reduzindo antioxidantes naturais e, conseqüentemente, a estabilidade do sabor. Em alguns casos, aplica-se uma taxa de aquecimento elevada para inibir reações enzimáticas indesejadas, como a formação de maltose em cervejas de baixo teor alcoólico. Ao longo da mostura, as rampas de temperatura ativam diferentes enzimas responsáveis pela liberação do amido e sua conversão em açúcares simples.	Definição da rampa de aquecimento e pH para ativação das enzimas atuante no processo
2	Nessa etapa ocorre uma rampa de temperaturas que ativam enzimas como alfa-amilase, beta-amilase e, em menor grau, dextrinase limitante, além de outras. Além disso, é mencionado a importância de um pH ideal na rampa de temperaturas.	Ativação de faixas de temperatura para atuação de enzimas
3	Na mosturação, o malte moído é misturado com água e mantido em temperaturas ideais para que as enzimas convertam o amido insolúvel em carboidratos solúveis, formando o mosto. O processo de mosturação transforma o amido em açúcares fermentáveis e dextrinas (carboidratos não fermentáveis que conferem corpo à cerveja). As principais enzimas envolvidas são: α -amilase, β -amilase, proteases, β -glucanases e Lipoxigenases. As faixas de temperaturas ativam e pH essas enzimas, permitindo a transformação de cada molécula em açúcares fermentáveis.	Definição da rampa de aquecimento e pH para ativação das enzimas atuante no processo

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

Na filtração, busca-se obter um líquido com moléculas fermentescíveis dissolvidas, para isso após a dissolução do malte em água, remove-se o residual sólido, conforme descrito no Quadro 11. Nesse processo ocorre uma perda de água por umidade das cascas. Por outro lado, também, deve-se realizar a lavagem das cascas e outros resíduos para a máxima recuperação de moléculas fermentescíveis. Não foi verificado a menção de aspectos que podem influenciar na segurança dos alimentos.

Quadro 11 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de filtração

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	A filtração pode ser feita por um equipamento chamado de <i>Tun</i> de lauturação (tanque com um fundo falso). As cascas retidas no fundo falso são lavadas para recuperar os açúcares fermentescíveis. Também, deve-se realizar uma etapa de clarificação para remoção das partículas menores. Assim, a parte sólida fica retida no tanque e o mosto que escorre deve ser o mais claro possível, para que nenhuma partícula que possa se desintegrar ainda mais durante a fervura e apenas pequenas quantidades dos ácidos graxos de cadeia longa, que destroem a espuma, entrem no tanque.	Separar os resíduos sólidos do mosto
2	Nessa etapa ocorre uma perda substancial de água que é absorvido pelas cascas do malte.	Analisar umidade das cascas
3	Após a conclusão da mosturação, o <i>tun</i> de mostura contém uma mistura de carboidratos dissolvidos e partículas não dissolvidas, incluindo cascas de grãos, gorduras e proteínas. Durante a separação, o mosto rico em carboidratos é removido, pois será necessário para a fermentação subsequente. O principal objetivo da separação do mosto é extrair o máximo de carboidratos possível da cama de grãos, evitando a transferência de cascas ou a extração de taninos amargos. Existem vários métodos para a separação do mosto; cada um é uma variação da filtração. O mosto é passado por poros que são pequenos demais para permitir a passagem das partículas não dissolvidas, mas grandes o suficiente para permitir uma taxa de fluxo satisfatória do mosto. Na lauturação, as cascas do grão servem como o meio de filtração. Todos os métodos de separação do mosto envolvem duas etapas: (i) a coleta do primeiro mosto e (ii) a lavagem (<i>sparging</i>) dos grãos para produzir o segundo mosto.	Separar os resíduos sólidos do mosto

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

Na etapa de fervura do mosto ocorre a isomerização dos ácidos alfa do lúpulo, promovendo o amargor, além de esterilizar o mosto, inativação de enzimas indesejadas e remoção de compostos voláteis como DMS (aroma de manteiga ou repolho) e mirceno (sabor terroso) em acordo com o Quadro 12. Também ajuda na concentração do mosto por evaporação e na formação de precipitados que devem ser removidos na clarificação junto ao resfriamento a fim de evitar sedimentações na etapa de envase do produto. Farber e Barth (2019) mencionam também que a fervura é essencial para esterilização do mosto cervejeiro, eliminando possíveis microrganismos presentes na matéria-prima.

Quadro 12 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de fervura

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	Os passos necessários para a fervura do mosto podem ser aproximadamente divididos em dois processos: aquecimento e evaporação. Durante o aquecimento, diferentes reações químicas ocorrem, como isomerização do lúpulo, desenvolvimento de substâncias aromáticas, desenvolvimento de cor e processos de dissolução, além da inativação de enzimas e esterilização. A inativação das enzimas da cevada é necessária, caso contrário, o resultaria em perfis de sabor atípicos (por exemplo, cervejas super-fermentadas e descontroladas). Além disso, durante a fervura do mosto, as proteínas e os complexos de proteínas e taninos (<i>break</i>) precisam ser eliminados para obter o mosto clarificado. Para o cliente, cerveja turva é motivo de reclamação. As reações de <i>Maillard</i> que ocorrem a cerca de 80°C geram novas substâncias aromáticas. A evaporação serve para remover substâncias aromáticas indesejadas, como mirceno dos lúpulos, e diferentes substâncias carbonílicas e sulfurosas, especialmente o dimetilsulfeto (DMS) - é um composto volátil do enxofre e ele é principalmente responsável por aromas e sabores indesejáveis. As substâncias aromáticas provenientes do metabolismo lipídico também são reduzidas pela evaporação durante a fervura do mosto.	Analisar taxa de evaporação e temperatura para inativação de enzimas e microrganismos.
2	Após a queda de temperatura com a finalização da fervura, qualquer bactéria ou levedura selvagem presente nas superfícies pode se multiplicar no meio rico. Contudo em sistema controlado, após a fervura a probabilidade de ocorrência de microrganismos deteriorantes é baixa. Os compostos do lúpulo não possuem sabor amargor, mas após a isomerização dos α -ácidos durante a fervura, torna-se mais solúvel e quimicamente ativo, liberando o amargo característico ao paladar. Na fervura também ocorre a caramelização e reações de <i>Maillard</i> com pouco impacto, pois removem açúcares fermentáveis. Outro ponto, o nitrogênio coagulável associado a proteínas de alto peso molecular precipitam, ajudando melhorar a sensação de corpo da cerveja e estabilidade da espuma, entretanto, em excesso pode formar coloides.	Analisar a quantidade de nitrogênio coagulável, verificar a solubilidade do lúpulo e inativação de contaminantes microbiológicos.
3	Uma das principais funções da fervura do mosto é isomerizar os ácidos alfa, que são precursores dos compostos amargos do lúpulo na cerveja. Três ácidos alfa representam cerca de 98% desses compostos no lúpulo; eles diferem apenas por uma cadeia lateral. Antes da isomerização, os ácidos α são insolúveis e não têm atividade de sabor. Os lúpulos, como muitas plantas, contêm pequenas quantidades de enzimas de hidrólise de amido, incluindo alfa-amilase e beta-amilase, além de menores quantidades de limitada dextrinase e amiloglucosidase. Essas enzimas, se não forem desativadas pela fervura, podem converter dextrinas não fermentáveis na cerveja embalada em açúcares fermentáveis. Além disso, é mencionado que o material do tanque de fervura contribui diretamente para a troca de calor, bem como pode facilitar a higienização, uma vez que se geram zonas incrustações.	Acompanhar a isomerização do lúpulo e desativação das enzimas da mosturação.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

O resfriamento é uma etapa necessária para reduzir a temperatura para condições ideais para inocular a levedura na etapa de fermentação em acordo com Quadro 13. Além disso, nessa etapa, a redução da temperatura também permite a remoção o “*Cold break*” e dimetilsulfeto (DMS). Bamforth (2016), também menciona que os trocadores de calor devem ser inspecionados com frequência, pois são fontes de microrganismos contaminantes.

Quadro 13 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de resfriamento

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	O resfriamento tem função de separar o " <i>cold break</i> ", que contém proteínas, taninos e carboidratos. Ele se forma abaixo de 80°C e deve ser removido para evitar turbidez e sabores indesejados. Além disso, tem que resfriar para atingir a temperatura para inoculação do fermento (chamada de <i>pitching temperature</i>) de forma eficiente e sanitária. Também, gera a oxidação e degradação térmica de compostos indesejados que podem afetar a estabilidade e sabor da cerveja. Evitar a formação de DMS. O resfriamento pode ser realizado com água gelada ou glicol até a temperatura de fermentação.	Remover <i>Cold Break</i> e DMS
2	O resfriamento é essencial para que o mosto alcança a temperatura ideal de inoculação da levedura para fermentação. Essa etapa é realizada com auxílio de trocadores de calor, podendo ser usada água gelada, glicol, álcool ou a mistura deles. O trocador de calor é uma fonte potencial de contaminantes e deve ser verificado e desmontado para higienização.	Alcançar a temperatura para inoculação e atenção a higienização.
3	Antes de adicionar a levedura para iniciar a fermentação, o mosto deve ser resfriado até uma temperatura compatível. No passado, o mosto quente era colocado em um recipiente raso e largo chamado " <i>coolship</i> ", onde liberava seu calor para o ar ambiente. Esse método é raramente utilizado hoje em dia devido ao risco de contaminação por microrganismos do ar. Hoje entende-se que o resfriamento deve ser um processo conduzido rapidamente logo após a fervura. O oxigênio dissolvido (DO) é um nutriente importante para as leveduras. As células de levedura não utilizam o oxigênio para respiração; em vez disso, elas precisam dele para sintetizar novas membranas plasmáticas durante a divisão celular. O oxigênio é adicionado diretamente após o resfriamento porque a solubilidade do gás aumenta à medida que a temperatura do líquido diminui.	Realizar a inoculação logo após o resfriamento para evitar contaminação.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

É consenso nas obras que durante o processo fermentativo, diversos fatores influenciam diretamente o desempenho e a qualidade do produto acabado, conforme Quadro 14. Entre eles, destacam-se os carboidratos e o nitrogênio, que são nutrientes essenciais para o crescimento e metabolismo da levedura. Além disso, minerais como zinco e magnésio desempenham papel fundamental na atividade enzimática e na eficiência da fermentação, contribuindo para a performance geral do microrganismo. A formação de compostos indesejáveis, conhecidos como *off-flavors*, pode comprometer o perfil sensorial da cerveja. Entre os principais, citam-se o diacetil, que confere aroma amanteigado; o acetaldeído, responsável por notas de maçã verde; e o ácido acético, que confere acidez e sabor avinagrado. O controle rigoroso das condições de fermentação é essencial para evitar a produção desses compostos. A reutilização da levedura é uma prática comum em microcervejarias, devendo ser cuidadosamente monitorada. Recomenda-se seu reaproveitamento por até cinco ciclos para evitar contaminações microbiológicas e, no máximo, dez reutilizações, a fim de minimizar o

risco de mutações genéticas que possam alterar suas características fermentativas. O monitoramento contínuo da densidade, temperatura e turbidez é indispensável para assegurar o sucesso da fermentação e a consistência do processo. Após o uso, a levedura deve ser armazenada entre 0 e 3 °C, em ambiente sem oxigênio, para preservar sua viabilidade e manter o desempenho adequado nas fermentações subsequentes.

Quadro 14 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de Fermentação

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
2	A inoculação (<i>pitching</i>) é realizada com a adição da levedura viável ao mosto, sendo necessário o controle de temperatura e oxigênio no início. Durante a fermentação ocorre algumas mudanças químicas, como a queda do pH (ocorre naturalmente com o avanço da levedura), redução do potencial redox (preserva a estabilidade oxidativa da cerveja), precipitação de polifenóis e substâncias amargas (contribui para limpidez e estabilidade da bebida e formação de CO ₂ , usado tanto para carbonatação quanto como agente protetor contra oxidação. Pontos importantes: densidade (monitorada ao longo do processo para determinar o fim da fermentação, temperatura (afeta taxa fermentativa e perfil sensorial), turbidez (associada a levedura em suspensão, decanta ao final), turbidez (associada a levedura em suspensão e decanta ao final). Reutilizar entre 4 a 5 vezes para fermentações quentes (ales) e 8 a 10 vezes para fermentações frias (lagers), sendo ideal uma viabilidade ser superior a 95%, alcançar grau final de atenuação da fermentação e estar livre de contaminantes e armazenar entre 0 a 3°C.	Avaliar a vitalidade celular
3	Cita a fermentação como o processo pelo qual a levedura converte os açúcares do mosto em etanol e dióxido de carbono é chamado de fermentação alcoólica. O etanol e o dióxido de carbono são compostos de sabor primário em praticamente todos os estilos de cerveja. A fermentação também gera muitos produtos secundários com atividade sensorial, que podem ter um impacto significativo no caráter da cerveja. Quando a levedura é inoculada (<i>pitching</i>) no mosto pela primeira vez, ela passa por uma curva clássica de crescimento microbiológico, que consiste em quatro fases: fase de latência, fase exponencial ou logarítmica (log), fase estacionária e, por fim, fase de declínio. Nas curvas clássicas de crescimento microbiológico, essas quatro fases representam o ciclo de vida dos microrganismos em uma cultura líquida: Durante a fase de latência, o número de células não se altera, pois é uma fase adaptativa ao meio. Durante a fase logarítmica (log) ou exponencial, ocorre divisão celular, resultando em um rápido aumento do número total de células. Na fase estacionária, a taxa de divisão celular é igual à taxa de morte celular; assim, o número total de células atinge um platô (número total de células permanece constante, mas começa flocular e sedimentar). Por fim, na fase de declínio, a morte celular predomina e o número total de células diminui (grande redução da levedura em suspensão flocula.	Acompanhar a viabilidade da levedura, teor alcoólico e microbiologia

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

Há consenso nas obras que essa etapa do processo de maturação tem função em promover o aprimoramento da qualidade físico-química e sensorial da cerveja antes do envase,

conforme descrito no Quadro 15. Entre as finalidades mais relevantes, destaca-se a remoção de compostos indesejáveis, como diacetil, acetaldeído e sulfitos, que podem comprometer o aroma e o sabor do produto. Além disso, ocorre a estabilização coloidal e a clarificação, resultantes da precipitação de proteínas e polifenóis, o que contribui para o aspecto visual e a estabilidade do produto. Outro aspecto fundamental é a carbonatação, que pode ocorrer tanto pela retenção do CO₂ residual da fermentação quanto pela sua adição controlada, conferindo à cerveja o nível desejado de efervescência e textura. Nessa fase, também se realiza o ajuste sensorial final, buscando o equilíbrio entre aroma, sabor e corpo da bebida. Por fim, há a redução da carga microbiológica, o que diminui o risco de contaminação e garante maior segurança e estabilidade antes do envase. Após a maturação, a cerveja passa pelo processo de clarificação que pode ocorrer por sedimentação com uso de floculantes, sendo o mais comum em microcervejarias. Contudo, também pode ocorrer com uso de filtros.

Quadro 15 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de Maturação

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	A maturação visa reduzir o diacetil (<i>off-flavor</i> de manteiga), um subproduto da síntese de valina pelas leveduras. A maturação ocorre geralmente em temperatura baixa, pois a conversão de 2-acetolactato (precursor do diacetil) é lenta abaixo de 10 °C. Pode-se usar técnicas para acelerar a maturação, como fermentação com agitação, uso de leveduras imobilizadas ou adição de enzimas. Fermentação fria + Maturação fria: processo clássico com redução de temperatura até -1 °C, onde o diacetil é removido e a cerveja é "lagerada" por 1-2 semanas. Fermentação fria + Maturação dirigida em CCV: mantém-se temperatura de fermentação até o diacetil ser <0,1 mg/L antes de resfriar. Fermentação morna + Maturação morna: acelera o processo, porém com maior formação de subprodutos indesejáveis. A fermentação fria combinada com uma maturação quente, melhora a remoção de diacetil e mantém a qualidade sensorial.	Reduzir o conteúdo de diacetil, sendo influenciada pela temperatura e técnicas como agitação, leveduras imobilizadas ou enzimas, com diferentes estratégias para otimizar tempo e qualidade.
2	Após a fermentação, a cerveja (chamada <i>green beer</i>) ainda contém sabores indesejáveis, como diacetil e acetaldeído, e partículas coloidais que causam turbidez. A maturação ocorre frequentemente no mesmo fermentador (<i>unitank</i>), mas pode ser feita em tanques dedicados quando o espaço e o estilo da cerveja exigirem. Esse processo inclui: Condicionamento morno (<i>Warm conditioning</i>): favorece a eliminação de diacetil e acetaldeído pelas leveduras. Condicionamento frio (<i>Cold conditioning</i>): promove floculação e clarificação da cerveja, além da remoção de leveduras e estabilização coloidal.	A maturação da cerveja, feita no <i>unitank</i> ou em tanques dedicados, elimina sabores indesejáveis.
3	Maturação é parte da fase de "condicionamento" (ou estabilização da cerveja), também chamada de fermentação secundária. O termo " <i>green beer</i> " ou " <i>ruh beer</i> " se refere à cerveja recém-fermentada, que ainda não está pronta para envase ou consumo. Tendo função na estabilização e amadurecimento do sabor; redução de compostos que causam turbidez; clarificação da cerveja; estabilização da espuma; redução do risco de contaminação microbiana; correta carbonatação. A maturação em uma única unidade ocorre na mesma unidade de fermentação (<i>Unitank</i>). A temperatura é elevada para auxiliar na remoção de compostos indesejados como	Estabilizar pelo acondicionamento, remover compostos indesejáveis, clarificar, carbonatar e

	acetaldeído e diacetil. Após isso, a cerveja é resfriada (maturação fria) para remoção de levedura e estabilização coloidal	reduzir riscos microbiológicos.
--	---	---------------------------------

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

De modo geral, o envase pode ser realizado em garrafas, latas, embalagens PET, barris, sendo essencial o controle de parâmetros como pressão interna, oxigenação e condições de higiene, a fim de preservar a integridade e a estabilidade do produto, em acordo com o Quadro 16. O processo envolve etapas de purga com gás inerte, enchimento, fechamento e embalagem final, que podem variar conforme o tipo de recipiente utilizado e o nível de automação do sistema. No caso, do envase em barril constitui uma etapa crítica do processo produtivo, demandando rigoroso controle mecânico e de qualidade, especialmente em microcervejarias, onde esse formato é amplamente utilizado. O sistema *Sankey* para barris é o mais comum para esse tipo de envase, pois assegura a conservação da cerveja e a segurança no manuseio durante a distribuição e o serviço. Os autores afirmam que essa etapa pode ser complexa no quesito de controle microbiológico.

Quadro 16 - Análise de conteúdo das obras selecionadas sobre a etapa do processo de envase

Livro	Importância e aspectos essenciais	Abordagem
1	Os principais tipos de envase são: garrafas de vidro, latas de alumínio/folha de flandres, garrafas PET/PEN e barris. Os requisitos fundamentais do envase de cerveja são: preservar a pressão, evitar oxidação, garantir precisão de enchimento, atender às exigências microbiológicas e evitar respingos. Sistemas de enchimento incluem etapas como: evacuação, purga com gás (normalmente CO ₂), pressurização, enchimento, estabilização e fechamento de latas protegem completamente contra a luz e oxigênio, mas são sensíveis ao manuseio e podem ser difíceis para cervejarias pequenas devido ao pedido mínimo alto. O envase em garrafas de vidro permite dupla evacuação para minimizar oxigênio. Já garrafas PET precisam ser apenas purgadas com gás.	Envasar para armazenagem, distribuição ou venda local.
2	O envase é considerado uma das etapas mais complexas e críticas da cervejaria, tanto em termos mecânicos quanto de controle de qualidade. Nas microcervejarias, o barril <i>sankey</i> é o recipiente mais comum para servir cerveja em chopeiras. São pressurizados e mantêm a qualidade da cerveja ao protegê-la da luz e do oxigênio. O <i>keg</i> do tipo <i>Sankey</i> , padrão nos EUA, possui um único orifício central conectado a um tubo chamado " <i>Spear</i> ", que contém válvulas concêntricas para gás e líquido. A limpeza dos <i>kegs</i> ocorre de cabeça para baixo com soluções químicas ou vapor passando pelo <i>spear</i> . O enchimento é feito pela mesma conexão da extração: uma abertura recebe a cerveja e outra libera o gás do interior do recipiente. A pressão no cilindro é controlada para manter a carbonatação adequada; cuidados especiais são exigidos para evitar ejeção acidental da válvula, que pode ser perigosa. Misturas de CO ₂ e N ₂ usadas em cilindros devem manter pressões seguras para evitar liquefação de CO ₂ e alteração da composição da mistura durante o uso.	Envolve a pressurização em barris para proteção contra o oxigênio. Os barris exigem boa higienização.
3	O envase é considerado uma das etapas mais complexas da cervejaria, tanto em termos mecânicos quanto de controle de qualidade. A sequência típica do	O envase deve evitar o máximo de

envase é: despaletização, enxágue, envase, pasteurização, rotulagem, embalagem secundária e paletização. O envase deve evitar ao máximo a entrada de oxigênio (ideal: $\leq 0,2$ mg/L), pois isso compromete a estabilidade sensorial da cerveja. Usam-se enchimentos por contrapressão, onde a garrafa ou lata é pressurizada com CO ₂ antes de receber a cerveja por gravidade.	entrada de oxigênio por ocasionar oxidação da cerveja.
--	--

Fonte: Elaborado pela autora com base nos autores Eßlinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019)

Ao final do processo de produção da cerveja, ocorre a etapa de higienização e sanitização do sistema. Segundo Eßlinger (2006) e Farber e Barth (2019), a limpeza possui função de remover materiais indesejáveis das superfícies, enquanto a sanitização tem função de reduzir a população de microrganismos a níveis aceitáveis. Esse processo possui três elementos essenciais: a temperatura, tempo, ação mecânica e agentes químicos (tipo e concentração), de modo que quando um desses elementos é reduzido, os outros devem ser intensificados. Ademais, também é importante que a linha possua um design sanitário eficiente que permita a remoção de partes de difícil acesso, evite pontos mortos, superfícies lisas e em aço inoxidável.

O sistema mais comum de sanitização da linha é o CIP (*Clean in Place*), sendo praticamente universal nas indústrias, incluindo a indústria de alimentos. Esse sistema é formado por uma planta equipada com agentes responsáveis pela limpeza, como aspersores ou jatos, linhas de retorno que conduzem agentes ou água, tanques de recuperação, trocadores de calor e um ciclo bem definido. Normalmente esse ciclo é definido por uma etapa de pré-enxágue para remoção de sujidades grosseiras e materiais solúveis, uma lavagem com agente alcalino para remoção da matéria-orgânica, um enxágue para remoção desse agente alcalino, uma lavagem com agente ácido para remoção da matéria-inorgânica, um enxágue para remoção do agente ácido e uma lavagem com sanitizante, normalmente volátil o suficiente para não precisar enxágue. É importante observar a compatibilidade química entre os produtos que podem ocasionar a formação de gases tóxicos, bem como também garantir sua completa remoção, ou pode se tornar um contaminante químico.

Somados a isso o processo de produção cervejeira envolve diversas etapas, cada uma com equipamentos específicos, funções operacionais e pontos críticos de controle que garantem a qualidade e segurança da bebida, conforme verificado no Quadro 17. Os pontos críticos são aspectos ou parâmetros de operação que podem influenciar na qualidade daquela etapa.

Quadro 17 - Etapas do processo cervejeiro e seus respectivos equipamentos, operações e pontos críticos de controle.

Etapas	Equipamentos	Função do operador	Pontos críticos de controle
Moagem	1. Moinho (de rolos, mais comum nas microcervejarias)	1. Abertura de sacas 2. Adição no Moinho 3. Transferência para moagem	1. Largura do espaço entre os rolos 2. Tamanho das partículas (granulometria)
Mostura	1. Tanque de mostura 2. Tanque de água quente 3. Agitador acoplado 4. Sistema de controle de temperatura	1. Adição dos insumos 2. Acionamento do sistema 3. Retirada dos resíduos 4. Coleta de amostra	1. Controle de temperatura 2. Controle de pH 3. Tempo de repouso 4. Agitação controlada 5. Densidade
Filtração Primária	1. Tanque Lauter Tun de fundo falso	1. Acionamento do sistema	1. Controle da turbidez
Fervura	1. Tanque de fervura (ou até mesmo transferir para o tanque de mostura)	1. Acionamento do sistema 2. Adição de lúpulo	1. Controle da temperatura 2. Controle do tempo 3. Controle de volume
Resfriamento	1. Trocador de calor com fluído (Água, glicol, misturas de água com etilenoglicol ou propilenoglicol)	1. Acionamento do sistema	1. Controle da temperatura 2. Controle do tempo
Fermentação	1. Fermentador cilíndrico-cônico	1. Acionamento do sistema 2. Inoculação da levedura 3. Recuperação da levedura 4. Tratamento da levedura 5. Coleta de amostras	1. Controle da temperatura 2. Controle do tempo 3. Controle da densidade 4. Controle do pH 5. Controle de <i>off-flavors</i>
Maturação	1. Fermentador cilíndrico-cônico	1. Acionamento do sistema 2. Coleta de amostras	1. Controles sensoriais (aroma, sabor e textura) 2. Controle da carbonatação
Filtração secundária	1. De Filter (Filtro de Terra de	1. Acionamento do sistema	1. Controle de turbidez

	diatomácea) ou naturalmente com uso de floculante		
Envase	2. Sistema de dispensação	2. Acionamento do sistema 3. Higienização do Barril	1. Controle de pressão 2. Mistura dos gases 3. Grau de pureza (pureza alimentícia) dos gases 4. Vazamentos ou instabilidades 5. Controle de higienização dos barris
Limpeza CIP (Clean in place)	1. Sistema de limpeza 2. Pulverizados acoplados ao tanque do tipo <i>Spry ball</i>	1. Acionamento do sistema 2. Desmonte de tubulações e partes removíveis 3. Diluição dos sanitizantes 4. Ação mecânica de limpeza nas partes acessíveis da linha produtiva 5. Enxague da linha 6. Validação do CIP	1. Concentração de hidróxido de sódio 2. Concentração de detergente (básico e ácido) 3. Concentração de ácido peracético 4. Temperatura 5. Tempo de repouso 6. Controle da eficácia de enxague (Dosagem de residual e pH) 7. Análise de formação de biofilme (ATP teste)

Fonte: Adaptado de Farber e Barth (2019)

Por fim, Bamforth (2016) ainda menciona algumas ações necessárias para uma produção eficiente, segura e confiável: 1) Aquisição de matérias-primas e cepas de leveduras de maior qualidade; 2) Aperfeiçoamento das formulações para correção de desvios sensoriais; 3) Melhoria dos métodos de produção e envase; 4) Aprimoramento das práticas de limpeza e sanitização da cervejaria; 5) Descarte do produto com presença de contaminantes, defeitos sensoriais ou *off-flavors*; 6) Retirada do produto do mercado quando identificadas não conformidades e 7) Implementação de ações corretivas e preventivas para evitar a recorrência de falhas, incluindo, o treinamento da equipe.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As microcervejarias são unidades produtivas de pequena escala, caracterizadas por baixa capacidade volumétrica e elevado valor agregado, sendo amplamente reconhecidas pela diversidade sensorial de seus produtos. Assim como outras empresas classificadas como micro e pequenas empresas, enfrentam desafios relacionados ao desenvolvimento de processo, à limitação de recursos financeiros e à reduzida disponibilidade de mão de obra para suas operações. Apesar dessas limitações, esse segmento apresenta elevado potencial de crescimento, impulsionado pela tendência contínua de aumento no consumo de cervejas diferenciadas nos últimos anos. Desse modo, a garantia da segurança dos alimentos um aspecto crucial para sustentar a qualidade dos produtos e assegurar a continuidade do crescimento do setor. Esse tema tem sido amplamente discutido, e a cada ocorrência de falha relacionada à segurança dos alimentos tende a provocar um engolimento generalizado do setor, conforme evidenciado em diversos casos de recall de produtos.

