



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**RICARDO ALEXANDRE DE ARAUJO MONTEIRO LOBO FILHO**

**MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO APLICADA À INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

Recife  
2019

RICARDO ALEXANDRE DE ARAUJO MONTEIRO LOBO FILHO

**MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO APLICADA À INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado junto à Universidade Federal de Pernambuco como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte

Recife  
2019

Catálogo na fonte

Bibliotecário Gabriel da Luz, CRB-4 / 2222

L799m Lobo Filho, Ricardo Alexandre de Araujo Monteiro.

Manutenção baseada no risco aplicada à indústria cervejeira / Ricardo Alexandre de Araujo Monteiro Lobo Filho – Recife, 2019.

71f., fígs., quadros.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Mecânica, 2019.

Inclui Referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Manutenção. 3. Risco. 4. Indústria cervejeira. I. Duarte, Dayse Cavalcanti de Lemos (Orientadora). II. Título.

RICARDO ALEXANDRE DE ARAUJO MONTEIRO LOBO FILHO

**MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO APLICADA À INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco.

**Banca Examinadora**

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

Recife, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

## RESUMO

A indústria cervejeira, a qual consiste na produção e envase de cerveja em garrafas de vidro sobre pressão e com variações de temperatura, possui elevado risco inerente. O processo lida com gases a alta pressão, produtos químicos altamente corrosivos, projeção de vidro e outros materiais, é responsável por manter o fornecimento de cerveja em diversos centros de venda com intuito de promover momentos de alegria e comemoração para os consumidores, logo paradas não programadas poderão comprometer o fornecimento de cerveja ou comprometer a qualidade do produto, a qual pode gerar riscos ao cliente, e conseqüentemente a vida de terceiros. O presente trabalho propõe uma metodologia em virtude de uma manutenção baseada no risco, tendo como objeto de estudo a indústria cervejeira. A manutenção embasada no risco está fundamentada na potencialidade da falha e da consequência, ou seja, a prioridade das atividades de manutenção será dos equipamentos críticos. Segundo Koppen, G. (1998) “se gerenciarmos 20% dos equipamentos críticos controlamos 80% dos riscos do processo”. Razão pela qual é também o objetivo do presente estudo recomendar diretrizes para a seleção dos equipamentos críticos. Os equipamentos considerados críticos foram: lavadora de garrafas, inspetor de garrafas e pasteurizador.

Palavras-chave: Manutenção. Risco. Indústria cervejeira.

## **ABSTRACT**

The brewing industry, which consists of the production and bottling of beer in glass bottles under pressure and with variations in temperature, has a high inherent risk. The process deals with high pressure gases, highly corrosive chemicals, glass projection, is responsible for keeping beer supply to various sales outlets to promote moments of joy and celebration for consumers, so unscheduled stops may compromise supply of beer or compromise the quality of the product, which can generate risks to the customer, and consequently the life of third parties. The present work proposes a methodology for the maintenance based on the risk, having as object of study the brewing industry. Risk-based maintenance is grounded in the potentiality of failure and consequence. That is, the priority of maintenance activities will be the critical equipment. According to Koppen, G. (1998) if we manage 20% of critical equipment we control 80% of the risks of the process. This is why it is also the purpose of this study to recommend guidelines for the selection of critical equipment. The equipment considered critical were bottle washer, filler and pasteurizer.