O processo cervejeiro envolve uma sequência de etapas interdependentes, desde a moagem do malte até o envase e a limpeza do sistema, cada uma delas associada a equipamentos específicos, funções operacionais distintas e pontos críticos de controle próprios. A análise de conteúdo indicou que determinadas etapas são mais suscetíveis a problemas relacionados à segurança dos alimentos, enquanto outras, possuem mais efeito na qualidade sensorial do produto. As etapas que possuem maior risco à segurança dos alimentos, destacam-se a moagem, a fervura, a fermentação e o envase. Bem como, a higienização CIP após a produção. A etapa de moagem pode introduzir contaminantes provenientes das matérias-primas, como insetos, ácaros e toxinas fúngicas. Em seguida, o processo avança para as chamadas etapas a quente, que contribuem para a redução do risco de contaminação, promovendo a diminuição da carga microbiana do mosto, como observado na etapa de fervura. Por conta disso, é importante um bom controle e calibração de termômetros, permitindo alcançar a temperatura ideal para a esterilização do mosto cervejeiro. A partir desse ponto, iniciam-se as etapas conduzidas em temperatura ambiente, as quais são, portanto mais suscetíveis a contaminações microbiológicas. Dentre elas, destaca-se a fermentação, apontada pelos autores como uma etapa altamente crítica, uma vez que envolve a reutilização da levedura, aumentando a probabilidade de contaminações microbiológicas e de alterações genéticas que podem resultar em características sensoriais indesejáveis.

Outra etapa com influência significativa na segurança da cerveja é o envase, considerado um ponto crítico devido à maior exposição do produto ao ambiente e ao contato

com superfícies e equipamentos, o que pode favorecer a introdução de contaminantes, caso não sejam adotadas práticas adequadas de higiene e controle. Nessa etapa, os autores mencionam que a remoção do oxigênio é fundamental para evitar oxidação da cerveja, manter o tempo de vida útil e evitar contaminações.

Por último, outra etapa importante é a higienização e sanitização da linha por meio do sistema CIP, responsável por reduzir a população de microrganismos para níveis aceitáveis. Trata-se de uma etapa complexa, que requer controle rigoroso de parâmetros como temperatura, tempo, ação mecânica e uso adequado de agentes químicos, sendo essencial para garantia da segurança dos alimentos e da qualidade final do produto.

Em suma, a análise de conteúdo dos livros possibilitou compreender aspectos relevantes do processo de produção da cerveja, identificar os pontos com maior risco de falha e direcionar recursos de forma mais eficiente, considerando as limitações de insumos e financeiras das microcervejarias. O comparativo entre as obras conferiu maior robustez ao estudo, permitindo evidenciar pontos de convergências.

REFERÊNCIAS

- ABRACERVA. **Definição de cervejaria artesanal**. 2023. Disponível em:<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/cerveja/2023/4a-re-30-01-2023/definicao-de-cervejaria-artesanal.pdf/view>>. Acesso em: 09 set. 2025
- AHSAN, K.M; GUNAWAN, I. Analysis of product recalls: identification of recall initiator and causes of recall. **Operations and supply chain management**, v.7, n.3, p.97-106, 2014.
- ARISSETO-BRAGOTTO, A.; FELTES, M.M.C.; BLOCK, J.M. Food quality and safety progress in the Brazilian food and Beverage industry: Chemical hazards. **Food quality and Safety**, v.1, n.2, p.117-129, 2017. <https://doi.org/10.1093/fqs/fyx009>
- ANDERSON, H. E.; SANTOS, I; C.; HILDENBRAND, Z. L; SCHUG, K. A. A review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control. **Analytica Chimica Acta**, v. 1085, p. 1–20, nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.061>
- ANDRADE, F. P. **Ecoeficiência em cervejarias artesanais: um estudo de casos múltiplos**. 2020. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2020.
- ANGASSA, K.; ASSEFA, B.; KEFENI, K.K.; NKAMBULE, T.; FITO, J. Brewery industrial wastewater treatment through mesocosm horizontal subsurface flow constructed wetland.

Environment Systems and decisions, v.42, p.265-275, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09849-z>

ANVISA. Alimentos. 2025. Disponível em: < Alime <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentosntos> — Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa>. Acesso em 10 dez. 2025

AWUCHI, C.G. HACCP, Quality, and food safety management in food and agricultural system. **Food Science & technology**, v.9, 2023. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2176280>

BAMFORTH, C.W. **Brewing Materials and Processes: a Practical Approach to Beer Excellence**. 1 ed. California: Academic Press Elsevier, 2016.

BETANCUR, M. I.; MOTOKI, K.; SPENCE, C.; VELASCO, C. Factors influencing the choice of beer: A review. **Food Research International**, v. 137, p. 109367, nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109367>

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da cerveja 2024. Brasília: MAPA, 2024. Disponível em: <https://sindicerv.com.br/2025/wp-content/uploads/2024/05/Anuario-da-cerveja-2024-referencia-2023-MAPA-versao-web.pdf/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

CASTILHO, M. A.; MAYMONE, A.; QUEIROZ DE OLIVEIRA, L. Y. Cervejaria artesanal: modelo de fábrica diferenciado com ênfase no baixo impacto ambiental a ser implantado no município de Campo Grande, MS. **Multitemas**, 15 dez. 2016. <http://dx.doi.org/10.20435/1324>

CIONT, C.; EPURAN, A.; KEREZSI, A. D.; COLDEA, T. E.; MUDURA, E.; PASQUALONE, A.; ZHAO, H.; SUHAROSCHI, R.; VRIESEKOOOP, F.; POP, O. L. Beer Safety: New Challenges and Future Trends within Craft and Large-Scale Production. **Foods**, v. 11, n. 17, p. 2693, 3 set. 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11172693>

DAS, B.; KALITA, B.; HAZARIKA, R.; PATRA, S. Microbial adulterants in Food: Challenges to overcome. In: HEBBAR, U.U.; SHARMA, R.; CHAURASIYA, R.S.; RANJAM, S. **Engineering aspects of Food Quality and Safety**. 1 ed. Cham – Switzerland: Springer, 2023, p.53-61.

DÍAZ, A. B.; DURÁN-GUERRERO, E.; LASANTA, C.; CASTRO, R. From the Raw Materials to the Bottled Product: Influence of the Entire Production Process on the Organoleptic Profile of Industrial Beers. **Foods**, v. 11, n. 20, p. 3215, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11203215>

DURELLO, R.; SILVA, L; BOGUSZ Jr., S. Química do lúpulo. **Química Nova**, 2019. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170412>

EBLINGER, M. **Handbook of Brewing: Process, Tecnology, Markets**. 1 ed. Freiberga: Wiley – VCH, 2006.

ELIAZA, N.O.; MALAMLA, S.B.; MABULA, Y.R.; NTARISA, A.V. Human health risk assessment of heavy metals in beer brands from Tanzania market. **Toxicology Reports**, v.13, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101820>

ELO, S. ; KYNGÄS, H. The qualitative content analysis process. **Leading Global Nursing Research**, v. 62, n.1, p.107-115, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>

FARBER, M.; BARTH, R. Brewing quality overview. In: FARBER, M.; BARTH, R. **Mastering Brewing Science Quality and Production**. 1 ed. Hoboken: Wiley, 2019. p.5-34.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T (Org). Métodos de Pesquisa. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GONZÁLEZ DE LLANO, D.; RODRÍGUEZ-SAAVEDRA, M.; MORENO-ARRIBAS, M. V. Craft beer safety: Control of critical points of the production process. *In: Craft Beer*. [S.l.]: Elsevier, 2025. p. 193–212.

HELLER, D.; KARAPANAGIOTIS, P.; NILSEN, O. Small and vulnerable during crises? Firm size and financing constraint dynamics. **Small business economics**, v. 65, p.451-473, 2025.

HAGSTRUM, D.; REED, C.; KENKEL, P. Management of stored wheat insect pests in the USA. **Integrated Pest Management Reviews**, v.4, p.127-142, 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1009682410810>

KACZYŃSKI, P.; IWANIUK, P.; HRYNKO, I.; LUNIEWSKI, S.; BOZENA, Ł. The effect of the multi-stage process of wheat beer brewing on the behavior of pesticides according to their physicochemical properties. **Food Control**, v.160, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110356>

KAMBOJ, S.; GUPTA, N.; BANDRAL, J.D.; GANDATRA, G.; ANJUM, N. Food safety and hygiene: a review. **International Journal of chemical studies**, v. 8, n.1, p.358-368, 2020. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2f.8794>

KOPORCIC, N.; KUKKAMALLA, P.K.; MARKOVIC, S.; MARAN, T. Resilience of small and medium-sized enterprises in times of crisis: an umbrella review. **Review of Managerial Science**, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11846-025-00883-0>

KRONBAUER, P. H.; CARLIN, D. O. **Planejamento tributário: estudo comparativo da tributação entre Simples Nacional e lucro presumido em uma microcervejaria**. 2020. 17 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Contábeis) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s.l.], 2020. <http://hdl.handle.net/10183/271838>

LIMBERGER, S. C. O setor cervejeiro no Brasil: formação nacional, internacionalização e as novas demandas do mercado. **Geografia**, v. 49, n. 1, p. 551–576, 20 dez. 2024. <https://doi.org/10.5016/geografia.v49i1.18306>

MENDES NETO, A. **A influência das novas tecnologias da informação e comunicação na produção de cerveja artesanal**. 2022. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação, Araranguá, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/244486>. Acesso em: 28 jul. 2025.

MOREIRA, É. T. Análise da competitividade do segmento de cerveja do Brasil, 1997–2012. **Informações Econômicas**, v.44, n.3, p.51-61, 2014.

NEDOVIC, V.; RASPOR, P.; LEVIC, J.; SAPONJAC, V.T.; BARBOSA-CÁNAVAS, G. **Emerging and traditional Technologies for safe, healthy and quality food**. Serbia: Springer, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24040-4>

OLDHAM, R. C.; HELD, M. A. Methods for detection and identification of beer-spoilage microbes. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1217704, 10 ago. 2023. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1217704>

RIO GRANDE DO SUL. **RS é o segundo estado com mais microcervejarias do Brasil**. Portal do Estado do Rio Grande do Sul, 27 fev. 2023. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/rs-e-o-segundo-estado-com-mais-microcervejarias-do-brasil>. Acesso em: 29 jul. 2025.

RISTOW, C. **Controle da qualidade em microcervejarias**. 2020. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2020.

RODRIGUES, G. V.; VALE, G. M. V.; CORRÊA, V. S. Inovatividade e desempenho em microcervejarias artesanais. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 14, n. 3, p. 88–110, 6 fev. 2023. <https://doi.org/10.59306/reen.v14e3202188-110>

ROSA, A. P.; VIEIRA, E. P.; SAUSEN J. O. Precificação no segmento de microcervejarias artesanais: variáveis custos, concorrência e percepção de valor pelo cliente. **CONTABILOMETRIA - Brazilian Journal of Quantitative Methods Applied to Accounting**, v. 10, n. 2, p. 68-84, 2023.

RUGGERI, R.; ROSSINI, F.; ROBERTO, S. R.; SATO, A. J.; LOUSSERT, P.; RUTTO, L. K.; AGEHARA, S. Development of hop cultivation in new growing areas: The state of the art and the way forward. **European Journal of Agronomy**, v. 161, p. 127335, nov. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127335>

SANTOS, D. C.; SOUSA, T. L.; SANTANA, J. F. S.; ALMEIDA, A. B.; SILVA, F. G.; EGEEA, M. B. Commercial craft beers of midwest Brazil: biochemical and physicochemical properties and their relationship with its sensory profile. **Food Science and Technology**, v. 43, p. e112222, 2023.

SHANG, X.; TONSOR, G.T. Food safety recall effects across meat products and region. **Food policy**, v.69, p.145-153, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.04.002>

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA - SINDICERV. **O setor em números**. [s.l.], [2025?]. Disponível em: <https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

SUIKER, I. M.; WÖSTEN, H. A. Spoilage yeasts in beer and beer products. **Current Opinion in Food Science**, v. 44, p. 100815, abr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100815>

SULLIVAN-TAYLOR, B.; BRANICKI, L. Creating resilient SMEs: Why one size might not fit all. **International Journal of Production Research**, v.49, n.18, p.5565-5579, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.563837>

TURVEY, M. E.; WEILAND, F.; KELLER, E. J.; HOFFMANN, P. The changing face of microbial quality control practices in the brewing industry: Introducing mass spectrometry proteomic fingerprinting for microbial identification: Mass spectrometry proteomic fingerprinting for microbial identification. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 123, n. 3, p. 373–387, jul. 2017. <https://doi.org/10.1002/jib.428>

VENTURINI, S. F.; ALFONSO, T. O. S.; RECH, C.; ARAÚJO, C. F.; GONÇALVES, L. G. Aplicação da metodologia de análise e solução de problemas em um processo de produção de cervejas artesanais. In: **Open Science Research VI**, v. 6, 2022. Canoas: Editora Científica Digital. ISBN 978-65-5360-212-0. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220909971.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2025.

WU, T.; KANG, K.; XIA, Y.; DENG, H.; HAND, B.; HAN, X.; XIE, Y.; LI, C.; ZHAN, J.; HUANG, W.; YOU, Y. Development and validation of a liquid chromatography tandem mass

spectrometry method for the determination of 10 mycotoxins in beer of the Chinese Market and exposure estimate. **Food Research International**, v.184, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114256>

YUE, S.R.; SHRIVASTAVA, R.; CAMPBELL, K.; WALKER, M.J. Food allergen recalls in the United Kingdom: A critical analysis of reported recalls from 2016 to 2021. **Food Control**, v.144, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109375>

4 PRIORIZAÇÃO DE REQUISITOS DE QUALIDADE PARA SEGURANÇA DO ALIMENTO EM MICROCERVEJARIA POR MEIO DA FERRAMENTA QFD

RESUMO

A indústria de alimentos e bebidas desempenha um papel essencial na economia brasileira, figurando entre os maiores produtores mundiais. O crescimento da demanda por alimentos e bebidas intensificou a concorrência de mercado e, como consequência, aumentou a complexidade dos sistemas produtivos, tornando a qualidade e segurança dos alimentos como requisitos fundamentais. Em contrapartida, observa-se um cenário de busca por consolidação das microcervejarias após um período de expansão acelerada, sendo essas unidades caracterizadas, em grande parte, pela escassez de recursos, dificuldade em replicar tecnologias difundidas por grandes corporações e menor nível de estruturação organizacional. Desse modo, é muito importante que a tomada de decisões dessas empresas seja assertiva e pautada na alocação eficiente de recursos. Com base nisso, o objetivo desse estudo foi converter a percepção dos especialistas a respeito da segurança da cerveja no processo de produção em microcervejarias, desdobrando-os em requisitos de qualidade para o processo produtivo da cerveja pelo QFD. Em relação ao método de pesquisa, a percepção dos especialistas foi obtida por meio de entrevistas estruturadas. Previamente foi realizada uma investigação para identificar as etapas mais críticas quanto ao impacto na segurança da cerveja, sendo as etapas de fermentação, envase e CIP (*Clean-in-place*). Assim, foram priorizados 34 requisitos de qualidade presentes nas etapas de fermentação, envase e CIP. Observou-se que a maioria dos gargalos operacionais estava associada à ausência de laboratórios para realização de análises químicas e microbiológicas, bem como ao empírico de parâmetros operacionais (experiência prática, observação e sem padronizações). Por fim, este estudo possibilitou uma compreensão mais aprofundada do setor de microcervejarias, identificando os principais gargalos do processo relacionados à segurança dos alimentos e gerando reflexões sobre ações capazes de fortalecer a confiabilidade operacionais, a qualidade do produto e a competitividade do setor.

Palavras-chave: Indústria cervejeira. Fermentação. Envase. CIP. Segurança do alimento.

4.1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos tem assumido um papel estratégico no cenário contemporâneo, especialmente diante das pressões crescentes por eficiência, segurança e sustentabilidade. No Brasil, a indústria de alimentos e bebidas desempenha um papel central na economia, possibilitando a exportação de produtos, gerando empregos e representando o maior setor da indústria de transformação (ABIA, 2024). Dentro desse contexto, o país ocupa a terceira posição entre os maiores consumidores de cerveja no mundo, com um volume anual de aproximadamente 12,65 bilhões de litros, correspondendo a 6,8% do mercado global. Entre as bebidas alcoólicas, a cerveja é a mais consumida pelos brasileiros, sendo ingerida, em média, 24 vezes mais vezes do que a segunda colocada em popularidade, a cachaça (Oliveira; Falconi, 2018; Jastromber *et al.*, 2022).

Esse cenário de crescimento se insere em uma tendência global destacada pelo avanço da urbanização e das mudanças demográficas, que tende a elevar a demanda por alimentos e bebidas em magnitude e complexidade (FAO, 2024). A expectativa é que a proporção da população vivendo em áreas urbanas aumente de 50% para 70% até 2050, pressionando os sistemas agroalimentares devido ao crescimento populacional, mudanças estruturais e ocupação de áreas férteis. Com isso, as organizações devem estar preparadas para absorver, de maneira rápida, mudanças sociais, tecnológicas e econômicas do ambiente em que estão inseridas. Além do aumento produtivo, torna-se crucial a necessidade de uma produção mais eficiente, com menos ocorrência de perdas ao longo do processo. Assim, a qualidade deixa de representar um diferencial e converte-se em uma exigência fundamental para sobrevivência das organizações no mercado (Arisseto-Bragotto *et al.*, 2017).

O termo “qualidade” se refere ao grau em que um conjunto de atributos inerentes atende a requisitos preestabelecidos. No setor de alimentos, a qualidade pode ser analisada sob duas perspectivas: a qualidade percebida e a qualidade intrínseca. A primeira refere-se às expectativas do consumidor em relação ao produto, englobando propriedades organolépticas, composição nutricional, atratividade e atributos da embalagem. Já a qualidade intrínseca diz respeito a características objetivas, como peso declarado, conformidade regulatória, ausência de contaminantes, integridade da formulação e atendimento a padrões técnicos. Portanto, qualidade intrínseca representa um dos fatores que garante a sobrevivência do produto no mercado (Tan *et al.*, 2023; Peveler, 2024).

Li *et al* (2022) menciona também que há riscos à segurança dos alimentos que são uma ameaça significativa à saúde pública. Segundo Baba e Esfandiari (2023), o consumo de alimentos contaminados resultam anualmente em 600 milhões de casos de doenças e 420.000 mortes. Além disso, crises relacionadas à segurança de produtos alimentícios, impactam na percepção, na confiança, nas atitudes e na intenção de compra por parte dos consumidores em relação às empresas produtoras de alimentos. No âmbito da produção cervejeira, diferentes etapas da cadeia produtiva apresentam riscos de contaminação, seja por micotoxinas, microrganismos, substâncias químicas ou agentes físicos, os quais podem comprometer a qualidade e a segurança do produto final (Ciont *et al.*, 2022). Outro ponto que merece destaque no contexto das microcervejarias é que, em grande parte dos casos, o produto é envasado em barris do tipo *Sankey* sem a etapa de pasteurização ou filtração, o que aumenta o risco de contaminação microbiológica e alterações sensoriais (Fous *et al.*, 2024; Bamforth, 2016)

Apesar desses riscos, 94% das empresas do setor alimentício brasileiro são micro, pequenas e médias, que enfrentam barreiras significativas para replicar práticas adotadas por

grandes corporações e implementar estratégias sustentáveis (ABIA, 2024). Isso se deve, principalmente, a dois principais motivos: o primeiro, ao fato de não serem percebidas como agentes de impacto ambiental significativo; e em segundo, à escassez de recursos financeiros, materiais, organizacionais e humanos. Além disso, caracterizam-se por estruturas organizacionais mais horizontais e por uma gestão estratégica menos formalizada (Belyaeva *et al.*, 2020; Wicaksono *et al.*, 2021).

Devido a isso, torna-se essencial que essas empresas priorizem a alocação eficiente de seus recursos, direcionando-os para os desafios mais críticos do momento. À luz da necessidade de promover uma inovação assertiva, é essencial aliar a força de trabalho a maiores níveis de escolaridade, equilibrada em termos de formação e área de conhecimento (Kromann; Sorensen, 2024). Segundo a Associação Nacional de Estudos em empreendedorismo e Gestão de pequenas empresas (Anegepe, 2024), entre os empreendimentos considerados estabelecidos, apenas 4% dos empreendedores possuem ensino superior completo ou nível de escolaridade mais elevado, enquanto a maioria, cerca de 42%, apresentam apenas o ensino fundamental incompleto.

Desse modo, observa-se uma contradição importante: embora a qualidade seja um requisito básico para permanência no mercado, muitas micro, pequenas e médias empresas enfrentam limitações significativas para garantir padrões consistentes de qualidade (Parast *et al.*, 2022; Bianchi; Ferraz-Junior, 2020). A garantia da qualidade depende de uma liderança estratégica, profissionais qualificados, formalização de processos, tecnologias digitais, adoção de práticas robustas de controle e inovação e, principalmente, recursos direcionados para ações prioritárias (Burgess; Sunmola; Wertheim-Heck, 2023; Silva; Matos, 2022; Brito, 2025). Essa realidade revela uma lacuna entre as exigências do mercado e a eficiência operacional dessas empresas, o que suscita a necessidade de investir estratégias que permitam elevar a qualidade de seus produtos sem comprometer a viabilidade econômica do negócio e assegure a rápida tomada de decisões para resiliência em desafios (Novitasari *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024).

Nessa dinâmica de complexidade operacional e vulnerabilidade da segurança do produto, torna-se necessário adotar ferramentas que permitam priorizar ações críticas e orientar decisões baseadas em critérios técnicos. Entre as ferramentas capazes de apoiar essa tomada de decisão estratégica, definir ações prioritárias e voltadas ao uso eficiente de recursos, está o desdobramento da função qualidade (QFD). Conforme seu criador, o QFD é uma ferramenta que traduz requisitos dos consumidores ou especialistas em características de qualidade do produto, podendo ser aplicada tanto no desenvolvimento, quanto no aprimorando de produtos e processos. Essa abordagem permite preservar ou incorporar atributos que agregam valor ao

produto, com base na percepção de especialistas e/ou consumidores (Akao, 1990). Complementar a isso, Chen e Filho (2017) mencionam o QFD como um método indutor da busca e da integração de conhecimentos das áreas funcionais da empresa, para o robustecimento do sistema de desenvolvimento e aprimorando de produto.

Novitasari *et al* (2004) aplicaram a ferramenta QFD para desenhar a resiliência da cadeia de suprimentos, permitindo a priorização de ações no processo de óleo de palma frente a períodos de crises. Ainda em relação ao processo, pode ser empregado para estabelecer a escolha de fornecedores (Chang *et al.*, 2024). Também pode oferecer o benefício de compreender as necessidades dos consumidores e a importância atribuída a cada característica do produto, conforme Wang *et al* (2019) em estudo relacionado ao produto barras de cereais. No segmento das microcervejarias, o QFD já foi aplicado para o desenvolvimento de novos tipos de cervejas artesanais (Mello; Silva, 2020) e priorização de pontos críticos de processo (Neto *et al.*, 2017).

A literatura sobre o tema concentra-se, em sua maioria, na identificação dos atributos desejados pelos consumidores e na incorporação desses atributos ao produto. No entanto, observa-se uma escassez de estudos que explorem o uso dessa ferramenta voltada à melhoria de processos direcionados à segurança dos alimentos, especialmente nas etapas de fabricação e nas atividades pós-processo, como higienização e validação da eficácia desse processo de higienização. Além disso, a pesquisa concentrou-se nos requisitos de qualidade intrínseca, uma vez que representam maior risco a segurança dos alimentos, perdas de processo e insatisfação ou diminuição da confiança do cliente frente à marca. Dessa forma, essa pesquisa teve como objetivo converter a percepção dos especialistas a respeito da segurança da cerveja no processo de produção em microcervejarias, desdobrando-os em requisitos de qualidade para o processo produtivo da cerveja pelo QFD.

4.2 REVISÃO DE LITERATURA

4.2.1. Cenário da segurança dos alimentos

As doenças transmitidas por alimentos (DTAs) representam um problema de saúde pública globalmente, impactando milhões de pessoas e gerando impactos sociais e econômicos anualmente. Essas doenças são causadas pela ingestão de alimentos ou água contaminadas por agentes infecciosos, como microrganismos e substâncias químicas, sendo normalmente associadas a práticas inadequadas de higiene, manipulação, armazenamento ou preparo de

alimentos (Rocha *et al.*, 2025). No Brasil, de acordo com o Ministério da Saúde (2024), entre 2013 e 2023, houve mais de 500 mil pessoas expostas a surtos de doenças transmitidas por alimentos, resultando em mais de 100 mil doentes, 10 mil hospitalizados e mais de 100 mortes. Nesse sentido, o Ministério da Saúde incluiu alimentos como a água, leite, carne bovina, açaí, hortaliças e, as bebidas alcoólicas com 0,1% como causadores de surtos.

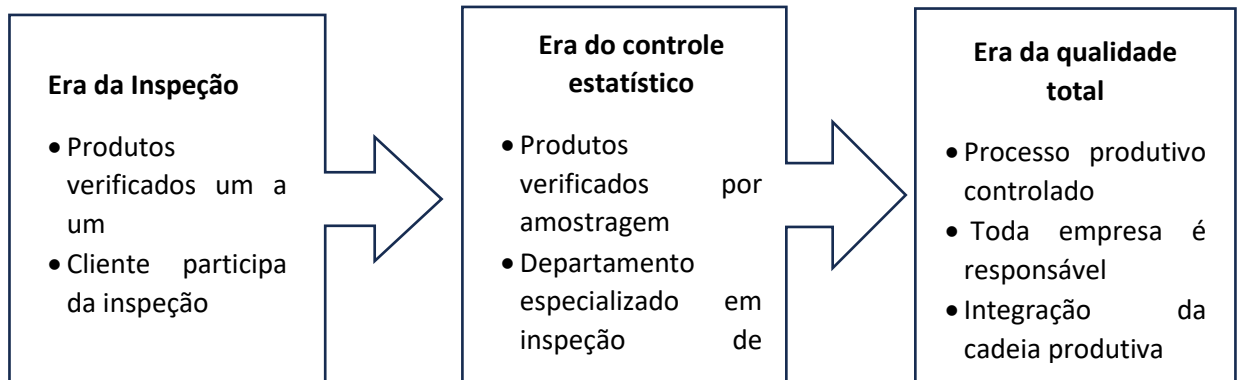
Esse cenário de surtos de doenças transmitidas por alimentos e dos perigos relevantes presentes nos alimentos no Brasil reflete a necessidade do uso de um sistema de gestão da segurança dos alimentos (Arisseto-Bragotto *et al.*, 2017). Dessa forma, os produtos e processos de produção de alimentos devem ter qualidade e serem seguros, desde a produção, processamento, embalagem e distribuição, por meio da introdução de regulamentações e diretrizes básicas estabelecidas por organizações e órgãos internacionais. Ao seguir esses padrões, a indústria, reduz o risco de epidemias, lotação do sistema de saúde, perdas decorrentes de falhas industriais, multas de não conformidade, perda da confiança dos consumidores e até mesmo o fechamento da empresa, ações judiciais e danos à reputação (Popova; Miteva, 2024).

No Brasil, a segurança do alimento na produção de cerveja deve obedecer aos critérios e regulamentações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), do Ministério da Saúde, além das legislações locais e internacionais, especialmente em casos de exportação. Para atender a essas exigências, o país implementou regulamentações federais e regionais que abrangem programas de boas práticas de fabricação (BPF), procedimentos operacionais padronizados (POP) e análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC), com o objetivo de seguir as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) (Arisseto-Bragotto *et al.*, 2017). Segundo Oliveira-Neto *et al* (2017), atualmente no Brasil, a resolução RDC nº275/2002 exige que empresas do segmento alimentício adotem sistemas de qualidade, como as Boas práticas de Fabricação (BPF) e os Procedimentos Operacionais Padrão (POP), sendo então também um requerimento para as unidades de cervejarias. A partir delas, busca-se a padronização dos processos e manutenção das condições de sanitárias e higiene.

É essencial que uma indústria possua uma gestão de qualidade, formada por um conjunto da estrutura organizacional, dos procedimentos, dos processos e dos recursos necessários para gerenciar a qualidade. Esse sistema deve ser amplo o bastante para atender as necessidades internas da gestão, e transcender os requisitos de um cliente específico, que geralmente analisa apenas a parte que lhe interessa de um sistema (Lobo, 2020). Além disso, a gestão de qualidade ocorre pela integração de ações decorrentes do planejamento da qualidade,

garantia e controle da qualidade e melhorias contínuas da qualidade. Atualmente, as indústrias vivem a nova era da qualidade, chamada qualidade total (Oliveira, 2016), conforme Figura 11.

Figura 11 - Eras da qualidade.



Fonte: Oliveira (2016)

Nessa última era, a gestão da qualidade se concentra na gestão efetiva da qualidade ao longo de toda a cadeia produtiva, explorando eficiência produtiva, resolução de problemas, redução de perdas financeiras e materiais, e uma orientação à segurança dos alimentos. Nesse sentido, algumas ferramentas foram criadas com intuito de projetar a qualidade, simultaneamente a engenharia, como a ferramenta Desdobramento da função qualidade (*Quality function deployment*, QFD) (Toledo *et al.*, 2017).

4.2.2 Introdução da ferramenta QFD no setor alimentício

A partir da década de 80, alguns países asiáticos passaram a adotar e desenvolver tecnologias ocidentais, oferecendo produtos de qualidade a custos reduzidos, o que intensificou a competição no mercado. Dessa forma, o conceito de qualidade passou a ser um critério de desenvolvimento de produtos e processos, de modo que deveria estar em conformidade às necessidades latentes, ou seja, deveriam atender às necessidades dos clientes antes mesmo de eles terem essa consciência. Nesse sentido, uma empresa que consegue identificar necessidades latentes do mercado e satisfazê-las, consegue priorizar o uso de recursos, realizar escolhas mais assertivas e obter alta rentabilidade (Lobo, 2020).

Esse conceito acrescentou valor à concepção dos produtos e processos, sendo suportado por ferramentas de qualidade, como o desdobramento da função qualidade (*Quality function deployment*, QFD), que possibilitam a identificação das necessidades e sua tradução em novos produtos e processos de fabricação (Lobo, 2020). Segundo Toledo *et al* (2017), essa

ferramenta permite traduzir exigências em especificações técnicas apropriadas para cada estágio do desenvolvimento do processo ou produto, permitindo praticar a análise de valor, ou seja, verificar quais elementos do processo que agregam valor ao produto ou processo pela percepção de clientes ou especialistas. Logo, ocorre a agregação de valor, sem aumentar os custos de produção, sendo então uma forma de alocação adequada de recursos financeiros, técnicos e de pessoas.

Na indústria de alimentos, o QFD tem sido empregado em uma diversidade de funções, como desenvolvimento de novos produtos alimentícios (Frunza; Pop, 2021; Frunza *et al.*, 2022), análise do sistema e qualidade de um segmento alimentício (Dragulanescu; Sandu, 2021), análise da segurança, estabilidade e confiabilidade do produto (Khomah *et al.*, 2025), desenvolvimento de embalagens alimentícias (Mustikasari *et al.*, 2023), design de estruturas de restaurantes (Park *et al.*, 2021), melhoria de processo e planejamento de produção (Purwanto, 2020).

A ampla aplicabilidade do QFD na indústria de alimentos se deve à sua capacidade de analisar diversos parâmetros de projeto de processo, relacionando-os com as variáveis presentes no sistema, facilitando a tomada de decisão baseada em dados pela equipe. Além disso, o QFD possibilita a coleta de percepções de equipes ou grupos multifuncionais, ampliando a diversidade de informações e pontos de vista disponíveis para o desenvolvimento do produto ou processo. Somados a isso, o QFD permite a resolução de problemas, reduz tempo no desenvolvimento de projetos e produtos e permite criação de protótipos mais assertivos (Sivasankaran, 2021; Paiva; Pinto, 2011).

Para contribuir com os estudos da utilização do QFD na indústria de alimentos, este artigo tem como propósito de converter a percepção dos especialistas a respeito da segurança da cerveja no processo de produção em microcervejarias em requisitos dos clientes bem como utilizar o QFD para o desdobramento desses requisitos em requisitos de qualidade para o processo produtivo da cerveja.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No que se refere aos procedimentos metodológicos, esse artigo adotou uma abordagem qualitativa, caracterizada pela busca por compreender razões que explicam a ocorrência de um fenômeno, sem representação numérica (Gerhardt; Silveira, 2009). O objetivo desse artigo foi de caráter descrito, que segundo Sampieri *et al* (2013) busca descrever

fenômenos, situações, contextos ou eventos, ou seja, nesse contexto se refere a racionalização da percepção de especialista em critérios.

A primeira etapa da pesquisa constou a consulta de especialistas em microcervejarias. A consulta de especialistas constituiu um mecanismo de complementação à teoria, considerando que muitos processos descritos na literatura podem não refletir a realidade operacional das microcervejarias. Para a pesquisa de campo, inicialmente foi selecionada uma microcervejaria consolidada, caracterizada por processos definidos e maior nível de automação, na qual foi conduzida uma primeira entrevista (Apêndice A). Essa entrevista permitiu compreender melhor o contexto das microcervejarias e subsidiou a construção de um protocolo de entrevista com maior aderência à realidade do setor (Apêndice B). Segundo Piana (2009), uma pesquisa de campo pretende buscar a informação diretamente com a população pesquisa, exigindo um encontro mais direto do pesquisador no espaço ocorre o conjunto de informações a serem documentadas.

A elaboração do apêndice A teve como base em estudos prévios desenvolvidos por Leite (2026), nos quais foi realizado um levantamento da literatura por meio da análise de conteúdo das obras de Eblinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019), com foco na identificação de diretrizes essenciais para o controle das microcervejarias no que se refere à segurança dos alimentos. Como resultado dessa primeira entrevista com a cervejaria consolidada conduzida com o apêndice A, foi possível compreender melhor o contexto das microcervejarias, e a visita subsidiou a construção de um protocolo de entrevista mais aderente à realidade do setor (Apêndice B), posteriormente submetido a dez especialistas do setor.

Essa etapa caracterizou-se como um levantamento de dados conduzido por meio de um painel de especialistas, cuja finalidade é validar empiricamente as informações teóricas e identificar lacunas entre o conhecimento científico e a realidade operacional das microcervejarias. A entrevista estruturada, permitiu identificar requisitos do cliente (ou especialistas) que garantem a segurança do alimento nas microcervejarias. A partir desses requisitos do cliente, foram definidos requisitos de qualidade, ou seja, quais ações deve existir no processo para atender às exigências de segurança identificadas. Esses requisitos de qualidade foram estabelecidos com base nas informações fornecidas pelos especialistas, complementadas pela literatura base das obras de Eblinger (2006), Bamforth (2016) e Farber e Barth (2019). Portanto, três conceitos são fundamentais para compreender a estrutura metodológica, sendo estes: percepções dos especialistas, requisitos dos clientes e requisitos de qualidade. As percepções dos especialistas correspondem às manifestações espontâneas de opiniões, experiências e preocupações expressas durante as entrevistas, geralmente de forma não

estruturada, como, por exemplo: “Temos preocupação com as normativas do MAPA”. Os requisitos dos clientes, por sua vez, representam a sistematização e conversão dessas percepções em necessidades mais amplas e estruturadas, traduzindo aquilo que o processo produtivo deve assegurar, como no caso de “Garantia de conformidade com a legislação vigente”. Enquanto, os requisitos de qualidade referem-se às ações, etapas, decisões ou respostas técnicas do processo produtivo necessárias para atender aos requisitos dos clientes, estabelecendo a ligação entre as expectativas identificadas e a operacionalização prática no contexto das microcervejarias

Embora a literatura já tenha identificado etapas do processo críticas para segurança alimentar, neste estudo, foram coletadas percepções atualizadas e aderentes a realidade local. Em concordância, Yin (2015), menciona que consultas a especialistas e estudos de casos são essenciais para compreender processos práticos que não são documentados na literatura. A partir dessas abordagens, é possível revelar nuances do cotidiano produtivo, verificada por decisões informais, ajustes empíricos (pela observação, experiência prática e sem uma padronização), estratégias de melhorias e adaptações frente as limitações econômicas ou tecnológicas que em algumas situações, podem ser invisíveis na literatura formal.

A seleção dos especialistas considerou como critérios a formação acadêmica, incluindo cursos de nível superior da área química, alimentícia, biotecnológica, mestre-cervejeiro ou áreas afins, que atuem em empresas micro e pequena empresas e com nível de maturidade acima de 3,5 anos, conforme os aspectos descritos no Quadro 18.

Quadro 18 - Critérios de especialistas participantes

Conhecimento técnico	Tempo de atuação	Porte da empresa	Nível de maturidade da empresa
Curso na área química, alimentícia, curso de mestre-cervejeiro ou relacionados	Acima de 5 anos	ME ou EPP	Acima de 3,5 anos

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

O nível de maturidade da empresa, foi determinado em concordância com a definição da pesquisa GEM (*Global Entrepreneurship Monitor*) no Brasil, na qual a maioria dos negócios são considerados estabelecidos após 3,5 anos de abertura (Anegepe, 2024). A coleta dos dados foi realizada por meio de entrevistas, conduzidas presencialmente ou por videoconferência, seguindo o roteiro apresentado no Quadro 19.

Quadro 19 - Classificação dos grupos de variáveis observadas e seus propósitos

Grupos	Variáveis contempladas	Propósito
Caracterização da empresa que atua	Porte; Tempo de operação; Capacidade produtiva mensal; Quantidade de funcionários; Quantidade de funcionários atuantes na produção;	Compreender se os profissionais atuaram ou atuam dentro do contexto estrutural e operacional das microcervejarias; Validar entrevistados com experiência no setor das microcervejarias; Garantir profissionais com conhecimento técnico atualizado;
Perfil técnico dos entrevistados	Formação acadêmica; Curso de mestre-cervejeiro; Tempo de experiência no setor;	Garantir que o respondente tenha conhecimento técnico suficiente para fornecer informações confiáveis
Condições gerais de produção	Descrição de etapas do processo; Práticas de controle relacionadas à segurança dos alimentos;	Identificar vulnerabilidades estruturais e práticas de controle
Nível de automação das etapas produtivas	Classificação do nível de operação	Reconhecer grau de intervenção humana em cada etapa; Selecionar empresas com certo grau de automação.
Risco percebido pelo entrevistado	Etapas consideradas mais críticas para segurança dos alimentos	Identificar por meio da percepção dos especialistas e o nível real de automação, as etapas com maior risco.

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

Os especialistas encontravam-se distribuídos entre os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Goiás, razão pela qual as entrevistas foram conduzidas de forma presencial e por videoconferência, conforme a viabilidade logística. A diversidade de especialistas e localidades buscou vantagens como a ampliação de perspectivas e criatividade, permitindo soluções mais inovadoras, reduzir vieses; favorece a adaptação a diferentes demandas de consumidores; e promove o aprendizado coletivo por meio da troca de conhecimentos entre áreas distinta

A segunda etapa da pesquisa foi a condução da implementação do QFD (desdobramento da função qualidade) seguindo a metodologia adaptada de Miguel (2001). Os dados utilizados para alimentar a ferramenta QFD foram obtidas na coleta de informações junto aos especialistas anteriormente citados. Em seguida, as convertidas em percepções dos

especialistas, permitindo a construção das etapas inerentes ao desdobramento do QFD, aplicando-se oito etapas, que correspondem a:

- Etapa 1 – Matriz de captura da voz do cliente para obtenção dos requisitos do cliente (especialistas), por meio de entrevistas, obtendo a matriz do cliente/especialista (“o que”);
- Etapa 2 - Matriz do “grau de importância” para cada requisito conforme, conforme quantidade de vezes citadas durante entrevista, descrito no Quadro 20.

Quadro 20 - Pesos de cada grau de importância

Descrição	Peso
Todos os especialistas citaram como aspecto importante	5
A maioria dos especialistas citaram como aspecto importante	4
Alguns citaram como importância	3
Apenas um citou como importante	1

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

- Etapa 3 – Matriz de requisitos de qualidade, conforme a matriz voz do técnico (“como”), obtida pelos especialistas e validação pela literatura pertinente;
- Etapa 4 – Matriz de correlação, indicando a relação entre os requisitos de qualidade e influência entre eles. Foram atribuídos símbolos as referências de correlações, conforme Quadro 21.

Quadro 21 - Símbolos da matriz de correlação

Correlação	Símbolos
Fortemente positiva	++
Positiva	+
Negativa	-
Fortemente negativa	--

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

- Etapa 5 – Matriz de relacionamento e análise a matriz do cliente e a matriz voz do técnico, conforme Quadro 22.

Quadro 22 - Relação e pesos atribuídos a matriz de relacionamento

Relação	Peso
Forte	9x
Moderado	3x
Fraco	1x
Inexistente	0

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

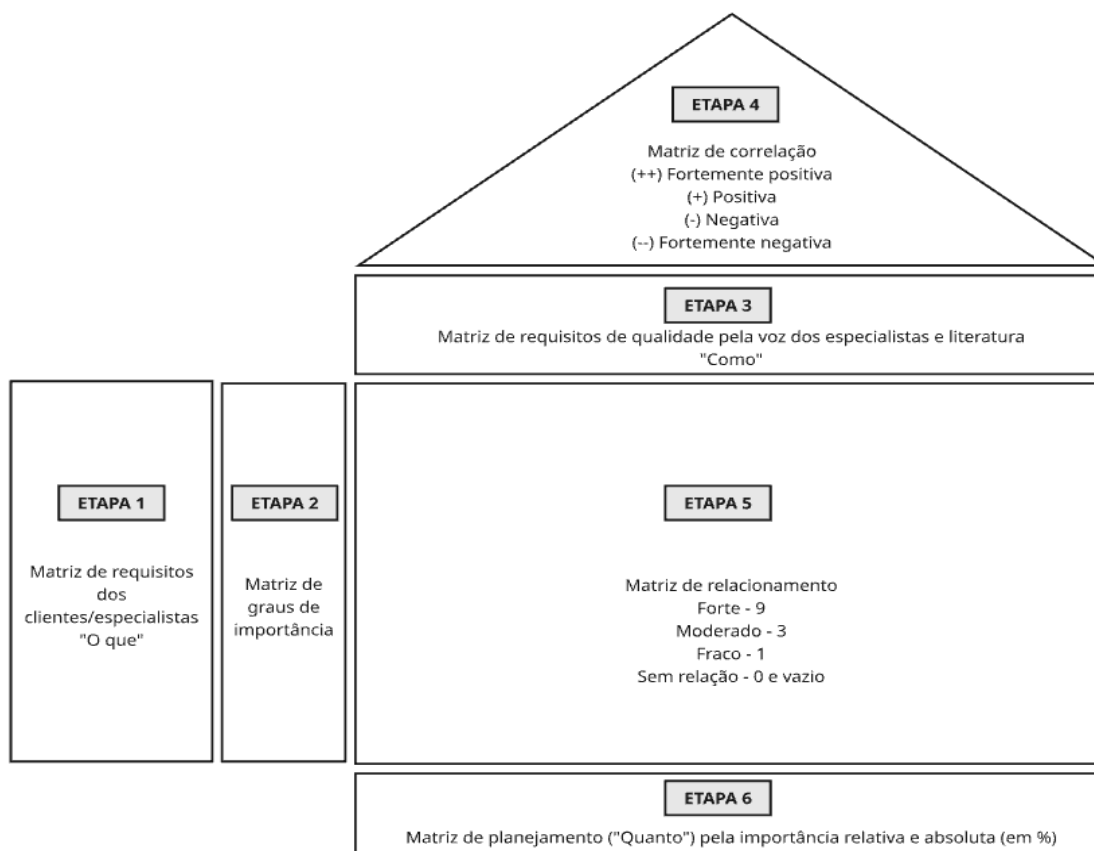
- Etapa 6 - Matriz de planejamento técnico (“Quanto”), indicando a importância absoluta e relativa (em %) de cada correlação, permitindo a priorização de ações, conforme a equação 1 e 2.

$$\text{Importância}_{\text{Absoluta}} = \sum (\text{Relação de força} \times \text{grau de importância}) \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Importância}_{\text{Relativa}}(\%) = \frac{\text{Peso relativo do requisito do cliente}}{\sum \text{Pesos relativos}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Dessa forma, a sequência da construção do QFD aplicado ao problema de pesquisa, foi construído conforme demonstrado na Figura 12 abaixo:

Figura 12 - Sequência da construção do QFD aplicado ao problema de pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2026)

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Percepção de especialistas do microcervejarias

A caracterização da experiência dos especialistas das unidades fabris, evidenciou uma diversidade em termos de capacidade produtiva e qualificação profissional dos responsáveis. O tempo de operação variou entre 3,5 e 9 anos, com capacidades produtivas iniciadas em 300 L/mês até 500.000 L/mês, refletindo diferentes níveis de estrutura e automação, conforme Tabela 2. No quesito de formação profissional, entre os especialistas foram observadas predominância dos perfis com formação técnica ou superior nas áreas de engenharia química, bioprocessos, biotecnologia, ciência dos alimentos e química. Quanto à localização, os especialistas estavam distribuídos entre os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Goiás. Dessa forma, as entrevistas foram realizadas tanto presencialmente quanto por videoconferência, em função da distância entre os participantes.

Tabela 2 - Caracterização do perfil de experiência da unidade fabril que o entrevistado possui

Cervejaria	Porte	Tempo de operação (anos)	Capacidade produtiva (L/mês)	Quantidade de funcionários	Quantidade de funcionários na produção	Formação profissional
C1	ME	9	76.0000	15	3	Engenharia química e mestre cervejeiro
C2	ME	5	300	2	2	Mestre cervejeiro
C3	ME	3,5	6.000	2	2	Mestre cervejeiro
C4	ME	9	50.000	7	2	Biotecnologia e mestrado em microbiologia
C5	EPP	9	200.000	60	8	Química
C6	ME	6	6.500	4	1	Engenharia de bioprocessos
C7	DE	20	500.000	36	9	Engenharia química e mestre cervejeiro
C8	ME	9	19.000	7	2	Ciência dos alimentos
C9	ME	9	50.000	6	3	Técnico em cervejaria e mestre cervejeiro
C10	ME	8	15.000	3	3	Gastronomia, sommelier, tecnologia cervejeira

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

Outro ponto observado foi a relação do grau de automação dessas unidades, sendo definida em manual, semiautomática e automática com base no nível de intervenção humana para condução da etapa do processo e conforme realidade de cada unidade. Segundo Norbiato *et al* (2025) a implementação de sistemas automatizados pode otimizar a produção, aumentar produtividade e melhorar a qualidade dos produtos. Tais vantagens decorrem da redução da variabilidade, da maior precisão das operações, padronização das atividades e redução da intervenção humana. Dessa forma, o grau de automação foi identificado como um importante barreira de controle para fortalecer a segurança dos alimentos. Observou-se uma relação direta entre a capacidade produtiva e o nível de automação empregado, indicando que as empresas cervejeiras compreendem a automação como estratégia para reduzir falhas, riscos sanitários e padronização dos processos. O Quadro 23 mostra o nível de automação das cervejarias que atua, conforme a percepção dos entrevistados.

Quadro 23 - Análise do nível de automação nas unidades em que os entrevistados atuam

Microcervejarias										
Etapas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Moagem	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mostura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Filtração	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fervura primária	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Resfriamento	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fermentação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Maturação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Filtração secundária	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Envase	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Armazenagem	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
CIP (<i>Clean-in-place</i>)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

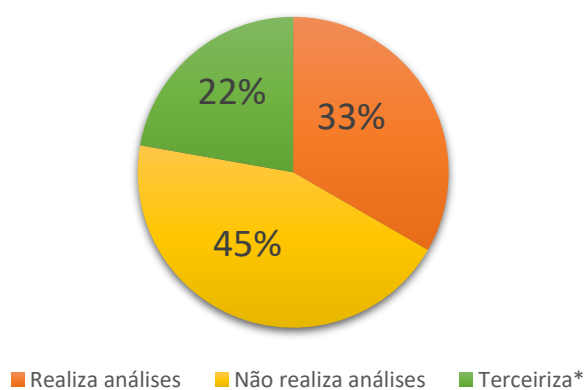
Sendo, ■ manual, ■ semiautomática e ■ automática.

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

Conforme observado no Quadro 23, é evidente o maior grau de automação nas etapas à quente, representando a parte mais segurança quanto a segurança do alimento devido a menor intervenção humana e pela própria atuação do calor, no processo de descontaminação e controle microbiológico. Nas etapas à frio, o grau de automação é menor, exigindo também maior atuação de operador. Além disso, são etapas que o alimento possui mais contato com o ambiente externo, por meio do acréscimo de insumos, bem como pela retirada de amostras para análises. A etapa de fermentação, envase, armazenagem e CIP são em sua maioria etapas com menor automação, relevando pontos críticos do processo. Outro aspecto importante ocorre que a maioria as análises ocorrem de maneira, sem apoio de um laboratório químico ou microbiológico. No caso das análises químicas, é comum a realização de testes de iodo para acompanhar conversão do amido e análises de residual de hidróxido de soda pós CIP por fenolftaleína. Ou seja, são métodos que não exigem equipamentos, de modo que utilizam apenas indicadores para uma análise qualitativa. Enquanto, as análises microbiológicas, em sua maioria, não são realizadas. Algumas microcervejarias optaram por enviar amostras para laboratórios externos algumas vezes ao ano para entender a variabilidade do sistema, após a padronização daquele sistema, não são realizadas de maneira frequente ou por lotes.

Das unidades analisadas apenas três possuem laboratório próprio de análises químicas e microbiológicas. As outras sete não possuem, destas empresas, apenas duas empresas optam a cada seis meses em enviar amostras para laboratórios terceirizados para compreender como os processos estão em termos de análises microbiológicas e químicas, conforme descrito na Figura 13. Em relação, as análises químicas, algumas análises simples são realizadas mesmo sem suporte de um laboratório, como densidade, conversão de amido por iodo, pH e algumas realizam análise de residual de enxague de CIP com fenolftaleína.

Figura 13 - Práticas de análises microbiológicas nas microcervejarias que os especialistas atuam



*As amostras são terceirizadas a cada 6 meses para entender a variação de processo e atualização nas ações de tratativas. Fonte: Elaborada pela autora (2026)

Os entrevistados também foram questionados acerca dos controles de parâmetros adotados em cada do processo, conforme descrito no Quadro 24.

Quadro 24 - Principais parâmetros controlados pelos entrevistados durante o processo de produção cervejeira.

Etapas	Controles de parâmetros
Recebimento de insumos	A água normalmente é analisada e os outros insumos (lúpulo, malte e leveduras) são verificados pelo laudo do fornecedor. São feitas mais análises quando a água é obtida de poços artesianos, normalmente por laboratório terceirizado algumas vezes ao ano. Quando captada por poços, costuma ser analisada a dureza, presença de sais minerais, pH, cloro e outras descritas pelo MAPA.
Moagem	Granulometria
Brassagem/Mostura	Temperatura, pH, Conversão do amido, tempo e densidade.
1ª Filtração/Clarificação	Turbidez
Fervura	Tempo, temperatura e densidade.
Resfriamento	Temperatura e tempo
Fermentação	Oxigenação, temperatura, pH, tempo e sensorial
Maturação	Carbonatação, temperatura, pH, tempo e sensorial
2ª Filtração	Tempo, turbidez e sensorial
Envase	Volume e pressão
Armazenagem	Temperatura, validade e rastreabilidade
CIP (<i>Clean-in-place</i>)	Concentração de sanitizantes, temperatura da água e verificação visual da linha

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

As três etapas de maior risco à segurança dos alimentos no processo produtivo são fermentação, CIP e envase. Assim como também são etapas com maior dificuldade de automatização, sendo caracterizada por grande intervenção humana, conforme explicado no Quadro 25.

Quadro 25 - Descrição dos riscos associados as etapas de fermentação, CIP e envase.