Keywords: Maintenance. Risk. Brewery industry.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> –	Histórico da Manutenção .....	12
<b>Figura 2</b> –	Ciclo de Manutenção .....	14
<b>Figura 3</b> –	Fluxograma da Metodologia usada no estudo .....	24
<b>Figura 4</b> –	Família de cerveja ALES .....	27
<b>Figura 5</b> –	Família de cerveja LAGER .....	27
<b>Figura 6</b> –	Processo de Beneficiamento .....	28
<b>Figura 7</b> –	Processo de Brassagem .....	29
<b>Figura 8</b> –	Processo fermentativo da Adegas .....	30
<b>Figura 9</b> –	Processo de Filtração .....	31
<b>Figura 10</b> –	Processo de <i>Packaging</i> .....	32
<b>Figura 11</b> –	Relação entre áreas e variáveis .....	36
<b>Figura 12</b> –	Curva e formulação escolhida para o sistema .....	37
<b>Figura 13</b> –	Dados <i>software</i> PROMETHEE com curva gaussiana (ponto inflexão 0,5) .	42
<b>Figura 14</b> –	Resultado <i>software</i> PROMETHEE com curva gaussiana (ponto inflexão 0,5).....	42
<b>Figura 15</b> –	Dados <i>software</i> PROMETHEE com curva gaussiana (ponto inflexão 1,0) .....	43
<b>Figura 16</b> –	Resultados <i>software</i> PROMETHEE com curva gaussiana (ponto inflexão 1,0) .....	43
<b>Figura 17</b> –	Dados <i>software</i> PROMETHEE com curva linear .....	44
<b>Figura 18</b> –	Resultados <i>software</i> PROMETHEE com curva linear .....	44
<b>Figura 19</b> –	Resultados nos métodos PROMETHEE I e II para comparação .....	45
<b>Figura 20</b> –	Diagrama de blocos simplificado da área crítica .....	46
<b>Figura 21</b> –	Diagrama de blocos expandido da área crítica .....	47

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b>	– Famílias de abordagens Multicritério .....	18
<b>Quadro 2</b>	– Família da abordagem de critério único .....	20
<b>Quadro 3</b>	– Família da abordagem de subordinação .....	21
<b>Quadro 4</b>	– Família de abordagem de Métodos Iterativos .....	22
<b>Quadro 5</b>	– Classificação das variáveis .....	36
<b>Quadro 6</b>	– Pesos dos grupos de variáveis .....	36
<b>Quadro 7</b>	– Pesos parciais por variável .....	38
<b>Quadro 8</b>	– Fluxos para risco de explosão por área .....	38
<b>Quadro 9</b>	– Fluxos para risco de queimadura por área .....	38
<b>Quadro 10</b>	– Fluxos para risco de corte por área .....	39
<b>Quadro 11</b>	– Fluxos para risco de prensamento por área .....	39
<b>Quadro 12</b>	– Fluxos para trabalho com químicos por área .....	39
<b>Quadro 13</b>	– Fluxos para interface homem máquina por área .....	39
<b>Quadro 14</b>	– Fluxos para contaminação química por área .....	40
<b>Quadro 15</b>	– Fluxos para contaminação física por área .....	40
<b>Quadro 16</b>	– Fluxo para impacto físico ao consumidor por área .....	40
<b>Quadro 17</b>	– Fluxos para impacto ao processo por área .....	40
<b>Quadro 18</b>	– Resultado dos fluxos globais por área .....	41
<b>Quadro 19</b>	– Relação entre equipamentos e variáveis .....	48
<b>Quadro 20</b>	– Fluxos para risco de explosão por equipamento .....	48
<b>Quadro 21</b>	– Fluxos para risco de queimadura por equipamento .....	48
<b>Quadro 22</b>	– Fluxos para risco de corte por equipamento .....	49
<b>Quadro 23</b>	– Fluxos para risco de prensamento por equipamento .....	49
<b>Quadro 24</b>	– Fluxos para trabalhos com químicos por equipamento .....	49
<b>Quadro 25</b>	– Fluxos para interface homem máquina por equipamento .....	49
<b>Quadro 26</b>	– Fluxos para risco de contaminação química por equipamento .....	50
<b>Quadro 27</b>	– Fluxos para risco de contaminação física por equipamento .....	50
<b>Quadro 28</b>	– Fluxos para impacto físico ao consumidor por equipamento .....	50
<b>Quadro 29</b>	– Fluxos para impacto no processo por equipamento .....	50
<b>Quadro 30</b>	– Resultado dos fluxos por área .....	51
<b>Quadro 31</b>	– FMECA lavadora .....	52