Etapas	Riscos	Descrição das ações que podem gerar riscos
Fermentação	Contaminação biológica	• Longo período de espera antes da inoculação • Inoculação realizada manualmente • Retirada do inóculo e reciclo manualmente • Assepsia de baldes e equipamentos da inoculação dependentes do operador • Alto reuso da levedura sem análise de viabilidade celular e contaminantes • Falta de validação por análises microbiológicas do produto.
CIP (<i>Clean in Place</i>)	Contaminação biológica e química	• Preparação manual da concentração do sanitizante, sem validação por análise química • Condução manual da limpeza por ação física • Possibilidade de formação de pedra cervejeira e pontos “mortos” • Pode ocorrer ciclos incompletos ou parâmetros incorretos • Ausência de análise de residual de produtos químicos; • Ausência de análise de validação microbiológica do CIP.
Envase	Contaminação biológica, química e física	• Processo manual que ocorre pelo acoplamento de uma mangueira ao barril • Pode ocorrer contaminação cruzada pelo barril ou mangueira contaminada • Em linhas que também possuem envase em garrafas, pode ocorrer contaminação física também • Facilidade de sabotagem com contaminantes físicos • Se o barril não for suficientemente pressurizado, pode prejudicar o enchimento e favorecer entrada de contaminantes • Definição de vida útil empírica, sem estudos de vida-útil.

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

Essa percepção da fermentação como uma etapa crítica decorre de longos períodos de espera do mosto antes da inoculação, do processo manual de inoculação e reciclo da levedura, e principalmente, pela ausência de laboratório microbiológico para identificar possível contaminação ou a viabilidade celular. O tempo prolongado entre a preparação do mosto e a inoculação aumenta o risco de contaminação por microrganismos indesejados presentes no ambiente. Esses microrganismos oportunistas podem se multiplicar no mosto, competindo com a levedura. Segundo Bokulich *et al* (2015), como o mosto é fervido antes da fermentação, a principal fonte de microrganismos deteriorantes da cerveja provém do ambiente da cervejaria. A manipulação manual aumenta a probabilidade de erros humanos e

contaminação, especialmente em operações sem procedimentos rigorosos. Assim como, o reciclo pode transferir contaminantes entre lotes. Algumas microcervejarias não armazenam a levedura por considerar o manuseio excessivo como um risco de contaminação, por isso, organizam a produção para que ao final de uma fermentação, a levedura recuperada seja imediatamente inoculada. Outro ponto, nesse processo também pode ocorrer contaminação cruzada por assepsia inadequada de baldes e outros instrumentos. Todo esse processo envolvendo a levedura é realizado sem análises microbiológicas, sendo difícil detectar contaminações silenciosas.

Outra etapa igualmente sensível e considerada um fator de risco relevante é a limpeza CIP (*Clean in place*). Os principais erros apontados pelos especialistas são: sistemas parcialmente manuais ou sujeitos; formação de pontos mortos que favorecem o desenvolvimento de biofilmes microbianos; a dificuldade de acesso a algumas partes, como tubulações e trocadores de calor, exigindo desmontagem parcial; a necessidade de conduzir a limpeza na sequência e concentrações adequada de produtos sanitizantes para evitar ciclos incompletos ou parâmetros incorretos; a falta de validação química e microbiológica pós limpeza; e, alguns casos, a ausência de análises de resíduos químicos, podendo resultar em contaminação química do produto. Além disso, quando a cervejaria apresenta alta demanda produtiva e uso frequente da linha, há registro da formação da chamada “pedra cervejeira”, depósitos que, segundo os entrevistados, dificultam a higienização, favorecem a formação de biofilmes e reduzem a eficiência térmica dos equipamentos. A remoção desses depósitos nas microcervejarias é realizada com ácido nítrico, que dissolve os cristais e contribui para a manutenção da limpeza e eficiência do processo. Somados a isso, os especialistas mencionam a ação mecânica realizada ao esfregar pelo operador é crucial para uma boa higienização da linha.

Segundo Carrera (2015), os depósitos ou sujeiras podem ser classificados em orgânicos, minerais ou inorgânicos e biológicos. Os compostos orgânicos decorrem de resíduos de origem animal ou vegetal, formando um substrato para o desenvolvimento de microrganismos. Os inorgânicos decorrem, principalmente, da qualidade da água, geralmente a dureza da água que está associada a formação de sais de cálcio e magnésio, formando precipitados insolúveis, e quando em contato com a cerveja, forma a “pedra cervejeira”, que são depósitos de oxalatos de cálcio insolúvel, afetando principalmente a transferência de calor. Logo, por afetar a transferência de calor, também afeta a eficiência dos processos térmicos, podendo afetar nos processos de descontaminação e barreiras de segurança dos alimentos. Frente a isso, alguns especialistas também citaram a importância do controle dos termômetros

nos tanques e fiscalização visual de partes de difícil acesso (como trocadores de calor), tubulações e outros. Ainda Segundo Carrera (2015), há também os depósitos biológicos, chamados de biofilmes, formados por uma espécie ou mistura de espécies de microrganismos. Esse biofilme pode impactar na deterioração das cervejas. Além disso, as microcervejarias são caracterizadas pelo envase em barril que também são submetidos ao CIP e possuem partes de difícil acesso e verificação visual, podendo ter as mesmas intercorrências do processo na linha.

Por fim, outra etapa indicada pelos especialistas como vulnerável à segurança dos alimentos é o envase. O envase em barris apresenta diversos riscos devido ao processo manual, que envolve o acoplamento da mangueira ao barril e o manuseio direto, aumentando a chance de contaminação cruzada por barris ou mangueiras contaminadas. Em unidades que também realizam o envase em garrafas, há risco adicional de contaminação física, e a exposição direta ao ambiente externo torna o sistema mais suscetível a sabotagem. Caso o barril não seja pressurizado adequadamente, a permanência do oxigênio pode favorecer a proliferação de microrganismos, comprometendo a qualidade do produto. Ademais, a vida útil dos produtos é definida de forma empírica, sem estudos ou análises microbiológicas e químicas que validem o tempo seguro de armazenamento, aumentando a incerteza sobre a estabilidade e segurança da cerveja.

Essa visão corrobora com Devolli *et al* (2016) que menciona o envase como uma etapa complexa e intensiva em mão de obra que pode ser responsável por muitos problemas de contaminações microbiológicas devido a contaminação cruzada. Além disso, no seu estudo foram coletadas amostras microbiológicas de tanques, tubulações, máquinas de envase, embalagens e locais de difícil acesso nos equipamentos (como tubos, máquinas e outras superfícies internas), sendo que o ambiente mais contaminado foi na linha de barris, especialmente aumentada conforme os dias passam após o CIP.

Segundo Rodríguez-Saavedra *et al* (2020), a cerveja produzida em microcervejarias são mais susceptíveis a deterioração microbiana por não passar pelo processo de pasteurização e filtração. Esse ponto também foi mencionado pelos entrevistados que envasam o produto diretamente nos barris. No estudo conduzido por Rodríguez-Saavedra *et al* (2020), foram monitorados 60 pontos dentro de uma microcervejaria, encontrando microrganismos dos gêneros *Lactobacillus*, *Pediococcus* e *Leuconostoc*. A cepa *Levilactobacillus brevis* demonstrou a capacidade de deteriorar a cerveja, mesmo com maior teor de lúpulo e álcool, contudo, nem todos os gêneros apresentaram a mesma influência. Esse estudo também apontou que a área de envase abrigava maior quantidade e diversidade de microrganismos, sugerindo a possibilidade de contaminação cruzada. Somados a isso, Kordialik-Bogacka (2022), observou

que existe uma gama variada de microrganismos com alto potencial de contaminação da cerveja, mesmo nas condições de teor alcoólico, como *Fructilactobacillus lindneri*, *Pediococcus damnosus*, *Enterobacteriaceae* (incluindo a *Shimwellia*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Klebsiella* e outras) e outras.

Çobo *et al* 2023 menciona que nas cervejas sem álcool isso se torna ainda mais preocupante, uma vez que a ausência do álcool permitiu o crescimento e sobrevivência de patógenos, ao contrário das cervejas com baixo teor alcoólico. Além disso, a temperatura de armazenamento também seria bastante crítica para prevenir o crescimento de patógenos.

4.4.2 Desdobramento da função qualidade (QFD) aplicado a requisitos de qualidade

A ferramenta de desdobramento da função qualidade (QFD) aplicada a esta pesquisa concentrou-se em converter percepções de especialistas (voz do cliente) sobre ações que podem impactar na segurança dos alimentos (“o que” o processo produtivo da cerveja tem que ter), transformando-as em requisitos de qualidade (“como” o processo precisa operar para atender aos parâmetros definidos pelos especialistas (requisitos dos especialistas). Em seguida, permitiu a priorização dos fatores (requisitos de qualidade do processo) que mais influenciam na segurança dos alimentos, focando nas etapas do processo de produção de cerveja que possuem maior risco de falhas, mencionadas pelos especialistas como a parte fria do processo (fermentação, envase e higienização CIP). Então na captura da voz do cliente pelos especialistas, buscou-se compreender pontos de convergência e divergência no conjunto de dados e, sempre que necessário, buscou-se esclarecimento na literatura sobre as situações vivenciadas por meio da literatura. Em todas as etapas foram questionados sobre os pontos importantes, os tipos de controles realizados, os principais erros e as possíveis falhas. Assim como, também perguntados sobre como realizavam determinada etapa, descrevendo-a no máximo de detalhes possíveis. Em comparação, Miguel (2005), menciona sobre a importância de o pesquisador estar atento aos pontos de convergência e divergência.

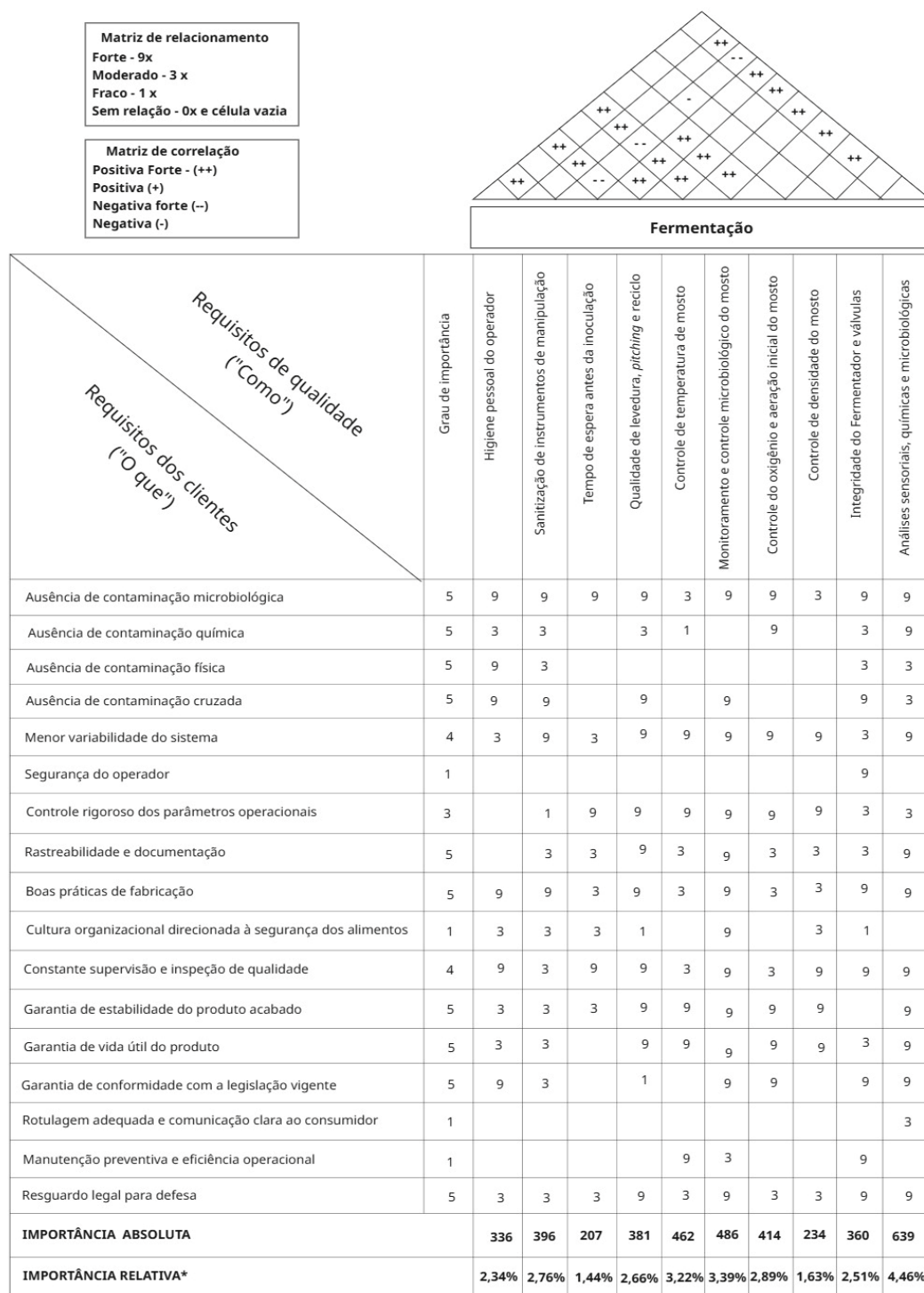
Na segunda etapa, o grau de importância de cada aspecto foi definido com base na frequência mencionada pelos especialistas. O grau de importância teve o propósito de gerar proporcionalidade, naquilo que os especialistas entendem como mais importantes. Segundo os especialistas os pontos que consideram com maior grau de importância são aqueles relacionados mais diretamente com a segurança dos alimentos e obrigatoriedades indicadas pelo MAPA e outras legislações.

Na terceira etapa, na construção da matriz de requisitos, foi obtida pela reflexão das respostas dos especialistas e comparação com a literatura, uma vez que em cada etapa era questionado a maneira como o especialista desenvolvia aquela atividade, quais barreiras de controle e maiores erros que poderiam acontecer.

Na quarta etapa de construção do telhado da casa da qualidade, compreendeu-se a correlação entre os requisitos de qualidade, ou seja, o quanto uma influencia positivamente ou negativamente a outra.

Na etapa de fermentação do processo produtivo da cerveja, os requisitos de qualidade apontados com maior importância absoluta foram: 1) análises sensoriais, químicas e microbiológicas, 2) monitoramento e controle microbiológico do mosto, 3) controle de temperatura, 4) sanitização de instrumentos de manipulação, 5) tempo de espera antes da inoculação do mosto, conforme QFD apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Construção da matriz QFD para a etapa de fermentação



*A importância relativa foi realizada com os valores obtidos nas três matrizes (fermentação, envase e CIP), permitindo assim a priorização.

→
Continua

Fonte: Elaborada pela autora (2026)

As análises sensoriais, químicas e microbiológicas permitem avaliar se o processo fermentativo está se desenvolvendo de forma adequada, dentro dos limites desejáveis para cada parâmetro. Trata-se de uma etapa que pode demandar vários dias, dependendo do perfil

alcoólico da cerveja. As alterações nos limites previamente estabelecidos na receita podem indicar uma possível contaminação, geralmente identificada por variações de pH, presença de aroma ácido indesejável e mudanças no corpo da cerveja. Segundo os especialistas consultados, nessa fase é essencial o monitoramento de parâmetros como pH, densidade e aspectos sensoriais, incluindo aroma, sabor e textura. Além disso, como o envase ocorre logo após essa etapa, torna-se fundamental a definição precisa do perfil físico-químico e segurança microbiológica da cerveja. Esse controle é ainda mais crítico quando o produto é envasado como cerveja sem glúten ou sem álcool, sendo indispensável garantir a ausência desses compostos, a fim de evitar reações alérgicas graves, insatisfação do consumidor e medidas administrativas e sanitárias vinculada a propaganda enganosa e risco à saúde pública.

O monitoramento e controle microbiológico do mosto é importante uma vez que a maioria dos especialistas mencionaram que o reciclo de leveduras é uma prática comum, sendo reutilizada em torno de 6 vezes até o descarte. Esse reciclo pode levar contaminantes e leveduras selvagens, assim como reduzir a viabilidade celular das células de levedura. Segundo Firme (2024), após 12h de fermentação ocorre uma perda da viabilidade celular. Além disso, Firme (2024) também menciona que o consórcio de microrganismos junto a levedura, gera uma perda de qualidade do processo fermentativo, gerando estresse e queda do rendimento etanólico.

O controle de temperatura é essencial devido ao processo de fervura que antecede a fermentação, que gera um mosto muito quente. Caso a inoculação ocorra antes de um resfriamento adequado, pode haver morte das células de levedura. Além disso, as leveduras possuem uma faixa de temperatura ótima para o crescimento, o que melhora o desempenho de fermentação. Segundo Pina *et al* (2022), o perfil da cerveja também é definido pelo range de temperaturas durante a fermentação.

Segundo os especialistas consultados, a sanitização de materiais está relacionada com o uso materiais, como baldes, utilizados para a inoculação e recuperação da levedura. Então caso não seja bem sanitizado, pode ser veículo de contaminação cruzada, conforme Bamforth (2016).

Outro ponto mencionado pelos especialistas, o tempo de espera do mosto antes da inoculação da levedura está associado a um maior risco de contaminação microbiológica, uma vez que o mosto é um meio altamente rico em açúcares fermentescíveis, os quais são atrativos para microrganismos presentes no ar. Durante esse período, a ausência de microrganismos competidores favorece a instalação, proliferação e crescimento de contaminantes. Como consequência, quando a inoculação da levedura é realizada, seu desenvolvimento pode ser prejudicado devido à competição por nutrientes e espaço, comprometendo o desempenho

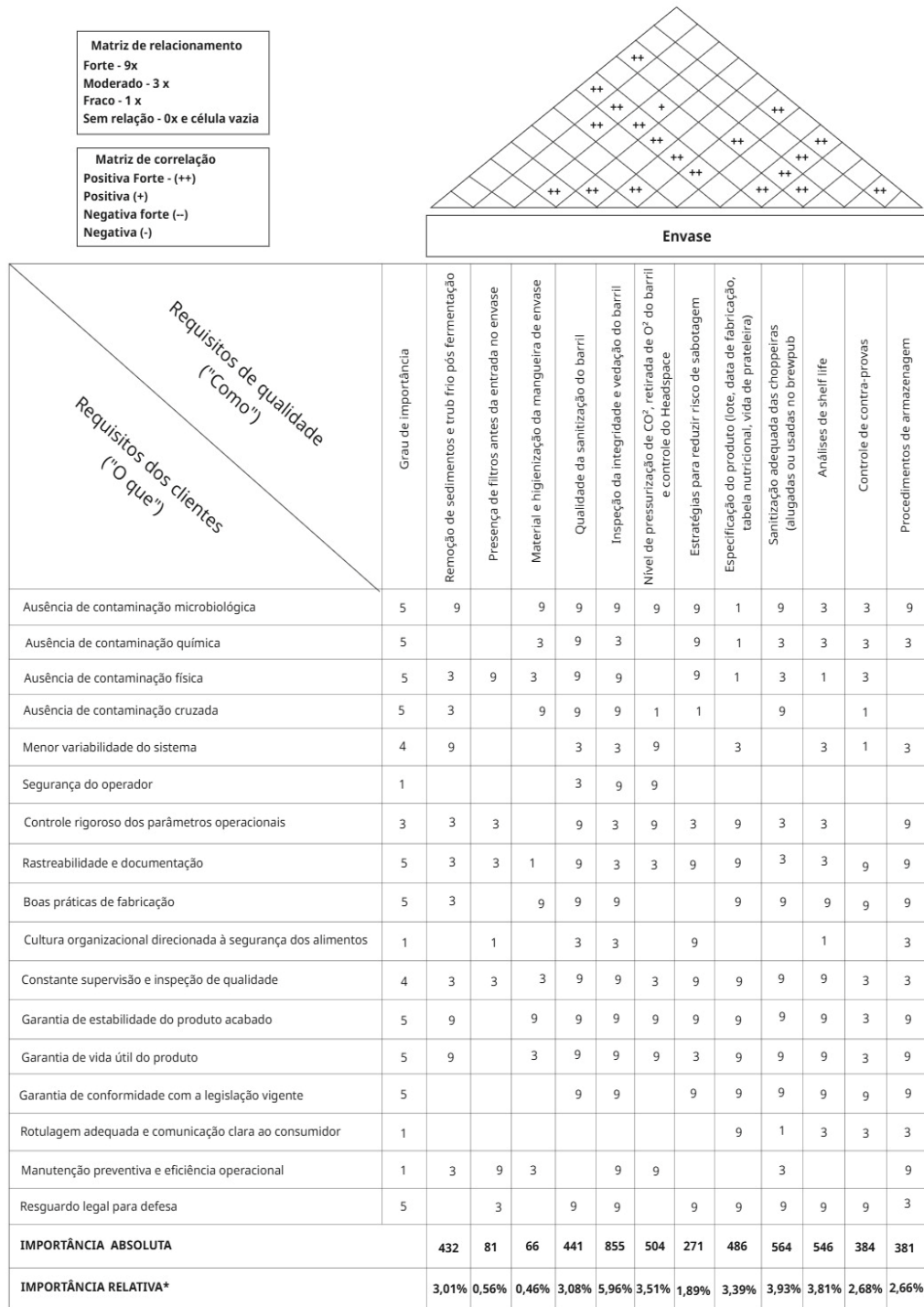
fermentativo e a qualidade do produto. Logo, é importante que a inoculação da levedura ocorra logo após o processo de resfriamento do mosto, garantindo seu crescimento sem competição com outros microrganismos, além do risco a saúde pelos contaminantes.

O tempo de espera do mosto antes da inoculação está relacionada com um produto bastante rico em açúcares que podem ser atrativos para microrganismos contaminantes presentes no ar. Como não há concorrência durante essa espera, aumenta a chance de contaminação e proliferação desses microrganismos, e quando realizado a inoculação da levedura, a levedura terá dificuldade de desenvolver sua população em decorrência da competição por nutrientes e espaço. Segundo Pina *et al* (2022) no ambiente são encontradas também leveduras não-convencionais, sendo que algumas combinações podem gerar interações negativas, resultando em *off-flavors*. Por isso, é importante que o tempo de espera seja o mínimo possível.

No telhado da matriz QFD foi possível identificar sinergias, conflitos e dependências, fundamentais para a tomada de decisão e priorização de ações voltadas à segurança dos alimentos e à estabilidade do produto. Algumas relações consideradas fortes foram a relação entre a higiene pessoal do operador e sanitização dos instrumentos, pois reforçam boas práticas, e a higiene do operador pode também ser um veículo de contaminação cruzada com os instrumentos, como cabelos, unhas, acessórios e mãos sujas, conforme mencionado pelos especialistas. Ainda segundo os especialistas, a sanitização dos instrumentos auxilia no controle microbiológico do mosto, pois são utilizados instrumentos de coleta para inoculação e recuperação da levedura do mosto, caso os instrumentos estejam contaminados, podem contaminar também a levedura. O controle de temperatura do mosto tem relação com a qualidade da levedura, uma vez que a levedura responde diretamente à temperatura e situações de estresse pode gerar uma perda de viabilidade mais rápida das células de levedura. Sobre as relações negativas fortes, está o aumento excessivo da aeração inicial e o controle microbiológico pode favorecer o crescimento de microrganismos aeróbios indesejáveis, bem como atrasar o início do processo fermentativo, uma vez que ocorre em estado anaeróbio. É essencial para o crescimento inicial da levedura, mas a partir disso deve ser controlada a aeração e oxigenação.

Na etapa de envase no processo produtivo da cerveja, a matriz do QFD, apresentada na Figura 15, demonstrou as ações mais importantes, como: 1) Inspeção de integridade e vedação do barril, 2) Sanitização adequada das choppeiras (alugadas ou utilizadas no *brewpub*), 3) Análises de *shelf life* (vida de prateleira) e 5) Nível de pressurização de CO².

Figura 15 - Construção da matriz QFD para a etapa de envase



*A importância relativa foi realizada com os valores obtidos nas três matrizes (fermentação, envase e CIP), permitindo assim a priorização.

→
Continua

Fonte: Elaborada pela autora (2026)

Na etapa de higienização CIP no processo produtivo da cerveja, apresentada na Figura 16, é possível observar que as ações consideradas mais importantes são:1) Registros de

limpeza; 2) esforço físico e remoção de partes de difícil acesso; 3) Limpeza externa e plano de periodicidade; 4) Calibração de termômetros e 5) Concentração, sequência e compatibilidade química dos sanitizantes.

Figura 16 - Construção da matriz QFD para a etapa de CIP higienização



*A importância relativa foi realizada com os valores obtidos nas três matrizes (fermentação, envase e CIP), permitindo assim a priorização.

Fonte: Elaborada pela autora (2026)

Os registros de limpeza são fundamentais para a rastreabilidade do processo, permitindo identificar o operador responsável, a data de execução, o método empregado, a concentração dos agentes de limpeza e se todas as etapas foram realizadas conforme o procedimento estabelecido. Esses registros também representam um histórico para empresa em caso de intercorrências futuras com o produto a fim de identificar possíveis falhas, inclusive são requeridos em auditorias, conforme mencionado por Lima *et al* (2021), sendo também um requisito das boas práticas de fabricação (BPF) para rastreabilidade (Ruella *et al.*, 2024)

O esforço físico e remoção de partes de difícil acesso tem propósito de evitar formação de biofilmes que podem se tornar “pedras cervejeiras”. Outro ponto, alguns locais da linha são descritos como regiões com fluxo insuficiente para limpeza eficaz, chamado de pontos mortos, normalmente gera-se um acúmulo de resíduos. Alguns pontos de difícil acesso são os trocadores de calores, tubulações, frestas e filtros. A inspeção do filtro é fundamental para detectar eventuais contaminantes físicos retidos, podendo indicar até que algumas partículas podem ter passado pelo filtro (Connolly *et al.*, 2025; Eßlinger, 2009; Siakavuba, 2022).

A limpeza externa e o plano de periodicidade são essenciais devido ao ambiente externo ser o principal responsável pela contaminação microbiológica e física. Esse tipo de limpeza deve incluir limpeza periódica de chão, paredes, tetos e regiões abaixo dos equipamentos, portas, câmaras frias, janelas e outros. É um requisito básico pelas boas práticas de fabricação e solicitado pela ANVISA (Wolf, 2017).

A calibração dos termômetros deve ser parte do processo de verificação da eficiência dos tanques após o processo de limpeza. Essa verificação garantirá a eficiência térmica dos processos.

A concentração, sequência e compatibilidade química dos produtos utilizados durante o CIP tem função de garantir a eficiência do processo de higienização do interior dos tanques. Segundo Eßlinger (2009) a primeira etapa é uma lavagem da linha com água, normalmente utiliza-se água quente. Em seguida, o uso de agentes alcalinos, incluindo o hidróxido de sódio, tem objetivo de remover contaminações orgânicas que não são facilmente solúveis em água, permitindo a transformação química dos resíduos insolúveis em água para fragmentos solúveis em água. O hidróxido de sódio é o agente alcalino mais empregado, sendo utilizado normalmente em concentrações entre 1,5 – 2,0%. Em seguida, deve ser retirado todo residual de hidróxido de sódio e realizadas análises químicas para validação. Posteriormente, utiliza-se agentes ácidos, o mais comum é o ácido nítrico na concentração de 1,0 – 1,5%, para remoção de contaminação inorgânica, responsável pela formação da pedra de cerveja. Ademais, auxilia na passivação do aço inoxidável e liberação de nitratos no efluente (Eßlinger, 2009).

Em seguida, ocorre uma nova lavagem com água para remoção do ácido. E por fim, deve ser conduzida a desinfecção com ácido peracético na concentração de 0,3%, tendo efeito oxidante (destrói a membrana celular de microrganismos) em uma faixa de eficácia muito ampla.

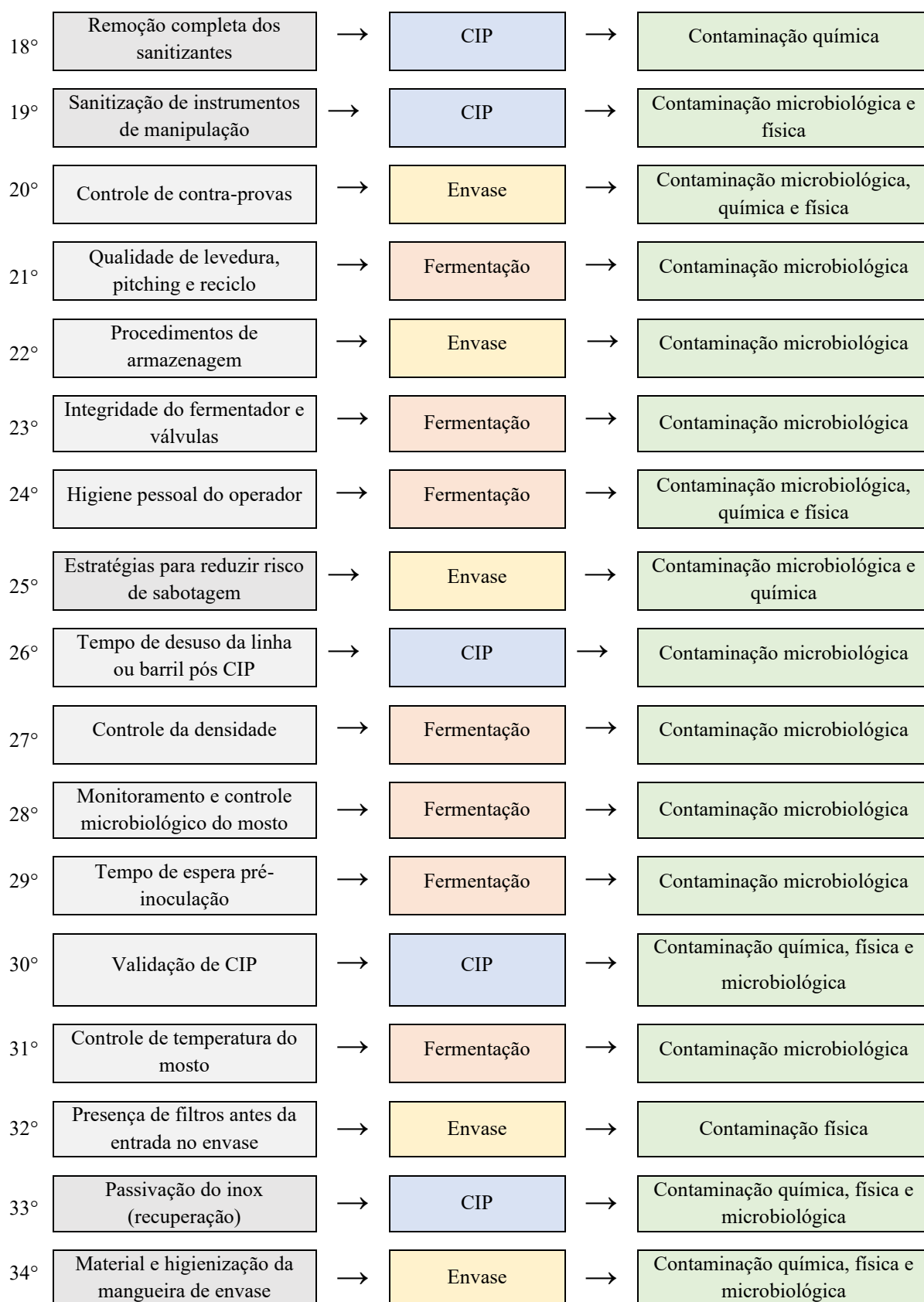
No telhado da qualidade, matriz de correlações, as correlações positivas evidenciam que a otimização dos requisitos de qualidade contribui de forma conjunta para o aprimoramento do sistema. Essas correlações foram verificadas entre a concentração, sequência e compatibilidade química dos sanitizantes, tempo de repouso, remoção de biofilme e validação microbiológica pós CIP, os quais atuam de forma integrada na eficácia da higienização. A concentração, sequência e compatibilidade química, permite uma remoção mais adequada dos resíduos orgânicos e inorgânicos, assim como a sequência adequada permite o acesso a esses contaminantes. Como por exemplo, o ácido peracético é extremamente volátil e possui ação quando já removido a matéria-orgânica da linha. Cada produto possui um tempo de atuação para garantia da limpeza. Todos esses aspectos contribuem para remoção do biofilme e favorece o processo de validação microbiológica pós CIP, normalmente, conduzida pela verificação da presença de biofilme e microrganismos na linha, que após o processo CIP, devem ter sido sanados. Essas sinergias indicam oportunidades de otimização do processo com ganhos simultâneos em segurança dos alimentos.

De acordo com os especialistas, também foi verificado correlações negativas que sinaliza potenciais *trade-offs* operacionais, ou seja, uma melhora operacional pode gerar impacto negativo em outro processo, exigindo a definição de compensações e equilíbrio. Por exemplo, atuar com concentrações mais altas de produtos químicos, podem dificultar o processo de remoção completo do produto da linha, assim como também a diversificação desses produtos empregados, exigem também uma quantidade maior de métodos de verificação dessa remoção. Além disso, pode resultar em processos mais complexos de liberação de linha, embora contribua para uma maior remoção do biofilme. Algumas microcervejarias deixam o produto em repouso na linha e faz a remoção pouco antes da finalização, para evitar uma possível recontaminação por tempo de desuso da linha, normalmente com ácido peracético. Contudo, há uma redução da eficiência do ácido peracético, sendo sempre melhor que a limpeza da linha seja finalizada pouco tempo antes do seu uso.

A partir da importância relativa, os 34 requisitos de qualidade foram priorizados, conforme observados na Figura 17.

Figura 17 - Priorização de requisitos de qualidade em acordo com a ferramenta QFD

	Requisito de qualidade		Etapa do processo		Impacto
1º	Inspeção do barril (Vedação e integridade)	→	Envase	→	Contaminação microbiológica
2º	Registros de limpeza	→	CIP	→	Contaminação microbiológica e física
3º	Análises sensoriais, químicas e microbiológicas	→	Fermentação	→	Contaminação microbiológica, química e física
4º	Esforço físico e remoção das partes de difícil acesso	→	CIP	→	Contaminação microbiológica, química e física
5º	Calibração dos termômetros	→	CIP	→	Contaminação microbiológica
6º	Limpeza externa com periodicidade	→	CIP	→	Contaminação microbiológica, química e física
7º	Sanitização das chopeiras	→	Envase	→	Contaminação microbiológica, química e física
8º	Concentração, sequência e compatibilidade química	→	CIP	→	Contaminação microbiológica e química
9º	Análises de <i>shelf life</i>	→	Envase	→	Contaminação microbiológica e química
10º	Nível de pressurização de CO ₂ e retirada de O ₂ de barril	→	Envase	→	Contaminação microbiológica
11º	Monitoramento e controle microbiológico do mosto	→	Fermentação	→	Contaminação microbiológica
12º	Especificação do produto (lote, data de fabricação, vida de prateleira e parâmetros de qualidade)	→	Envase	→	Contaminação microbiológica
13º	Tempo de repouso dos sanitizantes	→	CIP	→	Contaminação microbiológica
14º	Controle de temperatura do mosto	→	Fermentação	→	Contaminação microbiológica
15º	Remoção de biofilme	→	CIP	→	Contaminação microbiológica
16º	Qualidade de sanitização do barril	→	CIP	→	Contaminação microbiológica, química e física
17º	Remoção de sedimentos e <i>trub</i> frio pós fermentação	→	Envase	→	Contaminação microbiológica



Fonte: Elaborada pela autora (2026)

A priorização dos requisitos de qualidade é fundamental para garantir a segurança do produto, a estabilidade do processo e a conformidade com os padrões sanitários e regulatórios. Ao organizar os requisitos de acordo com seu impacto potencial e etapa do processo, torna-se possível direcionar recursos, controles e monitoramentos para os pontos mais críticos, reduzindo significativamente o risco de contaminações microbiológicas, químicas e físicas.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do método QFD permitiu determinar os requisitos de qualidade para etapas do processo de fabricação da cerveja e priorizar aqueles que afetam mais na segurança do alimento. O estudo teve foco nas etapas de fermentação, envase e higienização por meio de sistemas de limpeza *clean in place* (CIP), a partir da percepção de especialistas do setor, como etapas a fria e por isso mais sujeitas a falhas que impacto na segurança do alimento. Dessa forma, utilizou-se o desdobramento da função qualidade (QFD) como ferramenta central para o desdobramento dos requisitos dos especialistas em requisitos de qualidade do processo de fabricação da cerveja, complementado pela aplicação do diagrama de Pareto para hierarquização dos requisitos de qualidade mais relevantes.

Os resultados demonstraram que a aplicação do QFD permitiu identificar e estruturar de forma sistemática os requisitos de qualidade com maior impacto na segurança da cerveja, evidenciando a relevância de controles técnicos associados ao acondicionamento do produto em barris, à rastreabilidade dos processos de limpeza, à realização de análises sensoriais, químicas e microbiológicas, à remoção de sujidades em áreas de difícil acesso e à calibração de termômetros. A priorização desses requisitos da qualidade reforça a necessidade de um controle rigoroso das etapas após a fermentação, especialmente em microcervejarias que não realizam processos de pasteurização ou filtração.

A aplicação dessa ferramenta colabora com o contexto das microcervejarias, caracterizada pela necessidade de alocação de recursos e insumos mais assertiva. Nessa pesquisa não foi desenvolvida a matriz de planejamento estratégico, dado que a análise do estudo se aplicou a priorização de etapas do processo base em relação ao seu impacto na segurança dos alimentos. Nesse sentido, é possível sua integração com metodologias complementares, como o FMEA, garantindo uma análise de confiabilidade mais eficaz e profunda, considerando todas as possíveis falhas associadas.

Por fim, conclui-se que a metodologia adotada neste estudo contribui para o fortalecimento da gestão da qualidade no setor cervejeiro, ao oferecer uma abordagem estruturada, técnica e aplicável a realidade das microcervejarias. Dessa forma, os resultados dessa pesquisa validam o uso do QFD para o monitoramento de processo e tomada de decisão para alocação de recursos, promovendo a melhoria contínua, segurança dos alimentos, redução de perdas e aumento da confiança do consumidor.

REFERÊNCIAS

- ABIA - .ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. Balanço nacional de 2024 sobre a indústria de alimentos. Disponível: <https://www.abia.org.br/downloads/Relatorio_2025_VF.pdf>. Acesso em 10 out. 2025
- AGENEPE – Associação Nacional de Estudos em Empreendedorismo e Gestão de Pequenas empresas. Relatório executivo: Empreendedorismo no Brasil. 2024. Disponível em: <https://api.pr.sebrae.com.br/storage/comunidade/anexos/28500/PUB_GEM%20-%20Relat%C3%B3rio%20Executivo%20Global%20Entrepreneurship%20Monitor%202024.pdf> Acesso em 12 out. 2025
- AKOA, Y. Quality Function: Integrating requirements into product design. Cambridge: Productivity Press, 1990, p.5-24.
- ARISSETO-BRAGOTTO, A.; FELTES, M.M.C.; BLOCK, J.M. Food quality and safety progress in the Brazilian food and Beverage industry: Chemical hazards. **Food quality and Safety**, v.1, n.2, p.117-129, 2017. DOI : <https://doi.org/10.1093/fqs/fyx009>
- BABA, F.V. ; ESFANDIARI, Z. Theoretical and practical aspects of risk communication in food safety : A review study. **Heliyon**, v.9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18141>
- BAMFORTH, C.W. **Brewing Materials and Processes: a Practical Approach to Beer Excellence**. 1 ed. California: Academic Press Elsevier, 2016.
- BELYAEVA, Z. ; RUDAWSKA, E.D. ; LOPATKOVA, Y. Sustainable business model in food and beverage industry – a case of Western and Central and Eastern European Countries. **British Food Journal**, v.122, n.5, 2020. DOI : <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2019-0660>
- BIANCHI, E.M.P.G. ; JUNIOR-FERRAZ, S. e-Qualifácil : Preparing Small Businesses for a Quality Management System. **Brazilian Administration Review**, v.17, n.1, 2020. DOI : <http://dx.doi.org/10.1590/1807-7692bar2020180154>
- BRITO, I.C.P. **Ferramentas para certificação e controle de qualidade na cadeia produtiva de alimentos**. Indaial: Arquê, 2025, p. 15.
- BOKULICH, N.; BERGSVEINSON, J.; ZIOLA, B.; MILLS, D.A. Mapping microbial ecosystems and spoilage-gene flow in breweries highlights patterns of contamination and resistance. **Ecology, microbiology and infectious disease**, 2015. <https://doi.org/10.7554/eLife.04634>

BOGACKA-KORDIALIK, E. Biopreservation of beer: Potencial and constraints. **Biotechnology Advances**, v.58, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107910>

BURGESS, P.R. ; SUNMOLA, F.T. WERTHEIM-HECK, S. A review of supply chain quality management practices in sustainable food networks. **Heliyon**, v.9, n.11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21179>

CARRERA, S.C. **Validação do processo CIP como ferramenta para melhorar a qualidade e a produtividade:** Estudo de caso em microcervejaria. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CHANG, J.P.; REN, H.X.; MARTÍNEZ, L.; PEDRYCZ, W.; CHEN, Z. Requirement-driven supplier selection: a multi-criteria QFD-based approach under epistemic and stochastic uncertainties. **Annals of Operations Research**, v.342, p.1070-1128, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108903>

CHEN, L.C. ; FILHO, L.D.R.M. **QFD** : Desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos. 1 ed. São Paulo : Blucher, 2010.

CIONT, C. ; EPURAN, A. ; KEREZSI, A.D. ; COLDEA, T.E. ; MUDURA, E. ; PASQUALONE, A. ; ZHAO, H. ; SUHAROSCHI, R. ; VRIESKOOP, F. ; POP, E.L. Beer safety : New Challenges and Future Trends within Craft and Large-Scale Production. **Foods**, v.11, n.17, 2022. DOI : <https://doi.org/10.3390/foods11172693>

CONNOLLY, B.; DAVIES, S.; SYKES, T.; PHILLIPS, M.; HANCOCK, J.; WATSON, N.; BOWLER, A. Hygienic design and cleaning-in-place (CIP) systems in breweries. Managing microbes, ensuring quality and valorising waster. In: CONNOLLY, B.; DAVIES, S.; SYKES, T.; PHILLIPS, M.; HANCOCK, J.; WATSON, N.; BOWLER, A. **Brewing Microbiology**. 2 ed. London: Woodhead Publishing, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99606-8.00015-8>

ÇOBO, M.; CHARLES-VEGDAHL, A.C.; KIRKPATRICK, K.; WOROBO, R. Survival of foodborne pathogens in low and nonalcoholic Craft Beer. *Journal of Food Protection*, v.86, n.12, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100183>

DRAGULANESCU, I.V.; SANDU, M.C. Application of QFD methodology to Red wine sector. **New Trends in Sustainable bussiness and consumption**, p.603-609, 2021.

DEVOLLI, A.; KODRA, M.; SHAKINASI, E.; FETA, D.; FREDERIK, D. Hygienic control in beer bottling and dispensing system. **Journal of hygienic engineering and design**, v.15, p.5-11, 2020.

EBLINGER, M. **Handbook of Brewing:** Process, Tecnology, Markets. 1 ed. Freiberga: Wiley – VCH, 2006.

FAO – Organização das Nações unidas para Alimentação e Agricultura. The urban future: What lies ahead for food security?. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/insights/news-insights/news-detail/the-urban-future--what-lies-ahead-for-food-security/en>. Acesso em 14 set. 2025

FARBER, M.; BARTH, R. Brewing quality overview. *In:* FARBER, M.; BARTH, R. **Mastering Brewing Science Quality and Production**. 1 ed. Hoboken: Wiley, 2019. p.5-34.

FIRME, B.A.P. **Rendimento da fermentação alcoólica considerando diferentes proporções de consórcio bacteriano contaminante**. 2024. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

FOUS, K.; JAROLÍMOVÁ, A.; KUBIZNIAKOVÁ, P.; MAJTÁN, K. Alert for microbreweries: a case study on unpasteurized and unfiltered beer. **Kvasný Prumysl**, v.70, p.888-894, 2024. <https://doi.org/10.18832/kp2024.70.888>

FRUNZA, G.; POP, I.M. Product design in food industry: Application of QFD methodology for improvement of chocolate quality. **Lucrari Stiintifice**, v.64, n.1, 2021.

FRUNZA, G.; RADU-RUSU, C.G.; ALBU, A.; POP, I.M. Improving the quality of products in food industry: application of quality function development methodology for Chicken liver paté. **Scientific Papers series d. animal Science**, v.65, n.2, 2020.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T (Org). Métodos de Pesquisa. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

JASTROMBER, J.M.; FAGUERAZZI, M.M.; PIEREZAN, H.C.; RUFATO, L.; SATO, A.J.; RICCCE, W.S.; MARQUES, V.V.; LELES, N.R.; ROBERTO, S.R. Hop: An emerging crop in subtropical áreas in Brazil. **Horticulturae**, v.8, n.5, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050393>

KHOMAH, I. ; KUSNANDAR, I. ; HARISUDIN, M. ; RIPTANTI, E.W. ; SETYOWATI, N. ; QONITA, R.R.A. ; DEWATI, R. Enhancing the quality of functional beverages : a Quality Function Deployment (QFD) Approach. IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science, v.1490, 2025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1490/1/012006>

KROMANN, L.; SORENSEN, A. Influence of educational composition on firm innovation and performance. **Economics of innovation and new technology**, v.34, n.6, p.970-996, 2025. <https://doi.org/10.1080/10438599.2024.2392133>

LI, W.; LI, Z.; LIU, S.; ZHAO, J. Towards a competitive Advantage by optimize supply chain Management (SCM) processes. **Journal of Theory and Practive of Management Science**, v. 4, n.6, 2024.

LI, Y.; MAN, S.; YE, S.; LIU, G.; MA, L. CRISPR-Cas-based detection for food safety problemes: Current status, challenges, and opportunities. **Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety**, v.21, n.4, p.3770-3798, 2022. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13000>

LIMA, J.Y. O. ; CAMPOS, B.P.A. ; RIBEIRO, L.F. Programa de autocotrole para controle integrado pragas em indústrias de produtos de origem animal. **Gestão, Tecnologia e Ciências**, v.10, n.9, 2021.

LOBO, R.N. Conceito de qualidade. *In*: Lobo, R.N. **Gestão da qualidade**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020, p.19-23.

MELLO, J.A.V.B. ; SILVA, J.L.N. Requisitos de produto para um projeto de cerveja artesanal. **Revista Inovar**, v.30, n.77, p.39-52, 2020. DOI : <https://doi.org/10.15446/innovar.v30n77.87428>

MIGUEL, P.A. Evidence of QFD best practices for product development : A multiple case study. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v.22, n.1, p.72-82, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Surtos de doenças de transmissão hídrica e alimentar Informe – 2024. 2024. Disponível : < <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dtha/situacao-epidemiologica/surtos-de-doencas-de-transmissao-hidrica-e-alimentar-no-brasil-informe-2024.pdf> >. Acesso em 12 nov. 2025

MUSTIKASARI, A.; KRISNAWATI, M.; SUTRISNO, E. The application of quality function deployment (QFD) in packaging design (Study case: Noodles restaurant). **The 3RD International conference on engineering, technology and innovative researches**, 2023.

NETO, L.S.C.; BOSSI, M.M.A.; LUIZ, L.B.V.; RAMOS, G.M.P. Aplicação do plano de análise de perigos e pontos críticos de controle em uma cervejaria artesanal. **Brazilian Joournal of Production engineering**, v.3, n.3, p.46-66, 2017.

NOVITASARI, R.; ERNAWATI, D.; DEWI, S. Designing supply Chain Resilience with a quality Function Deployment (QFD) approach. **Indonesian Journal of Computer Science**, v. 13, n.3, 2024. <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i3.3959>

NORBIATO, L.H. ; CORRÊA, M. ; FRACAROLLI, R.L. Automação e robótica na produção : Impactos na eficiência e qualidade dos processos industriais. **Prospectus**, v.7, n.1, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16794399>

OLIVEIRA, M.D.; FALCONI, D. The Evolution of Craft Beer Industry in Brazil. **Journal of Economics and Business**, v.1, n.4, 2018, p.618-626.

OLIVEIRA-NETO, J.R.; OLIVEIRA, T.S.; GHEDINI, P.C.; VAZ, B.G.; GIL, E.S. Antioxidant and vasodilatory activity of comercial beers. **Journal of functional foods**, v.34, p.130-138, 2017.

OLIVEIRA, O.J. Histórico da qualidade. In: Oliveira, O.J. **Gestão da qualidade, higiene e segurança na empresa**. 1 ed. São Paulo: Cengage, 2016.

PAIVA, C.L.; PINTO, A.L.D. **Employment of the quality function deployment (QFD) method in the development of food products**. In: VALDEZ, B.; SCHORR, M.; ZLATEV, R. Scientific, health and social aspects of the food industry. 1 ed. CROATIA: Intech, 2011, p.440-458.

PARAST, M.M.; SAFARI, A. Enhancing the quality and competitiveness of small businesses: A pooled cross-sectional analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 246, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108410>

PARK, S. ; LEHTO, X. ; LEHTO, M. Self-service technology kiosk design for restaurants : An QFD application. **Hospitality Management**, v.92, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102757>

PEVELER, W.J. Food for thought: Optical Sensor Arrays and Machine Learning for the Food and Beverage Industry. **American Chemical Society**, v.9, p.1656-1665, 2024. <https://doi.org/10.1021/acssensors.4c00252>

PIANA, M.C. **A construção do perfil do assistente social no cenário educacional** [online]. 1 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

PINA, R.L.; CRUZ, D.C.P. MARTELLI, M.C. Avaliação da influência de aromas gerados por leveduras não convencionais utilizadas na produção de cerveja: uma revisão. **Research, Society and development**, v.11, n.17, p.1-26, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i17.388682>

POPOVA, D.; MITEVA, N. THE role of standardization in the food industry. **International Journal of Economics, Management and Tourism**, v.4, n.2, p.105-108, 2024. DOI: <https://doi.org/10.46763/ijemt2551133p>

PURWANTO, A. Design of food product using quality function deployment in Food Industry. **Journal of industrial engineering & management research**, v.1, n.1, p.1-16, 2020. <https://doi.org/10.7777/jiemar.v1i1.20>

ROCHA, M.K.S.F.F.; SOUZA, L.A.; REIS, A.C.S.; CABRAL, A.L.V.; BUENO, B.B.N.; NETO-SOUSA, E.A.; SILVA, G.S.A.; COSTA, N.J.; SOUSA, R.L. Doenças transmitidas por alimentos: Um estudo de revisão das estratégias de intervenção em surtos e a importância da saúde pública. **Ciência da saúde**, v.29, 2025. <https://doi.org/10.69849/revistaft/fa10202504270015>

RODRÍGUEZ-SAAVEDRA, M.; Llano, D.G.; MORENO-ARRIBAS, V.M. Beer spoilage lactic acid bacteria from Craft Brewery microbiota: Microbiological quality and food safety. **Food Research International**, v.138, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109762>

RUELLA, P.A.; FONSECA, M.F.A.C.; SILVA, T.T.C.; DIAS, A. Capacitação em boas práticas de fabricação e a rastreabilidade dos alimentos para processadores orgânicos. **Agroecologia**, v.19, n.1, 2024.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C.F.; LUCIO, M.P.B. Definição do alcance da pesquisa a ser realizada: exploratória, descritiva, correlacional ou explicativa. In: SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C.F.; LUCIO, M.P.B. **Metodologia de pesquisa**. 5 ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SIKAVUBA, K.M. **Assessing microbial quality of beer heat treated by flash and tunnel pasteurization**. 2022. 58 f. Dissertação (Mestrado em Applied food microbiology) – The University of Zambia, 2022.

SILVA, C.S.; MATOS, A. Quality Management Systems: correlation study between leadership and maturity. **Gestão e Produção**, n.29, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e7921>

SIVASANKARAN, P. Quality concepts in Industrial systems using QFD (Quality function deployment): Survey. **SSRG international Journal of industrial engineering**, v.8, p.7-13, 2021. <https://doi.org/10.14445/23499362/IJIE-V8I1P102>

TAN, W.K.; HUSIN, Z.; YASRYDDIN, M.L.; ISMAIL, M.A.H. Recent technology for food and Beverage quality assessment: a review. **Journal of food Science and Technology**, v.60, n.6, p.1681-1694, 2023. DOI : <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05439-8>

TOLEDO, J.C.; BORRÁS, M.Á.; MERGULHÃO, R.C.; MENDES, G.H.S. **Qualidade – Gestão e métodos**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

YIN, R.K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

WANG, T.Y. ; HSIAO, H. ; SUNG, W.C. Quality function deployment modified for the food industry : An example of a granola bar. **Food science & nutrition**, v.7, n.5, p.1746-1753, 2019. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1014>

WICAKSONO, T. ; HOSSAIN, M.B. ; ILLÉS, C.B. Prioritizing business quality improvement of fresh Agri-Food SMEs through open innovation to survive the Pandemic : A QFD- Based Model. **Journal of open innovation, technology, market and complexity**, v.72, n.2, p.156, 2021. <https://doi.org/10.3390/joitmc7020156>

WOLF, C. **Estudo de caso da higiene (limpeza e desinfecção) em matadouro-frigorífico de bovinos, suínos e ovinos**. 2017. 30 f. Dissertação (Especialização em produção, tecnologia e higiene de alimentos de origem animal) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2017.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA APLICADO A MICROERVEJARIA**ROTEIRO DE ENTREVISTA**

1. Quanto tempo sua empresa está em operação e qual volume médio de produção mensal?
2. Quais critérios sua cervejaria utiliza para a seleção de fornecedores de matérias-primas (malte, lúpulo, levedura, água)?
3. Como os lúpulos e adjuntos são armazenados para evitar contaminações químicas, físicas ou biológicas?
4. Qual origem da água utilizada no processo (Ex: rede pública, poço artesiano, outra)? Existe algum tipo de tratamento ou monitoramento da água quanto à sua potabilidade e composição físico-química? Se sim, quais parâmetros são avaliados e com que frequência?
5. Como é feita a higienização e manutenção dos moinhos para evitar contaminação cruzada?
6. Há algum controle quanto à presença de corpos estranhos (ex: fragmentos metálicos, insetos) nesta etapa?
7. Quais controles de temperatura e tempo são aplicados na mosturação? Qual maior risco você considera nessa etapa?
8. Qual ponto você considera mais importante na etapa da filtração e clarificação?
9. Qual ponto você considera mais importante na etapa da fervura?
10. Qual é a importância, na sua percepção, do controle de off-flavors (sabores indesejáveis como DMS, diacetil, entre outros) nesta etapa do processo? Quais práticas você adota para preveni-los ou minimizá-los?
11. Quais cuidados são tomados para evitar contaminação do mosto após o resfriamento?
12. Qual ponto você considera mais importante nessa etapa?
13. Quantos ciclos você reutiliza a levedura?
14. Há um protocolo para controle de contaminação por leveduras selvagens ou bactérias lácticas?
15. Qual ponto você considera mais importante na etapa de fermentação?
16. Como é feita a higienização e controle dos recipientes (garrafas, latas, barris) antes do enchimento?
17. Como você realiza a maturação da cerveja?
18. Comente como você conduz a limpeza CIP e quais pontos de maior importância
19. Você tem acesso à laboratório químico ou microbiológico? Se não, comente como lida com esse desafio.
20. Considerando o processo produtivo da cerveja, como você classificaria, em ordem de prioridade, as etapas com maior risco microbiológico e impacto na segurança do alimento? (Ex: moagem, mosturação, filtração/clarificação, fermentação, maturação, envase e limpeza da linha.) Justifique, se possível.
21. Existe algo que você considera de extrema importância, mas não foi mencionado no questionário, se sim, cite e explique.

APÊNDICE B – PROTOCOLO DE ENTREVISTA

Informações Gerais		Cervejaria:		Capacidade produtiva:		Quantidade de funcionários:						
		Ponte:		Tempo de operação:		Formação do cervejeiro:						
Etapas	Recebimento	Moagem	Brassagem/moistura	1ª Filtração/Clarificação	Fervura	Resfriamento	Fermentação	Maturação	2ª Filtração	Envase	Armazenagem	CIP (Higienização)
Tipo de Operação												
	Análise água											
	Análise Málte											
	Análise levedura											
	Embalagens											
Pontos de Controle												
Observações gerais												

Maiores impactos na segurança

1

2

3

Alguma observação extra:

5 INTEGRAÇÃO DAS FERRAMENTAS QFD E FMEA APLICADA AO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CERVEJA EM MICROCERVEJARIAS

RESUMO

A indústria cervejeira global, incluindo o Brasil, vem passando por um processo de expansão e consolidação, caracterizado pelo aumento do número de estabelecimentos e profissionalização no setor. Essas pequenas empresas, conhecidas como microcervejarias, têm emergido apesar das limitações orçamentária e da inserção em um mercado altamente competitivo. Por conta disso, torna-se fundamental que essas unidades busquem por inovações capazes de mitigar falhas nos processos produtivos e garantir a segurança do alimento, garantindo, assim, sua confiabilidade de marca perante o consumidor. Diante desse cenário, essa pesquisa teve como objetivo realizar a integração do QFD e FMEA do processo produto para microcervejarias considerando os requisitos de qualidade de produção da cerveja a fim de promover a melhoria na segurança do produto. Em relação aos procedimentos metodológicos, realizou-se a integração das ferramentas QFD e FMEA, sendo empregado como entradas do FMEA os requisitos de qualidade priorizados pelo QFD em Leite (2026). Foram ranqueados 34 requisitos de qualidade do processo, dos quais foram selecionados 17 destes, a partir do diagrama de Pareto. Em seguida, esses requisitos de qualidade selecionados foram submetidos a ferramenta FMEA, resultando na ordenação das falhas com base na ocorrência (O), severidade (S) e probabilidade de ser detectada (D). A partir disso, cada falha foi associada a uma ação recomendada, permitindo a tratativas que garantem a segurança do alimento pela redução das contaminações químicas, físicas e microbiológicas. Por fim, esse trabalho contribuiu para geração de proposições que podem ser adotadas por microcervejarias para qualidade do produto.

Palavras-chave: Cervejarias. Efeito de modo falha. Qualidade do produto. Confiabilidade operacional. Pontos críticos de processo.

5.1 INTRODUÇÃO

A indústria cervejeira global está passando por um período de expansão, fenômeno este que também vem sendo observado no cenário brasileiro (Brasil, 2025; Cabras *et al.*, 2023). Segundo o Anuário da Cerveja 2025, publicado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, entre 2023 e 2024 o número de estabelecimentos registrados apresentou um crescimento de 5,5%, representando o 9º maior incremento da série histórica (Brasil, 2025). Paralelamente a este crescimento, percebe-se a consolidação de diversas cervejarias, o que representa não apenas a ampliação da capacidade produtiva, mas também a profissionalização do setor e a adaptação às novas exigências do mercado consumidor (Silva *et al.*, 2022; Reitenbach *et al.*, 2026).

Apesar da elevada competitividade e do domínio de mercado exercido pelas grandes corporações, pequenas empresas têm emergido como participantes relevantes no mercado,

destacando-se por meio de colaborações internacionais e do posicionamento global de marca, sendo conhecidas como cervejarias artesanais (Duarte *et al.*, 2024; Cunha *et al.*, 2023; Stocker *et al.*, 2021). Todavia, embora estejam submetidas aos mesmos requisitos adotados pelas grandes empresas para controle do processo, as microcervejarias frequentemente apresentam limitações orçamentárias, implicando na necessidade de se adotar um método mais sistemático para aumentar a eficiência e segurança (Giovenzana; Beghi; Guidetti, 2014; Salazar *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

Na indústria cervejeira, o lançamento de novos produtos e a melhoria contínua dos produtos já existentes são fundamentais para garantir a competitividade das empresas (Villas Boas Mello; Nogueira Da Silva, 2020). Neste sentido, o QFD (*Quality Function Deployment*), também conhecido como Desdobramento da Função Qualidade, surge como um método estruturado para o planejamento e desenvolvimento de novos produtos, possibilitando capacitar à equipe quanto às necessidades dos clientes e, posteriormente, traduzir isso nas especificações (Carnevalli; Miguel, 2007; Chan; Wu, 2002; Wolniak, 2018). Nos últimos anos, diversos estudos enfatizam os benefícios da implementação do QFD, incluindo a melhoria na qualidade do produto, aumento na satisfação do cliente e aprimoramento da comunicação entre diferentes setores da empresa (Ishak; Ginting; Malik, 2020; Wolniak, 2018; Wu; Liao, 2021).

Todavia, apesar da sua contribuição no que diz respeito à priorização dos atributos de qualidade, o QFD não aprofunda a análise sobre os riscos associados à execução do processo produtivo. Diante disso, o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), também conhecido como Análise de Modos de Falha e seus Efeitos, oferece uma abordagem sistemática para identificar possíveis falhas nos processos, produtos ou sistemas (Chin *et al.*, 2009; El-Awady, 2023; Sulaman *et al.*, 2019). Para isto, a análise considera três dimensões da falha: i) *Failure Mode*, isto é, todos os motivos que podem fazer com que um produto ou serviço falhe em atender o seu objetivo proposto; ii) *Failure Cause*, abrangendo todas as fraquezas do projeto e razões que podem levar à falha; iii) *Failure Effect*, isto é, as consequências da falha para o cliente ou sistema (Chin *et al.*, 2009; El-Awady, 2023).

Na literatura, diversos estudos sugerem que o QFD e FMEA podem ser utilizados de maneira associada e complementar, facilitando à tomada de decisão (Frank *et al.*, 2013; Shaker; Shahin; Jahanyan, 2019; Tanik, 2010). Esta abordagem analítica pode ser útil para a indústria da cerveja artesanal, cuja produção envolve diversas etapas críticas, o que associado à grande variabilidade na matéria prima, pode comprometer a padronização dos produtos (Embiruçu *et al.*, 2024; Villacreces; Blanco; Caballero, 2022). Além disso, não é incomum que algumas cervejas artesanais apresentem formulações contendo produtos naturais, livres de

conservantes, estabilizantes ou aditivos químicos (Castilho; Maymone; Queiroz De Oliveira, 2016). De fato, cervejas artesanais apresentam maior propensão à deterioração devido à contaminação microbiológica, o que pode ser explicado pela menor propensão à processos de pasteurização ou esterilização, como observado no procedimento industrial em larga escala (Menz *et al.*, 2010). Cabe mencionar, ainda, que as microcervejarias frequentemente buscam a diferenciação através de produtos inovadores ou de caráter sazonal (Camiloti *et al.*, 2025; Pasquinelli; Saviano, 2026), altamente suscetíveis a falhas ou à recepção negativa do mercado. Diante do exposto, foi estabelecido como objetivo realizar a integração do QFD e FMEA do processo produto para microcervejarias considerando os requisitos de qualidade de produção da cerveja fim de promover a melhoria na segurança do produto.

5.2 REVISÃO DE LITERATURA

5.2.1 Gestão de qualidade e a segurança dos alimentos

A gestão de qualidade aplicada à segurança dos alimentos, por meio de um conjunto de práticas, normas e procedimentos, busca prevenir riscos que possam impactar na saúde pública. Essa gestão conduz a empresa a níveis elevados de satisfação do cliente, competitividade, redução de custos indesejáveis no tratamento de reclamações, refugos, reparos e retrabalhos. Assim, também promove maior confiabilidade dos produtos e fortalece a imagem da empresa (Oliveira; Tsan Hu, 2018).

Durante o processo de fabricação podem ocorrer falhas, ampliando a chance de exposição da população aos riscos de contaminação por doenças de transmissão hídrica e alimentar (DTHAs). As DTHAs representam um problema de saúde pública, pois são decorrentes da ingestão de água ou alimentos contaminados por patógenos, como bactérias, parasitas ou por toxinas. Existe mais de 250 tipos descritos que causam sintomas como vômitos, dores abdominais, diarreia e náuseas, podendo provar quadros graves e até mesmo a morte (Machado *et al.*, 2025). Além dos contaminantes microbianos, segundo Ribeiro (2023) os alimentos também podem ser contaminados por sujidades e substâncias estranhas, como partes vegetais, pelos de animais, teias, insetos, excrementos e resíduos de animais. Sobre as contaminações não orgânicas, pode-se citar objetos rígidos pontiagudos ou cortantes, fragmentos de metal, lasca de madeira, plástico rígido, caroço, pedra, vidro.

Nos países desenvolvidos, as doenças oriundas de contaminação, constituem a maior causa de diarreia em crianças menores de 5 anos. Além disso, entre 25% a 30 % das

infecções diarreicas são consequências de alimentos ou água contaminada por patogênicos. O número crescente e a gravidade de doenças transmitidas por alimentos têm aumentado, dessa forma, também há um aumento do interesse público em relação à segurança dos alimentos (Forstythe, 2013).

No Brasil, o marco do controle sanitário dos alimentos, foi a RDC nº216/2004, aplicável a todos os tipos de serviços de alimentação, que exercem atividades nas etapas de: manipulação, preparação, fracionamento, armazenamento, distribuição, transporte, exposição à venda e entrega dos alimentos preparados ao consumo (Brasil, 2004b). Posteriormente, foi alterada para RDC 52/2014, ampliando também para unidades de alimentação e nutrição de serviços de saúde (Brasil, 2014). Em 2025, a ANVISA iniciou um processo de revisão da RDC 216/2004, com realização de oficinas e consultas públicas para validar alternativas regulatórias e aprimorar a norma, atualmente ainda em processo.

Diante disso, diversos são os métodos, técnicas e ferramentas de apoio a melhoria de processos, com objetivo de reduzir falhas e auxiliar na garantia das boas práticas de fabricação (BPF) e qualidade final do produto. Dentre essas, a ferramenta FMEA tem sido indicada para identificar, priorizar e eliminar falhas, problemas potenciais e erros em produtos ou processos. Essa ferramenta ainda pode ser associada ao QFD (desdobramento da função qualidade), cujo propósito é transformar as necessidades em requisitos qualidade, e pode ser empregado para direcionar as “entradas” de requisitos no FMEA (Frank *et al.*, 2008; Matos, Cecconello, 2019).

Nesse sentido, observa-se que a aplicação isolada dessas ferramentas pode apresentar limitações quanto à abrangência da análise da qualidade e dos riscos associados aos processos. Assim, abordagens integradas entre o QFD e o FMEA têm sido amplamente discutidas na literatura, uma vez que permitem alinhar as necessidades e expectativas dos clientes/especialistas com a identificação sistemática de falhas potenciais, suas causas e efeitos. A integração dessas ferramentas contribui para uma tomada de decisão mais robusta, favorecendo a priorização de ações preventivas e a melhoria contínua dos processos.

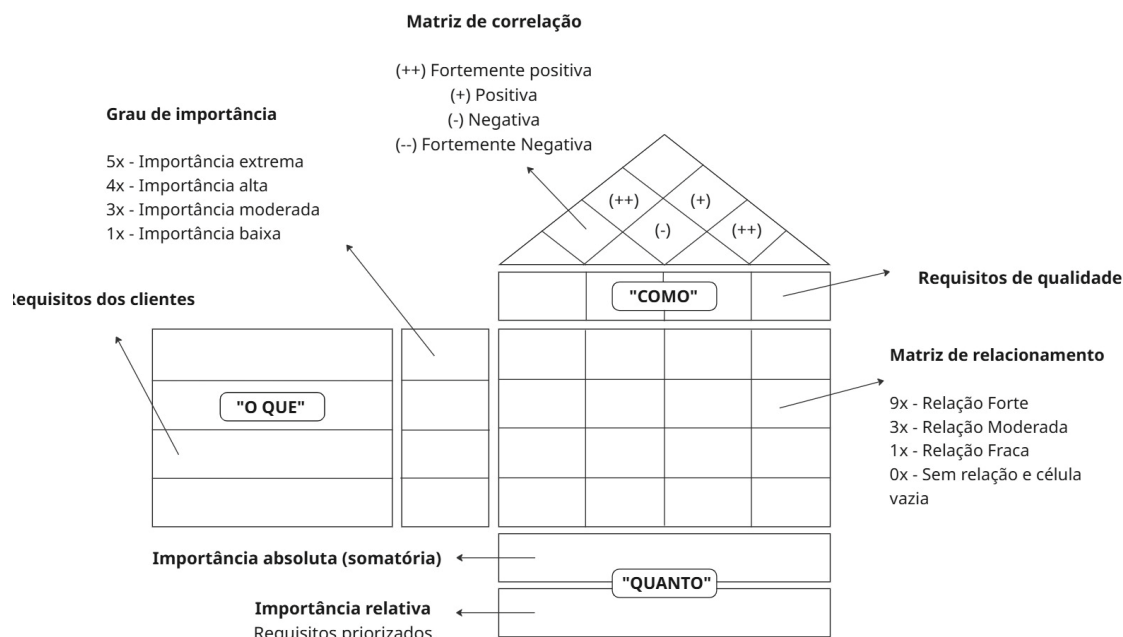
5.2.2. Abordagens integradas das ferramentas QFD e FMEA na indústria

O QFD (desdobramento da função qualidade) é uma ferramenta de gestão de qualidade construída a fim de assegurar que as verdadeiras necessidades do cliente sejam consideradas durante a elaboração de projetos, permitindo uma alocação de recursos mais

direcionada, por meio da tradução de expectativas em requisitos técnicos de processo ou produto (Matos; Cecconello, 2019). Segundo Lobo (2020), algumas etapas importantes na execução do QFD:

- Coleta de informações (“voz do cliente”): Consiste na identificação e compreensão das expectativas e as necessidades dos clientes por meio de entrevistas exploratórias e abertas, realizadas com um grupo de indivíduos selecionados pela relevância das informações que podem fornecer;
- Transformação das vozes em requisitos do cliente: Os desejos dos clientes são transformados em requisitos qualidade, algo factível;
- Análise e estruturação dos requisitos: Identificar quais necessidades identificadas podem ser concebidas no processo ou produto. Sendo selecionados aqueles que possuem maior prioridades e correlações entre si;
- Casa da qualidade: É operacionalizado pelo estabelecimento de especificações técnicas que vão ao encontro das exigências do cliente por meio da construção da casa da qualidade.

Logo, esse método se baseia em condições e requisitos declarados pelo cliente e estes serão transformados em características técnicas do projeto ou processo (requisitos da qualidade). A construção do método relaciona necessidades do cliente ou qualidade demandada, com requisitos de qualidade, atribuindo símbolos e pesos para as relações. O diagrama do QFD é construído com um formato de casa, tendo base, paredes e telhado, conforme Figura 18. Desse modo, as necessidades e expectativas do cliente (requisitos do cliente) são escritas no lado esquerdo da casa, os requisitos técnicos (requisitos da qualidade) na parte superior da casa, a matriz de relacionamento no corpo da casa e o telhado como os requisitos da qualidade se relacionam entre si. Como vantagem esse método possui: redução do tempo de desenvolvimento, redução de alterações de projeto, diminuição nos custos, aumento do nível de satisfação. Contudo, há um foco limitado na identificação de falhas, uma vez que não avalia de forma sistemática os riscos de suas falhas, suas causas e consequências (Matos; Cecconello, 2019).

Figura 18 - Matriz simplificada do QFD

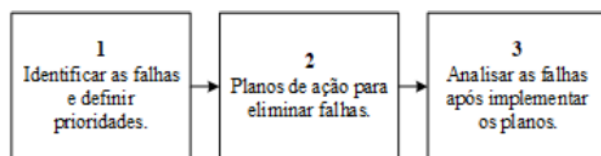
Fonte: Adaptada de Miguel (2001) e Matos e Cecconello (2019).

O FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma ferramenta da engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais em produtos ou processos, sem que estas cheguem até o cliente. É uma metodologia que inicialmente foi utilizada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) em 1963, sendo expandida para indústria automobilística, passando por adaptações para quantificar e ordenar possíveis defeitos potenciais de projeto de produtos. Atualmente, é empregada em diversos segmentos industriais para abordar sistematicamente a avaliação e identificação de diferentes falhas potenciais associadas ao processo ou produto (Sotoodeh, 2020; Leal *et al.*, 2006).

O FMEA é executado em dois estágios, sendo o primeiro a identificação e listagem dos modos de falha para reconhecer o que pode gerar desvios, os efeitos de cada falha e suas consequências e identificar o motivo da falha ocorrer (Sotoodeh, 2020; Leal *et al.*, 2006). O segundo estágio ocorre pela determinação do nível crítico (chamado de NPR ou número de prioridade de risco ou pontuação de risco) destas falhas, permitindo a ordenação das falhas com base na ocorrência (O), severidade e probabilidade de ser detectada (D). A ocorrência define a frequência ou regularidade da falha, enquanto a severidade corresponde à gravidade do efeito da falha. A detecção refere-se à capacidade do processo de identificar uma falha antes que ela alcance o cliente, considerando a existência e eficácia das barreiras de controle implementadas

para prevenir ou interceptar essas falhas (Leal *et al.*, 2006; Rebelato *et al.*, 2008). Normalmente, esse método é aplicado conforme as etapas descritas na Figura 19.

Figura 19 - Etapas do FMEA



Fonte: Matos e Cecconello (2019)

As abordagens integradas das ferramentas QFD e FMEA na indústria de alimentos dispõe de grandes vantagens e compensam as limitações que possuem quando usadas separadamente (Frank *et al.*, 2013). Nesse contexto, o QFD possui foco na satisfação e desempenho do produto e processo em relação ao cliente, que pode definido como o público-alvo ou especialista em determinado produto ou processo. Enquanto, o FMEA, enfoca na análise de riscos potenciais de falha de cada função do produto ou processo, de modo que objetiva a manutenção de atributos básicos do produto ou processo para atingir o nível esperado de qualidade (Rebelato *et al.*, 2008). Na integração apresentada por Cheng e Melo Filho (2010), o QFD e o FMEA são usados de maneira sequencial, de modo que o QFD ampara o FMEA na seleção dos componentes a serem avaliados. Nesse sentido, a integração das ferramentas pode ocorrer com a finalidade de traduzir as necessidades em requisitos técnicos, servindo como base para a definição das entradas de requisitos do FMEA. Logo existe uma diferença de objetivos e natureza entre as ferramentas, mas que na integração geram complementaridade, pois enquanto o QFD define o que é crítico do ponto de vista de clientes ou especialistas, o FMEA analisa os riscos associados ao não cumprimento desses pontos críticos (Matos, Cecconello, 2019).

Na indústria de alimentos, é mais comum a adoção dos métodos de maneira individual, especialmente na indústria de bebidas. Na indústria automobilística, a integração foi utilizada para desenvolvimento de produtos e implementação de normas regulamentadoras, conforme estudo conduzido por Matos e Cecconello (2019). Na manufatura industrial, Almannai e Greenough (2008) adotaram a integração para tomada de decisão sobre automação, utilizando o QFD para relacionar os objetivos de investimentos em automação da gestão com a avaliação da tecnologia, da organização e das pessoas, permitindo determinar a melhor alternativa; e o FMEA para identificar possíveis problemas associados a essa alternativa.

Segundo Cheng e Melo Filho (2010), a integração pode ser aplicada na preparação para produção e produção inicial, empregando o QFD para criação de modelos conceituais, padrões técnicos dos processos, padrões de inspeção, procedimentos de operacionais, revisão de processo e o FMEA no planejamento, análise e estudo de capacidade de processo.

5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em relação aos procedimentos metodológicos, esta pesquisa utilizou uma abordagem qualitativa, no qual busca-se compreender razões que explicam a ocorrência de um fenômeno, sem representação numérica. Para estruturar a análise, a pesquisa se apoiou em resultados e estudos anteriores conduzidos por Leite (2026). Nos estudos conduzidos por Leite (2026), foram definidos requisitos de qualidade que norteiam a segurança dos alimentos em microcervejarias. A autora trouxe 34 requisitos de qualidade, considerados essenciais para manutenção da segurança do alimento em microcervejarias, sendo estes:

1. Inspeção do barril (vedação e integridade)
2. Registros de limpeza
3. Análises sensoriais, químicas e microbiológicas
4. Esforço físico e remoção de partes de difícil acesso
5. Calibração dos termômetros dos tanques
6. Limpeza externa com periodicidade
7. Sanitização das chopeiras
8. Concentração, sequência e compatibilidade química
9. Análises de *shelf life*
10. Nível de pressurização de CO₂ e retirada de O₂ do barril
11. Monitoramento e controle microbiológico do mosto
12. Especificação do produto (lote, data de fabricação, vida de prateleira e parâmetros de qualidade)
13. Tempo de repouso dos sanitizantes
14. Controle de temperatura do mosto
15. Remoção de biofilme
16. Qualidade da sanitização do barril
17. Remoção de sedimentos e *trub* frio pós-fermentação
18. Remoção completa dos sanitizantes

19. Sanitização de instrumentos de manipulação
20. Controle de contraprovas
21. Qualidade de levedura, *pitching* e reciclo
22. Procedimentos de armazenagem
23. Integridade do fermentador e válvulas
24. Higiene pessoal do operador
25. Estratégias para reduzir risco de sabotagem
26. Tempo em desuso da linha ou barril pós CIP
27. Controle da densidade
28. Monitoramento e controle microbiológico do mosto
29. Tempo de espera pré-inoculação
30. Validação de CIP
31. Controle de temperatura do mosto
32. Presença de filtros antes da entrada no envase
33. Passivação do inox (recuperação)
34. Material e higienização da mangueira de envase

5.3.1 Diagrama de Pareto

A seleção dos requisitos de qualidade foi realizada por meio do Diagrama de Pareto. Segundo Lobo (2020), o diagrama de Pareto é conhecido pela proporção 80/20, no qual 80% dos problemas são resultantes de 20% de causas potenciais. Dessa forma, esse diagrama expresso em um gráfico de barras, classifica os dados de um problema por ordem de importância, permitindo estabelecer prioridades de ações. Diante da quantidade de requisitos, foi realizado um recorte de 70% que segundo Grachev (2024) pode ser uma regra aproximada de Pareto, em que 70% ou 80% representam 20% ou 30% das causas.

5.3.2 Integração do QFD e FMEA

- **Seleção de requisitos de qualidade:** Os requisitos de qualidade obtidos pelo QFD foram selecionados por meio do diagrama de Pareto. Esses requisitos de qualidade foram obtidos por meio de consulta a painel de especialistas em acordo com a pesquisa realizada por Leite (2026). As saídas dos QFD se transformaram nas entradas do FMEA. Em vista disso, a

primeira etapa foi a seleção de requisitos de qualidade obtidos pelo QFD e alimentados no FMEA:

1. Inspeção da integridade e vedação do barril
2. Registro de limpeza
3. Análises sensoriais, químicas e microbiológicas
4. Esforço físico e remoção de partes de difícil acesso
5. Calibração dos termômetros dos tanques
6. Limpeza externa com plano de periodicidade
7. Sanitização adequada das chopeiras
8. Concentração, sequência e compatibilidade química
9. Análises de *Shelf life*
10. Nível de pressurização de CO₂ e retirada de O₂ do barril
11. Monitoramento e controle microbiológico do mosto
12. Especificação do produto (lote, data de fabricação, vida de prateleira e parâmetros de qualidade)
13. Tempo de repouso dos sanitizantes
14. Controle de temperatura do mosto
15. Remoção de biofilme
16. Qualidade da sanitização do barril
17. Remoção de sedimentos e *trub* frio pós fermentação

- **Identificação dos modos de falha:** Cada falha foi associada ao seu efeito sobre o processo. Os modos de falhas foram obtidos com base na pesquisa de campo e literatura. Assim, segunda etapa de construção do FMEA constituiu na identificação dos modos de falha potenciais, definidos como o não atendimento a um requisito (Rodrigues *et al.*, 2010). Para cada modo de falha devem ser associados as causas para sua ocorrência e possíveis efeitos ao cliente. Nesse sentido, foram considerados apenas os clientes internos, determinados como operações do fluxograma de processo, que devem estar em garantia para a segurança dos alimentos. Segundo Rodrigues *et al* (2010), os clientes internos podem ser vistos como os resultados primários com ocorrência ainda dentro da fábrica e impactam na etapa subsequente. Enquanto os clientes externos, representa a quem se destina o produto. Esse cliente não foi considerado nessa pesquisa, pois o enfoque foi a construção de um processo orientado a segurança dos alimentos, com barreiras que evitam as falhas de chegarem ao consumidor final.

• **Avaliação do Risco:** Os requisitos foram avaliados quanto à severidade, ocorrência e probabilidade de detecção das falhas, conforme descrito nos Quadros 26, 27 e 28. Essa etapa foi validada por um profissional com experiência em microcervejaria, com domínio em análises químicas e microbiológicas, e conhecimento prático do processo de fabricação. Na terceira etapa os requisitos da qualidade são verificados conforme sua severidade, ocorrência e probabilidade de detecção. Essa etapa foi validada junto a um profissional com atuação em uma microcervejaria que possuía laboratório químico e microbiológico de apoio, uma vez que muitos requisitos da qualidade estavam envolvidos a conceitos de microbiologia. O profissional que colaborou com a pesquisa foi um engenheiro de bioprocessos com atuação de 6 anos em microcervejarias, com domínio em análises químicas, microbiológicas e condução do processo de fabricação. O grau de severidade, ocorrência e probabilidade de detecção de falhas foi obtido conforme descrito no Quadro 26, 27 e 28.

Quadro 26 - Grau de severidade de falhas

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	A ocorrência não causa nenhum efeito no processo ou o cliente não é capaz de perceber.
2	Baixa	Ligeira deterioração no desempenho. Os efeitos podem ser pouco percebidos pelo cliente.
3		
4	Moderada	Deterioração significativa no desempenho do processo com descontentamento do cliente.
5		
6	Alta	O processo sofre grande impacto e há grande descontentamento do cliente. O produto pode perder sua capacidade de uso ou operação.
7		
8	Muito alta	O processo deixa de funcionar, há grande descontentamento do cliente e afeta a segurança.
9		
10		

Fonte: Miguel (2001); Lobo (2020).

Quadro 27 - Grau de ocorrência da falha

Índice	Ocorrência	Critério
1	Mínima	A falha é muito improvável ou tem probabilidade remota.
2	Baixa	A falha raramente ocorre ou probabilidade baixa.
3		
4	Moderada	A falha é ocasional ou probabilidade moderada.
5		
6	Alta	A falha ocorre com frequência ou probabilidade alta.
7		
8	Muito Alta	A falha é quase inevitável ou probabilidade muito alta.
9		
10		

Fonte: Flogiato; Ribeiro (2009); Miguel (2001); Lobo (2020).

Quadro 28 - Probabilidade de detecção do risco

Índice	Deteção	Critério
1	Muito Alta	É quase certo que os controles irão detectar esse modo de falha.
2		Há uma alta probabilidade de os controles detectarem o modo falha.
3		
4	Moderada	Os controles podem detectar o modo falha.
5		
6		
7	Baixa	Os controles provavelmente não irão detectar esse modo de falha
8		
9	Muito Baixa	Os controles provavelmente não irão detectar esse modo falha, ou não existem controles.
10		

Fonte: Flogiato; Ribeiro (2009); Miguel (2001); Lobo (2020).

A partir disso, o risco (número de prioridade de risco ou NPR) foi calculado pela multiplicação dos índices de severidade, ocorrência e detecção, conforme equação 1, descrita por Miguel (2001).

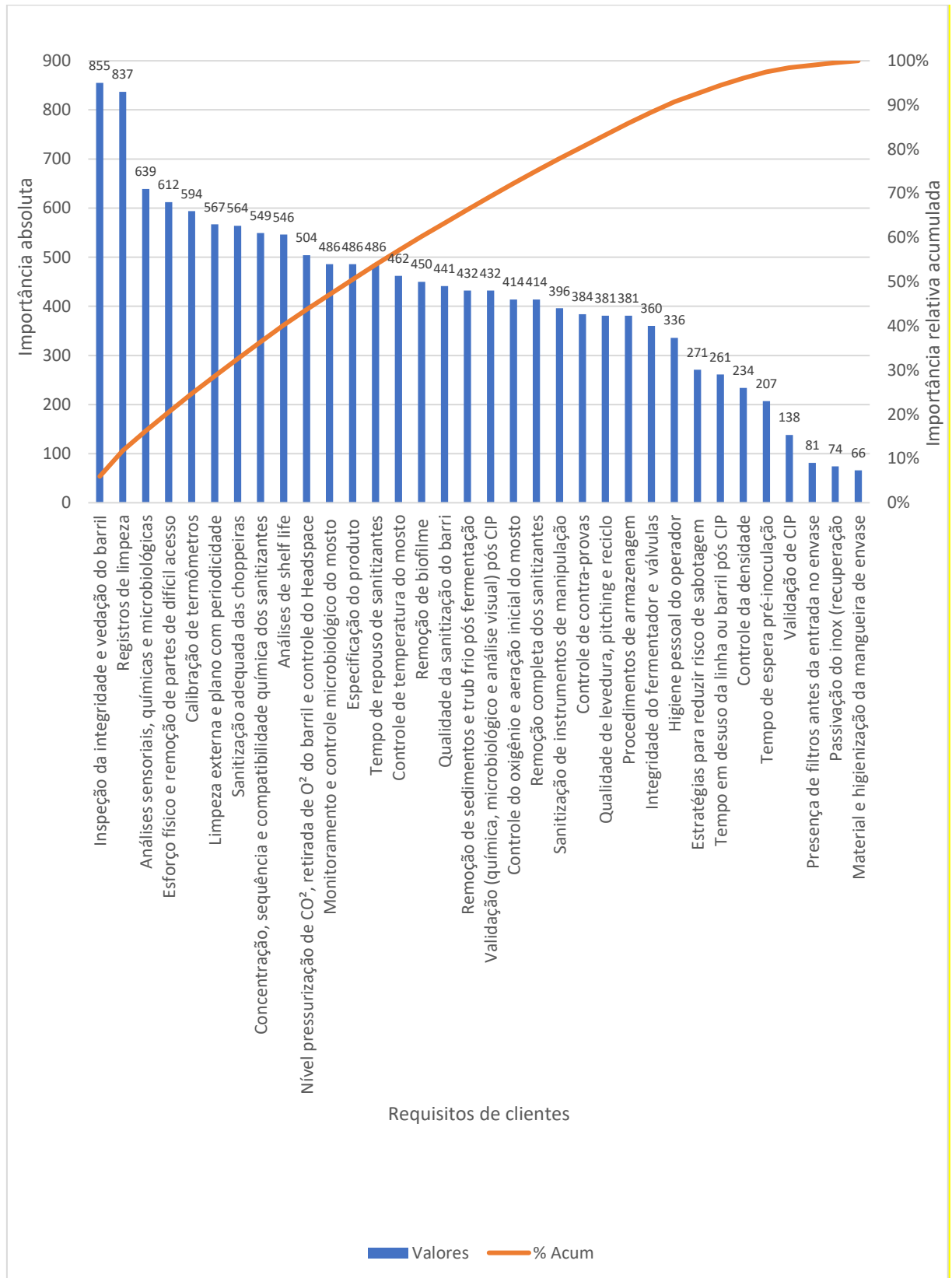
$$NPR = S \times O \times D \quad (\text{Equação 1})$$

- **Definição de ações preventivas:** As ações recomendadas para prevenção de falhas, foi obtida com base nas orientações presente na literatura, visando a mitigação de riscos críticos identificados durante o FMEA.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Diagrama de Pareto é utilizado para priorizar requisitos ou falhas porque segue o princípio de que uma pequena parte das causas geralmente é responsável pela maior parte dos efeitos (conhecido como regra 80/20). Ao aplicar essa análise, é possível concentrar recursos, controles e ações corretivas nos pontos que realmente têm maior impacto sobre a qualidade e a segurança do produto. Logo, segundo Pereira *et al* (2022) o diagrama de Pareto visa identificar e separar os poucos problemas substanciais dos vários triviais e assim chegar a uma solução para os problemas gerais. Nesse sentido, nessa pesquisa foram priorizados 69,34% de requisitos de qualidade (Figura 20), correspondendo a 17 principais requisitos, sendo eles, conforme observado na Figura 21.

Figura 20 - Diagrama de Pareto aplicado aos requisitos de qualidade

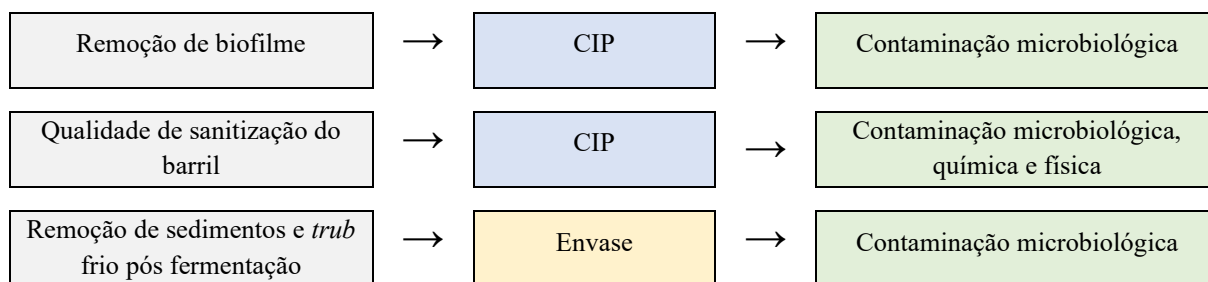


Fonte: Autora (2026).

Logo, constatou-se que o requisito relacionado ao acondicionamento do produto em barril foi considerado pelos especialistas como um dos mais importantes e mais frequentemente mencionados entre os entrevistados, indicando seu elevado impacto na segurança dos alimentos. Ademais, observa-se que os requisitos selecionados abrangeram as três etapas principais (Fermentação, envase e CIP), conforme observado na Figura 21.

Figura 21 - Requisitos de qualidade, indicação de etapa de processo e impacto

Requisito de qualidade		Etapa do processo		Impacto
Inspeção do barril (Vedação e integridade)	→	Envase	→	Contaminação microbiológica
Registros de limpeza	→	CIP	→	Contaminação microbiológica e física
Análises sensoriais, químicas e microbiológicas	→	Fermentação	→	Contaminação microbiológica, química e física
Esforço físico e remoção das partes de difícil acesso	→	CIP	→	Contaminação microbiológica, química e física
Calibração dos termômetros	→	CIP	→	Contaminação microbiológica
Limpeza externa com periodicidade	→	CIP	→	Contaminação microbiológica, química e física
Sanitização das chopeiras	→	Envase	→	Contaminação microbiológica, química e física
Concentração, sequência e compatibilidade química	→	CIP	→	Contaminação microbiológica e química
Análises de <i>shelf life</i>	→	Envase	→	Contaminação microbiológica e química
Nível de pressurização de CO ₂ e retirada de O ₂ de barril	→	Envase	→	Contaminação microbiológica
Monitoramento e controle microbiológico do mosto	→	Fermentação	→	Contaminação microbiológica
Especificação do produto (lote, data de fabricação, vida de prateleira e parâmetros de qualidade)	→	Envase	→	Contaminação microbiológica
Tempo de repouso dos sanitizantes	→	CIP	→	Contaminação microbiológica
Controle de temperatura do mosto	→	Fermentação	→	Contaminação microbiológica



Fonte: Elaborada pela autora (2026)

Esses requisitos da qualidade contribuem diretamente para a garantia da segurança dos alimentos, com impacto significativo na redução de contaminações microbiológica, química e física. Nesse sentido, a maioria dos requisitos priorizados estavam relacionados com o processo de higienização da linha e processo CIP, correspondendo a 8 dos 17 requisitos selecionados. Na etapa de envase houve a seleção de 6 requisitos e na fermentação houve 3 requisitos.

Em seguida, esses requisitos de qualidade obtidos pelas saídas do QFD são utilizados como entradas na construção do FMEA, gerando a integração dos métodos. Segundo Stamatis (2003), a integração dos métodos passa a ter seus modos de falha ligados diretamente aos requisitos de QFD, dando origem ao estudo atual. Dessa forma, esse estudo foi desenvolvido em quatro etapas, conforme detalhado no tópico de procedimentos metodológicos.

A aplicação da ferramenta FMEA possibilitou identificar, quantificar e priorizar os principais riscos associados aos processos de envase, CIP e fermentação, por meio do cálculo do número de prioridade de risco (NPR), considerando a severidade, a probabilidade de ocorrência e detecção. Além disso, a ferramenta sugere que se identifique as possíveis recomendações. Os valores de NPR variaram entre 56 a 800, permitindo a priorização daquelas com maior número de NPR, conforme verificado na Figura 22, 23, 24, 25 e 26. Desse modo, esse estudo se concentrou nas falhas prioritárias, sendo as quatro com maior NPR. Tem-se então as quatro principais falhas:

1. NPR 800 – Ausência de análises microbiológicas na fermentação
2. NPR 800 – Definição de vida de prateleira de forma empírica na etapa de envase
3. NPR 720 – Ausência de registros e ausência de verificação ou validação dos registros de limpeza no CIP
4. NPR 720 – Sanitização inadequada do barril na etapa de CIP

Figura 22 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação

Nome do processo	Requisitos	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Causa e mecanismo potencial	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Deteção (D)	NPR	Ações recomendadas
1	Vedação ou comprometimento da integridade do barril	Problemas estruturais do corpo (amassados, rachaduras ou deformações)	Vazamentos, entrada de oxigênio e contaminação microbiológica	Uso excessivo e desgaste natural	10	3	6	180	Colocar etiqueta no próprio barril com data de compra e verificação visual recorrente das condições físicas do barril
		Problemas na válvula e encaixe (válvula entupidas, quebradas ou mal posicionadas)	Vazamentos, entrada de oxigênio e contaminação microbiológica	Uso excessivo e desgaste natural	10	5	7	350	Colocar etiqueta no próprio barril com data de compra e verificação visual recorrente das condições físicas do barril
2	Registros de limpeza	Ausência de preenchimento ou preenchimento inadequado	Ausência de comprovação da execução da limpeza, perda de rastreabilidade, dificuldade de identificar a causa das contaminações microbiológicas, físicas ou químicas, perda da frequência de limpeza.	Falta de padronização de processo	10	8	9	720	Realizar o treinamento da equipe
		Ausência de verificação ou validação dos registros	Erros passam despercebidos e se repetem ao longo do tempo, documentos não auditáveis, perda da frequência de limpeza ou frequência excessiva.	Ausência de procedimento operacional padrão, Falta de garantia de qualidade	10	8	9	720	Realizar a construção de procedimentos operacionais padrão (POP), adoção da garantia de qualidade, revisão de documentos em pares e auditorias internas.
		Registros arquivados de forma inadequada ou perdidos	Impossibilidade de comprovação em auditorias e investigações	Ausência de procedimento operacional padrão	10	5	8	400	Realizar a construção de livros diários com todos documentos da produção, incluindo os documentos de CIP. Digitalização de documentos e/ou sala de arquivos.

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Figura 23 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação (continuação)

Nome do processo	Requisitos	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Causa e mecanismo potencial	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Deteção (D)	NPR	Ações recomendadas
3 Fermentação	Análises sensoriais, químicas e microbiológicas	Não identificação precoce de <i>off-flavors</i> (aromas ácidos, fenólicos e diacetil)	Sabor e aroma desagradável	Ausência de análises sensoriais	6	6	2	72	Realizar treinamento para o analista de qualidade sobre análises sensoriais e sobre principais testes empregados (Teste de comparação pareada, teste triangular, teste duo-trio, teste de classificação). Definir indicadores essenciais na análise. POP.
		Não identificação do teor alcoólico, pH e açúcares.	Parâmetros fora da especificação do produto	Ausência de análises químicas	10	3	3	90	Realizar análise de pH, °Brix, Densidade e Oxigênio dissolvido.
		Falta de padronização visual (turbidez)	Desvio visual do produto e conflitos com o cliente	Ausência de análises químicas, análise de cor e turbidez	5	10	10	500	Espectrofotometria para medição de turbidez
		Não identificação de contaminantes físicos	Verificação da presença de contaminantes físicos	Ausência de análise para presença de contaminantes físicos (pelo de roedores, insetos)	10	6	9	540	Suvidades leves e pesadas, microscopia.
		Oxidação rápida e redução do tempo de prateleira	Em alta quantidade pode reduzir o tempo de vida de prateleira e aumentar os processos de oxidação.	Alta quantidade de oxigênio na cerveja e ausência de análise de oxigênio dissolvido	10	7	7	490	Análise de oxigênio dissolvido
4 CIP	Limpeza interna manual com esforço físico e remoção de partes de difícil acesso	Ausência de análises microbiológicas	Contaminação microbiológica e alteração nas características organolépticas. Não identificação de contaminação da linha por leveduras selvagens, queda no rendimento fermentativo, baixa viabilidade das células de levedura de reciclo, e contaminação cruzada entre os lotes.	Ausência de análises microbiológicas	10	10	8	800	Realizar a contagem de células viáveis na câmara de Neubauer para o reciclo de leveduras, testar para bolores e contaminantes. Outras análises microscópicas para identificar contaminações.
		Formação de biofilme	Contaminação cruzada entre lotes	Ausência de análise química e microbiológica da linha	10	8	8	640	Análise microbiológica da água de lavagem, SWAB da linha,
		Formação de pedra de cerveja	Contaminação cruzada entre lotes, incrustações e impacto na deterioração do maquinário	Ausência de análise visual e formação da contaminação inorgânica	10	5	7	350	CIP conduzido com agentes ácidos, como o ácido nítrico.
		Dificuldade de encontrar pontos mortos e conhecer a linha	Contaminação cruzada entre lotes, incrustações e impacto na deterioração do maquinário.	Não conhecimento da linha e protocolo para limpeza de locais de difícil acesso	9	6	8	432	Estabelecer pontos de obrigatoriedade de higienização na linha e desmonte, como trocadores de calor. Definir periodicidade.

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Figura 24 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação (continuação)

Nome do processo	Requisitos	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Causa e mecanismo potencial	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	NPR	Ações recomendadas
5	CIP	Falha na medição do termômetro	Processos com temperatura abaixo ou acima do indicado, redução da eficiência da mostura	Falta de calibração dos termômetros	7	5	3	105	Inspeção de qualidade, etiquetas com período de calibração e teste de temperatura (conferir a medida do tanque com a medida por termômetro manual)
		Dificuldade de identificar problemas de troca de calor dos tanques	Baixa eficiência térmica, não esterilização do mosto nas etapas quentes.	Falta de calibração dos termômetros	8	5	2	80	Inspeção de qualidade, etiquetas com período de calibração e teste de temperatura (conferir a medida do tanque com a medida por termômetro manual do produto).
		Baixo rendimento nas reações químicas	Impossibilidade de ativar rampas de ativação enzimática	Falta de calibração dos termômetros	7	4	2	56	Inspeção de qualidade, etiquetas com período de calibração e teste de temperatura (conferir a medida do tanque com a medida por termômetro manual)
6	CIP	Frequência insuficiente	Acúmulo progressivo de sujeira e aumento da carga microbiológica de contaminantes no ar	Falta de definição clara de período de periodicidade, falta de planejamento de rotina e acúmulo gradual de sujeira sem intervenção.	10	10	6	600	Definição periodicidade clara no POP, integração da limpeza no plano de rotinal operacional e monitorar cumprimento por supervisão
		Limpeza incompleta de áreas de difícil acesso	Focos de contaminação e aumento da carga microbiológica de contaminantes no ar	Acesso físico limitado (teto, flanges, exaustores outros), falta de instrumentos de acesso (escadas e outros).	7	10	8	560	Disponibilizar escovas, ferramentas específicas, escadas e outras.
		Falta de inspeção pós limpeza	Falhas não identificadas e liberação do ambiente sujo para operação	Não realização de verificação visual, ausência de checklist de inspeção e pressa para liberação da área	8	10	6	480	Implementar inspeção visual obrigatória, utilizar checklist de verificação pós limpeza e registrar liberação de área
7	Envase	Não realização da sanitização das chopeiras	Contaminação cruzada da cerveja, insatisfação do consumidor e impacto na saúde do consumidor	Criar protocolo de limpeza e etiquetas com identificação da limpeza e data. Definir período de segurança para uso pós limpeza.	8	5	2	80	Definição de protocolo de limpeza e etiqueta ou área de liberação das chopeiras
		Sanitização das chopeiras realizadas de forma inadequada	Contaminação cruzada da cerveja, insatisfação do consumidor e impacto na saúde do consumidor	Criar protocolo de limpeza e etiquetas com identificação da limpeza e data. Definir período de segurança para uso pós limpeza.	8	5	4	160	Definição de protocolo de limpeza e etiqueta ou área de liberação das chopeiras

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Figura 25 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação (continuação)

Nome do processo	Requisitos	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Causa e mecanismo potencial	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Deteção (D)	NPR	Ações recomendadas
8	Concentração, sequência e compatibilidade química	Concentração inadequada dos produtos sanitizantes	Limpeza e sanitização ineficazes, sobrevivência de microrganismos e formação de biofilme	Falta de padronização de diluição, erro humano no preparo da solução, ausência de medidores e falta de análise química de liberação da solução	10	8	8	640	Padronizar tabelas de diluição para cada produto químico, disponibilizar dosadores graduados e realizar análise química de liberação do produto diluído para aplicação na linha
		Sequência inadequada do uso de produtos sanitizantes	Falha na sanitização e sobrevivência de microrganismos	Desconhecimento da sequência correta, pressão por tempo para liberação do equipamento e falta de supervisão do processo	10	3	10	300	Elaborar e implementar POP detalhado das etapas, utilizar checklist de execução e liberação pelo supervisor por etapas e treinar equipe operacional
		Compatibilidade química inadequada dos produtos sanitizantes	Reações químicas indesejadas, geração de vapores tóxicos, danos aos equipamentos, risco à saúde do operador	Falta de conhecimento da compatibilidade química, ausência de ficha técnica disponível, armazenamento inadequado de produtos	6	3	7	126	Disponibilizar ficha técnica, implementar segregação física dos produtos, proibir misturas de produtos fora do POP e treinar equipe sobre compatibilidade química
9	Envase	Definição de vida de forma empírica	Produto fora da especificação antes do prazo de validade	Vida útil superestimada sem considerar a estabilidade dos compostos	10	10	8	800	Realizar análises microbiológicas, físico-químicas periodicamente e testes sensoriais programados com painel treinado até o tempo de vida útil do produto
10	Envase	Pressurização inadequada do barril de CO ₂	Oxidação da cerveja durante o armazenamento, redução do shelf life, alterações sensoriais e perda de carbonatação.	Pressão de CO ₂ fora do padrão especificado e falha na calibração do regulador de pressão	9	7	7	441	Estabelecer faixa padrão de pressão de CO ₂ , monitorar e registrar a pressão de CO ₂
		Remoção insuficiente de O ₂ antes do envase	Oxidação da cerveja durante o armazenamento, redução do shelf life, alterações sensoriais e perda de carbonatação	Falta de procedimento padronizado de retirada do O ₂	9	8	6	432	Criar procedimento para retirada de O ₂
11	Fermentação	Monitoramento microbiológico inadequado ou inexistente	Crescimento de microrganismos indesejáveis, alterações sensoriais da cerveja, redução do shelf life e risco de descarte de lote.	Falta de procedimento de análises microbiológicas durante a fermentação,	6	10	6	360	Realizar o plano de monitoramento microbiológico do mosto, definir períodos de coleta de amostra, realizar análises microbiológicas periódicas e utilizar métodos rápidos de detecção microbiológica
		Não ter identificação de lotes em cada barril ou segregação por lotes	Perda da rastreabilidade e comercialização de produto sem respeitar a data de validade	Falta codificação no barril	9	8	5	360	Padronizar codificação
12	Envase	Não ter data de fabricação em cada barril ou segregação por data	Perda da rastreabilidade e comercialização de produto sem respeitar a data de validade	Falta de codificação no barril	9	8	8	576	Padronizar codificação
		Segregação por tempo de vida de prateleira	Perda da rastreabilidade, comercialização de produto sem respeitar a data de validade, desperdício de produtos por vencimento e dificuldade da gestão de estoque.	Falta de segregação de barril por lotes e armazenagem por aproximação	9	8	8	576	Padronizar codificação e definir forma de segregação
		Não ter dados de rastreabilidade dos parâmetros de qualidade de cada lote	Perda da rastreabilidade e falta de resguardo em caso de recall	Falta de parâmetros essenciais e falta de requisitos para liberação do lote do produto para o envase	10	3	6	180	Definir análises microbiológicas antes de envase do produto e análises para definir a qualidade da levedura para reciclo.

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Figura 26 - Análise FMEA dos processos de produção: Envase, CIP e Fermentação (continuação)

Nome do processo	Requisitos	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Causa e mecanismo potencial	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	NPR	Ações recomendadas
13 CIP	Tempo de repouso de sanitizantes	Não possuir tempo de repouso e circulação da linha de cada sanitizante	Ineficiência da atuação dos produtos sanitizantes	Falta de procedimento operacional padrão	10	5	3	150	Criar POP
14 Fermentação	Controle de temperatura do mosto	Falta de controle de temperatura no início e durante a fermentação	Baixa eficiência da levedura, possibilidade de crescimento de microrganismos contaminantes e fermentação incompleta. Caso o resfriamento não tenha sido suficiente para inoculação pode gerar morte das células de levedura.	Falha de controle de sensores de temperatura	10	8	1	80	Definir temperatura ideal para inoculação e durante o processo de fermentação
15 CIP	remoção do biofilme	Condução inadequada do CIP, falta de verificação da remoção do biofilme	Contaminação cruzada da linha com o mosto/ceveja	Falta de análises microbiológicas e inspeção visual para liberação da linha	10	7	7	490	Definir testes microbiológicos periódicos (SWAB ATP e placas de contato) e inspeção visual
16 CIP	Qualidade de sanitização do barril	Sanitização inadequada do barril	Crescimento de microrganismos indesejáveis, formação de biofilme em pontos mortos, contaminação cruzada e presença de resíduos químicos.	Procedimento de sanitização CIP incorreto, barril com defeitos e dificuldade de visualização do interior do barril.	10	8	9	720	Procedimentos de higienização e sanitização (POPs), na etapa de enxaguentes do CIP, pode-se utilizar água quente para melhor remoção de encrustações, produtos sanitizantes em concentração e sequência adequada
17 Envase	Remoção de sedimentos e trub frio pós fermentação	Clarificação pouco eficiente e clarificação por gravidade.	Turbidez indesejada no produto final, risco de contaminação microbiológica e formação de sedimentos no fundo do barril.	Decantação insuficiente, falta de sistemas de clarificação eficientes.	7	10	6	420	Adotar o uso de filtros (como filtro de diatomáceas), monitorar turbidez por padrão ou análise de espectrometria. Em caso de clarificação por gravidade, descartar a parte de produto referente ao fundo do tanque de clarificação.

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Os modos de falha mais elevados, com NPR acima de 700, estão relacionados principalmente a falta de acesso a laboratórios químicos e microbiológicos, que dificultam o processo de análise. Nesse sentido, os modos falhas com maior risco está relacionado com a realização de análises microbiológicas na etapa de fermentação (NPR 800), definição empírica da vida útil de prateleira na etapa de envase (NPR 800), Registros inadequados de limpeza CIP (NPR 720) e Sanitização inadequada do barril na etapa de CIP (720).

As análises microbiológicas garantem a padronização, segurança e estabilidade da cerveja. Segundo Bamforth (2016) uma abordagem de controle microbiológico tem impacto significativo na redução de ocorrência de lotes desperdiçados e de recalls de produtos uma vez que durante o processo de produção da cerveja, há muitas possibilidades de entradas de contaminantes microbiológicos na cerveja. Na etapa de fermentação pode ocorrer a contaminação por Enterobactérias, *Obesumbacterium*, *Rahnella aquatilis*, *Lactobacillus* e *Pediococcus*. Além desses microrganismos é especialmente importante verificar a ocorrência de coliformes, pois também são um indicativo de deficiência na higiene do processo (Silva, 2022; Dias, 2021). As microcervejarias possuem dificuldade na implementação das análises químicas, sensoriais e microbiológicas em decorrência da ausência de laboratórios químicos e microbiológico, normalmente executam análises simples como pH por fita e densidade (Leite, 2026).

Normalmente as microcervejarias definem datas que variam entre 4 a 6 meses para a vida útil de prateleira do produto, contudo sem um estudo sobre o processo de degradação da bebida que pode variar em decorrência das matérias-primas, composição e processo de armazenagem. Segundo Costa (2021) *shelf life* ou vida de prateleira, é definido como o tempo pelo qual o alimento permanece seguro, com a conservação de suas características sensoriais, químicas, físicas e microbiológicas desejadas, e cumpre com qualquer declaração descrita no rótulo quanto aos seus dados nutricionais, quando armazenado nas condições recomendadas pelo fabricante. A determinação do *shelf life* é importante para a segurança do alimento e organização adequada de estoque. Alguns testes podem ajudar a prever o processo de envelhecimento de produto, permitindo estimar o tempo de vida útil em condições normais, como testes físicos sobre a textura dos produtos, análises químicas e análises microbiológicas. Além disso, deve-se também realizar testes sensoriais com painel treinado.

Os registros de limpeza do CIP são fundamentais para garantir a rastreabilidade e o controle da eficácia das operações de higienização. Frequentemente, como apontado pelo FMEA, ocorrem erros no preenchimento ou campos deixam de ser preenchidos, por isso é crucial realizar uma conferência em duplas e armazenar os documentos em condições que

permitam a completa compreensão da rastreabilidade do lote. Esses registros também são indispensáveis para a condução de auditorias internas e externas. A ausência ou insuficiência desses documentos pode dificultar a identificação das causas de contaminações microbiológicas, físicas ou químicas, visto que eles normalmente registram todas as atividades e intercorrências ocorridas durante a higienização CIP. Além disso, esses registros suportam o planejamento da produção, garantindo a manutenção adequada da frequência e dos pontos de limpeza.

A Sanitização adequada do barril que ocorre conforme as etapas do sistema CIP, deve combinar os fatores de tempo, temperatura, ação mecânica e química. Segundo Eßlinger (2006), é importante o uso de esponjas para ação mecânica que devem ser descartadas após o uso. Preferencialmente utilizar água quente e agente químico em concentração adequada.

Nesse sentido, a análise do FMEA evidencia que a ausência de infraestrutura laboratorial adequada representa um dos principais gargalos para gestão de qualidade em microcervejarias, tornando imprescindível a adoção de estratégias alternativas, como parcerias com laboratórios externos, consórcios entre produtores ou contratação de serviços terceirizados de análises químicas, sensoriais e microbiológicas. Além disso, uma alternativa, seria a formação de parcerias entre as microcervejarias, permitindo uso compartilhado de laboratórios químicos e microbiológicos, bem como aquisição de equipamentos em maiores quantidades, possibilitando maior margem para negociações.

Outra alternativa, seria a busca dessas empresas por financiamentos acessíveis e programas de fomento, como os oferecidos pelo Banco do Povo. Segundo Zanin (2023), o Banco do Povo é um programa do Governo do Estado em parceria com prefeituras municipais que visa aumentar a geração de empregos e renda para o município por meio do fortalecimento do pequeno empreendedor informal ou formal. Os créditos concedidos possuem juros mais baixos do que os praticados no mercado, além de oferecer condições facilitadas para o pagamento da dívida. Dentro das modalidades de crédito oferecidas, tem o capital de giro que pode ser empregado em reparos de equipamentos, mercadorias, mercadorias para locação, equipamentos de informática, matéria-prima e publicidade e divulgação e reforma do empreendimento. E a outra modalidade é para o investimento fixo usado para compra de equipamentos, máquinas, ferramentas a serem utilizadas no empreendimento.

Em relação as dificuldades operacionais e direcionadas a manutenção de registros, uma estratégia viável para superar esse desafio seria a criação de redes de apoio entre as cervejarias, permitindo acesso compartilhado a especialistas do setor, bem como a aquisição conjunta de cursos, treinamentos e consultorias voltadas ao fortalecimento técnico e à

capacitação das equipes. Somados a isso, a aproximação entre universidades e o segmento de microcervejarias podem ampliar o acesso a conhecimento especializado e pesquisas aplicadas, promovendo validações necessárias. Essa integração colaborativa pode contribuir para padronização, segurança e inovação em processos e produtos.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do FMEA permitiu identificar e priorizar os principais riscos (falhas) associados aos processos produtivos de microcervejarias, evidenciando que os modos de falha com maiores valores de NPR estão concentrados, principalmente, na ausência da infraestrutura laboratorial, na definição empírica de parâmetros críticos e na fragilidade dos registros operacionais, especialmente nas etapas de fermentação, envase e higienização CIP.

Os resultados demonstram que a limitação no acesso às análises químicas, sensoriais e microbiológicas compromete a padronização, estabilidade e segurança da cerveja, aumentando o risco contaminações, desvios nos processos e perdas de produto. Da mesma forma, a definição empírica da vida útil de prateleira, sem embasamento técnico-científico, representa um fator crítico tanto para a segurança do alimento quanto para a gestão de estoques e a conformidade regulatória. As microcervejarias produzem cervejas utilizando matérias-primas variadas, frequentemente com adjuntos específicos que conferem características individuais aos produtos. Por conta disso, não se torna válido uma padronização, como ocorre atualmente, da cerveja artesanal com vida útil de prateleira de seis meses. É importante a realização de estudos que identifiquem o processo de degradação dos compostos da bebida, dentro dos parâmetros exigidos nos testes de *shelf life*.

Nesse contexto, torna-se evidente que, embora as microcervejarias enfrentem limitações estruturais e financeiras, estratégias colaborativas podem contribuir para a mitigação dos riscos identificação. A formação de parcerias entre microcervejarias, com uso compartilhado de laboratórios, equipamentos e aquisição de conjunta de insumos, bem como a contratação de serviços terceirizados de análises, surge como uma alternativa viável para ampliar o controle de qualidade e reduzir os riscos associados, uma vez que ações de controle tendem a evitar que as causas das falhas sejam frequentes além das falhas serem facilmente detectadas. Adicionalmente, o acesso as linhas de financiamento e programas de fomento, como os oferecidos pelo Banco do Povo, pode viabilizar investimentos em equipamentos, análises laboratoriais e melhorias nos processos.

Além disso, a criação de redes de apoio técnico, com acesso compartilhado a especialistas, cursos, treinamentos e consultorias, aliada à aproximação entre universidade e o setor de microcervejarias, apresenta-se como uma estratégia fundamental para superar dificuldades metodológicas e operacionais. Essa integração favorece a validação científica dos processos, capacitação da equipe e o fortalecimento da inovação no setor.

Por último, observou-se que o QFD integrado ao FMEA mostrou-se uma ferramenta eficaz para a gestão de riscos e a tomada de decisão, fornecendo subsídios técnicos para a implementação de ações preventivas e corretivas. A adoção das estratégias propostas tende a contribuir para a melhoria contínua da qualidade, o aumento da segurança do alimento e o fortalecimento da competitividade das microcervejarias, promovendo maior sustentabilidade técnica e econômica do setor.

Como contribuição científica, este estudo avança ao demonstrar, de forma aplicada, a integração entre as ferramentas QFD e FMEA no contexto de microcervejarias pode contribuir para a segurança dos alimentos. Do ponto de vista prático, os resultados oferecem subsídios para que as microcervejarias identifiquem pontos críticos de seus processos e direcionem esforços para ações preventivas.

REFERÊNCIAS

ALMANNAI, B.; GREENOUGH, R.; KAY, J. A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation Technologies. **Robotics and computer-integrated manufacturing**, v.24, n.4, p.501-507, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da cerveja 2025: ano de referência 2024**. Brasília: MAPA, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-tem-mais-de-43-mil-cervejas-registradas/anuariodacerveja2025_.pdf. Acesso em: 10 jan. 2026.

BRASIL. Resolução nº216/2004b– Regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação. Brasília: ANVISA, 2004. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html>

BRASIL. Resolução nº52/2014 – RDC nº52/2014. Brasília: ANVISA, 2014. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2014/rdc0052_29_09_2014.pdf>

CABRAS, I.; KOGLER, D. F.; DAVIES, R. B.; HIGGINS, David. Beer, brewing, and regional studies. **Regional Studies**, v. 57, n. 10, p. 1905–1908, 3 out. 2023. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2216066>

- CASTILHO, M. A.; MAYMONE, A.; QUEIROZ DE OLIVEIRA, L. Y. Cervejaria artesanal: modelo de fábrica diferenciado com ênfase no baixo impacto ambiental a ser implantado no município de Campo Grande, MS. *Multitemas*, 15 dez. 2016. <http://dx.doi.org/10.20435/1324>
- CAMILOTI, J.V.S.; BRITO, N.L.H.; MARTINS, K.P.; CARDOSO, F.A.R.; JUNIOR-DEMCZUK, B. Consumer perception and label evaluation of Craft beer in Brazil: A mixed-method study on preferences, packaging, and Purchase drivers. *Future Foods*, v.12, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100770>
- CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C. Revisão, análise e classificação da literatura sobre o QFD: tipos de pesquisa, dificuldades de uso e benefícios do método. *Gestão & Produção*, v. 14, n. 3, p. 557–579, dez. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2007000300011>
- CHAN, L.; WU, M. Quality Function Deployment: A Comprehensive Review of Its Concepts and Methods. *Quality Engineering*, v. 15, n. 1, p. 23–35, 24 set. 2002. <https://doi.org/10.1081/QEN-120006708>
- CHENG, L.C.; MELO-FILHO, L.D.R. **QFD: Desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimentos de produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- CHIN, K.; WANG, Y.; POON, G.; *et al.* Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis. *Decision Support Systems*, v. 48, n. 1, p. 246–256, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2009.08.005>
- COSTA, S.A.M.C.F. **Adequação de tempos de vida útil de produtos Ready-to-Eat: avaliação em termos microbiológicos e organoléticos**. 2021. 86 f. Dissertação (Mestrado em engenharia alimentar) – Instituto superior d agronomia, Universidade de Lisboa, 2021.
- CUNHA, A.C.; LOPES, N.D.; BARCIA, M.T.; SAUTTER, C.K.; BALLUS, C.A. Production and characterization of Craft beers with diferente additions of native fruits and agro-industrial residues: a review. *Food Technology*, v.53, n.9, 2023. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220194>
- DIAS, F.S. **Implementação de sistema de controle de qualidade química, microbiológica e sensorial ao processo de produção de cervejas**. 2021. 128 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2021.
- DUARTE, P.F.; NASCIMENTO, L.H.; BANDIERA, V.J.; FISCHER, B.; FERNANDES, I.A.; PAROUL, N.; JUNGES, A. Exploring the versatility of hop essential oil (*Humulus lupulus* L.): Bridging Brewing traditions with modern industry applications. *Industrial Crops and products*, v.218, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118974>
- EL-AWADY, S. M. M. Overview of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Patient Safety Tool. *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*, v. 6, n. 1, p. 24–26, 2023. <https://doi.org/10.36401/JQSH-23-X2>
- EMBIRUÇU, L. B. C.; LINHARES, D. V.; SANTOS, F. P.; *et al.* Production and Characterization of Valhalla Craft Beer in Style Porter Added with Rapadura and Mate Herb. *Journal of Bioengineering, Technologies and Health*, v. 7, n. 2, p. 124–129, 2024. <https://doi.org/10.34178/jbth.v7i2.381>
- FORSTYTHE, S.F. **Microbiologia da segurança dos alimentos**. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2013.
- FRANK, A. G.; PEDRINI, D. C.; ECHEVESTE, M. E.; *et al.* Integração do QFD e da FMEA por meio de uma sistemática para tomada de decisões no processo de desenvolvimento de

produtos. **Production**, v. 24, n. 2, p. 295–310, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000036>

FLOGIATO, F.S.; RIBEIRO, J.L.D.R. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1 ed. Rio de Janeiro : Elviesier, 2009.

GIOVENZANA, V.; BEGHI, R.; GUIDETTI, R. Rapid evaluation of craft beer quality during fermentation process by vis/NIR spectroscopy. **Journal of Food Engineering**, v. 142, p. 80–86, dez. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.017>

GRACHEV, G.A. **Pareto Principle: Predictable Resource Concentrations in Self-Organizing systems**. 1 ed. Taganrog: Southern Federal University Press, 2024.

ISHAK, A.; GINTING, R.; MALIK, A. F. Integration of quality function deployment (QFD) and value engineering in improving the quality of product: A literature review. *In: The 5th International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering 2019 (ICIMECE 2019)*. **Anais...** Surakarta, Indonesia: 2020. Disponível em: <<https://pubs.aip.org/aip/acp/article/1025227>>. Acesso em: 10 nov. 2025

LEAL, F.; PINHO, A.F.; ALMEIDA, D.A. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da Teoria grey. **Revista Gestão industrial**, v.2, n.1, p.78-88, 2006.

LOBO, R.N. Failure Mode and Effect Analysis. *In: Lobo, R.N. Gestão da qualidade*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020, p.159-165.

MACHADO, R.S.; SANTOS, A.C.F.; MOURA, B.S.; BLAIOTTA, A.C.F.B.; PELEGRINO, G.A.; AKIL, E. Boas práticas de fabricação e segurança dos alimentos: avaliação de restaurantes comerciais no município do Rio de Janeiro. **Revista de nutrição e vigilância em saúde**, v.12, n.1, 2025. <https://doi.org/10.52521/nutrivisa.v12i1.16380>

MATOS, V.S.; CECCONELLO, I. Integração QFD/FMEA no desenvolvimento de produto: um estudo de caso de uma empresa de automação. **Scientia cum indústria**, v.7, n.2, p.108-116, 2019.

MENZ, G.; ANDRIGHETTO, C.; LOMBARDI, A.; *et al.* Isolation, Identification, and Characterisation of Beer-Spoilage Lactic Acid Bacteria from Microbrewed Beer from Victoria, Australia. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 116, n. 1, p. 14–22, 2010. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00393.x>

MIGUEL, P.A.C. QFD (*Quality Function Deployment*). *In: MIGUEL, P. A. C. Qualidade: Enfoques e ferramentas*. São Paulo: Artliber. 2001, p. 188-204.

OLIVEIRA, A.L.; TSAN HU, O.R. **Gerenciamento do ciclo da qualidade**. 1 ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018, 320 p.

PASQUINELLI, C.; SAVIANO, L. Craft beer brands: leveraging collaborative business systems for sustainable brand Building. **British Food Journal**, v.128, n.13, p.13-30, 2026.

PEREIRA, B.L.; LEVY, F.A.; LAZARIN, D.F. A utilização de ferramentas da qualidade em um processo de envase de bebidas. **Brazilian Applied Science Review**, v.6, n.3, p.1171-1188, 2022. <https://doi.org/10.34115/basrv6n3-027>

REBELATO, M.G.; FERNANDES, J.M.R.; RODRIGUES, A.M. Proposta de integração entre métodos para planejamento e controle de qualidade. **Revista gestão industrial**, v.4, n.2, p.162-168, 2008. <https://doi.org/10.3895/S1808-04482008000200010>

REITENBACH, A. F.; LORENZI, A. S.; BROCH, Ana C.; *et al.* Catharina Sour: Innovation in the first Brazilian craft beer style – From tradition to the sensory exploration of Brazilian tropical fruits. **Food Chemistry Advances**, v. 10, p. 101201, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101201>

RIBEIRO, D.B. Evaluation of the presence of foreign substances in foods analyzed between 2019 and 2021. **Europub Journal Multidisciplinary research**, v.4, n.1, p.50-63, 2023. <https://doi.org/10.55033/ejmr4n1-004>

RODRIGUES, D.M.; MATSCHULAT, E.; DORNELES, V.; MUGGE, T. Análise de modo e efeito de falha potencial (FMEA): Apostila e tabelas recomendadas para severidade, ocorrência e detecção. 1 ed. São Leopoldo: FIERGS Senai. 13 p. Apostila, 2010.

SALAZAR T., M. B.; SAN MARTÍN-GONZÁLEZ, M. F.; CAI, H.; *et al.* Economic and environmental performance of instantaneous water heating system for craft beer production. **Food and Bioproducts Processing**, v. 127, p. 472–481, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.04.006>

SHAKER, F.; SHAHIN, A.; JAHANYAN, S. Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 36, n. 8, p. 1454–1474, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2018-0195>

SILVA, C. H. G. ; OLIVEIRA, L. L.; WESTPHAL, T. T.; *et al.* Caracterização da cerveja Catharina Sour produzida com insumos catarinenses / Characterization of Catharina Sour beer brewed with raw materials from Santa Catarina state. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 38180–38198, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-359>

SILVA, S.F. **Avaliação microbiológica de cervejas artesanais estilo IPA no estado de Pernambuco**. 2022. 29 f. Dissertação (Graduação em Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal Sertão Pernambucano, 2022.

STOCKER, F.; ABIB, G.; JHUNIOR-SANTOS, R.O.; IRIGARY, H.A.R. Brazilian Craft breweries and internationalization in the born global perspective. **Revista de Gestão**, v.28, n.2, p.163-178, 2021. <https://doi.org/10.1108/REGE-01-2021-0014>

SOTOODEH, K. Failure mode and effect analysis (FMEA) of pipeline ball valves in the offshore industry. **Journal of failure analysis and prevention**, v.20, p.1175-1183, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11668-020-00924-8>

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. 2. ed. ASQC, Milwaukee: Quality Press, 2003. 494 p.

SULAMAN, S. M.; BEER, A.; FELDERER, M.; *et al.* Comparison of the FMEA and STPA safety analysis methods—a case study. **Software Quality Journal**, v. 27, n. 1, p. 349–387, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11219-017-9396-0>

TANIK, M. Improving “order handling” process by using QFD and FMEA methodologies: a case study. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 27, n. 4, p. 404–423, 2010. <https://doi.org/10.1108/02656711011035110>

VILLACRECES, S.; BLANCO, C. A.; CABALLERO, I. Developments and characteristics of craft beer production processes. **Food Bioscience**, v. 45, p. 101495, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101495>

VILLAS BOAS MELLO, J. A.; NOGUEIRA DA SILVA, J. L. Requisitos de produto para um projeto de cerveja artesanal. **Innovar**, v. 30, n. 77, p. 39–52, 13 jul. 2020. <https://doi.org/10.15446/innovar.v30n77.87428>

WOLNIAK, R. The use of QFD method advantages and limitation. **Production Engineering Archives**, v. 18, n. 18, p. 14–17, 1 mar. 2018. <https://doi.org/10.30657/pea.2018.18.02>

WU, X.; LIAO, H. Customer-oriented product and service design by a novel quality function deployment framework with complex linguistic evaluations. **Information Processing & Management**, v. 58, n. 2, p. 102469, mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2020.102469>

ZANIN, L.R. **programas de microcrédito para mulheres empreendedoras no Brasil: O caso do programa empreenda mulher do Banco do povo Paulista**. 2023. 67 f. Monografia (Graduação em Cooperativismo – Universidade Federal de Viçosa), Universidade Federal de Viçosa, 2023.

APÊNDICE C – ESTRUTURA FMEA

FMEA (Análise de modos de falha e efeitos)		Aplicação: ☐ Melhoria de processo Processos: _____ Áreas envolvidas: _____ Data de elaboração: ____ / ____ / ____							
Itens (Numeração sequencial)	Descrição (Atividade ou processo)	Falhas Possíveis			Índices			Ações recomendadas	
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)	S	O	D		NPR

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O presente estudo alcançou o objetivo geral de desenvolver uma proposta de melhoria da qualidade do produto, especificamente no que se refere a segurança do produto, no processo produtivo de microcervejarias por meio da integração das ferramentas QFD e FMEA. Dessa forma, foram elaborados três artigos, cada um deles diretamente vinculado a um dos objetivos específicos da pesquisa.

O primeiro objetivo específico investigou as principais diretrizes para a segurança do alimento na produção de cerveja. Essas diretrizes foram obtidas por meio da análise de obras recentes e relevantes para a indústria cervejeira. Nesse sentido, foram levantados gargalos na produção da cerveja e principais ações que podem ser realizadas para garantir a segurança do alimento. Contudo, embora a literatura sobre a produção da cerveja seja amplamente consolidada, no contexto das microcervejarias muitos dos processos descritos podem não refletir integralmente a realidade operacional. Isso ocorre, principalmente, em função das limitações de recursos, especificidades regionais, condições climáticas e adaptações práticas adotadas no dia a dia da produção.

O segundo objetivo específico teve como proposta converter a percepção dos especialistas a respeito da segurança da cerveja no processo de produção em microcervejarias, desdobrando-os em requisitos de qualidade para o processo produtivo da cerveja pela ferramenta QFD. A consulta aos especialistas permitiu compreender a realidade operacional sobre a segurança dos alimentos nas microcervejarias brasileiras e a partir da ferramenta QFD priorizou aqueles requisitos de qualidade que possuem maior importância na segurança do alimento nas microcervejarias. Ao todo, foram identificados 34 requisitos de qualidade, envolvendo as etapas de fermentação, envase e higienização CIP, as quais também foram apontadas pelos especialistas como as mais críticas no quesito de contaminações químicas, físicas e microbiológicas.

Por fim o terceiro objetivo específico teve como proposta realizar a integração do QFD e FMEA do processo produtivo para microcervejarias considerando os requisitos de qualidade de produção da cerveja a fim de promover a melhoria na segurança do produto. Para isso, foram retomados os 34 requisitos de qualidade previamente identificados no objetivo específico 2, sendo selecionados os 17 mais frequentes com base na análise de Pareto. Dessa forma, os resultados obtidos no QFD foram utilizados como entradas para a aplicação da FMEA, possibilitando a efetiva integração entre as ferramentas. A partir dessa análise integrada, foram propostas ações direcionadas à mitigação das principais falhas identificadas,

oferecendo às microcervejarias subsídios práticos para aprimorar seus processos e fortalecer a segurança do alimento. Nesse contexto, os modos de falha potencial com maiores números de prioridade de risco foram: 1) Ausência de análises microbiológicas na fermentação; 2) Definição de vida de prateleira de forma empírica na etapa de envase; 3) Ausência de registros e ausência de verificação ou validação dos registros de limpeza no CIP e 4) Sanitização inadequada do barril na etapa de CIP. As análises microbiológicas são essenciais para garantir segurança, padronização e estabilidade da cerveja, prevenindo contaminações comuns na fermentação, como por enterobactérias, *Lactobacillus* e *Pediococcus*, além de coliformes, que indicam falhas de higiene.

Enquanto, a definição da vida de prateleira costuma ocorrer sem estudos técnicos, apesar de o *shelf life* depender de fatores como matéria-prima, processo e armazenamento. Sua determinação adequada é fundamental para assegurar qualidade, segurança e organização de estoque, podendo envolver testes físicos, químicos, microbiológicos e sensoriais. Os registros de CIP são indispensáveis para rastreabilidade, auditorias e identificação de causas de contaminação, mas falhas no preenchimento comprometem o controle da higienização e o planejamento produtivo. Por último, a limpeza dos barris deve ocorrer de forma a evitar a contaminação cruzada, especialmente por serem recipientes com diversos pontos de difícil acesso.

No contexto brasileiro, as microcervejarias enfrentam um cenário desigual quanto ao acesso a equipamentos e insumos, muitos dos quais são de origem internacional, o que impacta custos, margens de lucro e competitividade. Além disso, compartilham desafios típicos das micro e pequenas empresas, como restrições de capital de giro, escassez de recursos técnicos e financeiros, dificuldades de adaptação a ambientes de mercado dinâmicos e limitada capacidade de absorção de inovações. Tais fatores dificultam o acesso a novos mercados, o aumento de receitas, a formação de parcerias estratégicas e o alinhamento dos produtos às tendências emergentes. Diante desse cenário, a adoção de ferramentas estruturadas de gestão da qualidade e análise de riscos, como o QFD e a FMEA, figura-se como uma estratégia fundamental para o direcionamento mais assertivo de recursos, a priorização de ações críticas e a mitigação de falhas, promovendo avanços consistentes em segurança do alimento, eficiência produtiva e competitividade no setor.

Como perspectivas decorrentes desse estudo, percebe-se que o fortalecimento da segurança alimentar pode atuar como um diferencial competitivo, gerando maior confiabilidade junto aos consumidores e destacando a microcervejaria no mercado. Esse fortalecimento pode ser viabilizado por meio da criação de redes/cooperativas de apoio entre as microcervejarias,

do desenvolvimento de selos locais que atestem a padronização de processos e da adesão a requisitos de qualidade. Além disso, é fundamental promover a oferta de cursos, *workshops*, consultorias técnicas e outras iniciativas de capacitação, a fim de disseminar boas práticas e garantir melhoria contínua dos processos. Para que tais iniciativas sejam efetivas, é essencial que sejam organizadas de maneira transparente, com critérios bem definidos e processos claramente descritos, por meio de setorizações e hierarquizações verticais.

Como limitação dessa pesquisa, reconhece-se que algumas das proposições metodológicas apresentadas dependem de infraestrutura laboratorial e de recursos técnicos que podem não estar disponíveis em todas as microcervejarias, o que pode restringir a aplicação imediata e integral das recomendações. Entretanto, essa limitação pode ser mitigada por meio do acesso a laboratórios compartilhados, incubadoras tecnológicas, terceirização de análises químicas e microbiológicas, ou ainda por meio de linhas de financiamento destinadas à modernização e aquisição de equipamentos.

Por último, do ponto de vista social e prático, os resultados têm implicações importantes para microcervejarias e para a indústria cervejeira de modo geral. As propostas apresentadas podem orientar melhorias nos processos produtivos, aumentar a confiabilidade dos produtos frente aos consumidores e reduzir riscos à saúde pública, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência do setor. Esses resultados podem contribuir para promoção dos objetivos do desenvolvimento sustentável, especialmente os ODS 9 e 12, que versam sobre o fomento para uma industrialização inclusiva, sustentável e orientada a inovação, assim como assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis com redução de perdas e desperdícios.