<b>Quadro 32</b> – FMECA pasteurizador .....	53
<b>Quadro 33</b> – FMECA inspetor de garrafas .....	54
<b>Quadro 34</b> – Potencial de falha para corrosão interna .....	55
<b>Quadro 35</b> – Potencial de falha para travamento de conjunto mecânico .....	56
<b>Quadro 36</b> – Potencial de falha para fadiga térmica .....	57
<b>Quadro 37</b> – Potenciais de consequência para o sistema analisado .....	58
<b>Quadro 38</b> – Matriz potencial de consequência .....	59
<b>Quadro 39</b> – Matriz do risco .....	60
<b>Quadro 40</b> – Relação entre média do equipamento e classificação da falha .....	61
<b>Quadro 41</b> – Relação entre média do equipamento e classificação da consequência ...	61
<b>Quadro 42</b> – Avaliação dos equipamentos críticos referente a fadiga térmica .....	62
<b>Quadro 43</b> – Classificação de potencial de falha para fadiga térmica .....	63
<b>Quadro 44</b> – Classificação de consequência para fadiga térmica .....	63
<b>Quadro 45</b> – Resultado generalizado para fadiga térmica .....	63
<b>Quadro 46</b> – Avaliação dos equipamentos críticos referente a corrosão .....	64
<b>Quadro 47</b> – Classificação de falha para corrosão .....	65
<b>Quadro 48</b> – Classificação de consequência para corrosão .....	65
<b>Quadro 49</b> – Resultado generalizado para corrosão interna .....	65
<b>Quadro 50</b> – Avaliação dos equipamentos críticos referente a travamento mecânico ..	66
<b>Quadro 51</b> – Classificação de falha para travamento mecânico .....	67
<b>Quadro 52</b> – Classificação de consequência para travamento mecânico .....	67
<b>Quadro 53</b> – Resultado generalizado para travamento do conjunto mecânico .....	67

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	13
1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1	DEFINIÇÕES DE RISCO E PERIGO .....	14
2.2	ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO .....	14
2.3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....	17
2.4	FMEA .....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>26</b>
4.1	ETAPA 1: DEFINIR O SISTEMA A SER ANALISADO .....	26
4.2	ETAPA 2: ENTENDER COMO O SISTEMA FUNCIONA E OPERA .....	28
<b>4.2.1</b>	<b>Beneficiamento</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Brassagem</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Adegas</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Filtração</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Packaging</b> .....	<b>32</b>
4.3	ETAPA 3: SELECIONAR ÁREA CRÍTICA DO SISTEMA .....	34
4.4	ETAPA 4: DIRETRIZES PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS	45
4.5	ETAPA 5: ANÁLISE DE MODOS DE FALHA DOS EQUIPAMENTOS .....	51
4.6	ETAPA 6: MATRIZ DO RISCO (POTENCIAIS DE FALHA E CONSEQUÊNCIA) .....	54
<b>4.6.1</b>	<b>Potencialidade de Falha</b> .....	<b>54</b>
4.6.1.1	Corrosão interna .....	55
4.6.1.2	Travamento Mecânico .....	55
4.6.1.3	Fadiga Térmica .....	56
<b>4.6.2</b>	<b>Potencialidade de Consequência</b> .....	<b>57</b>
<b>4.6.3</b>	<b>Matriz do Risco</b> .....	<b>59</b>
4.7	CORRELAÇÃO ENTRE OS EQUIPAMENTOS CRÍTICOS E MATRIZ DO RISCO .....	60

<b>4.7.1</b>	<b>Correlação para fadiga térmica .....</b>	<b>61</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Correlação para corrosão .....</b>	<b>63</b>
<b>4.7.3</b>	<b>Correlação para travamento mecânico .....</b>	<b>65</b>
<b>4.7.4</b>	<b>Avaliações sobre os resultados .....</b>	<b>67</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>

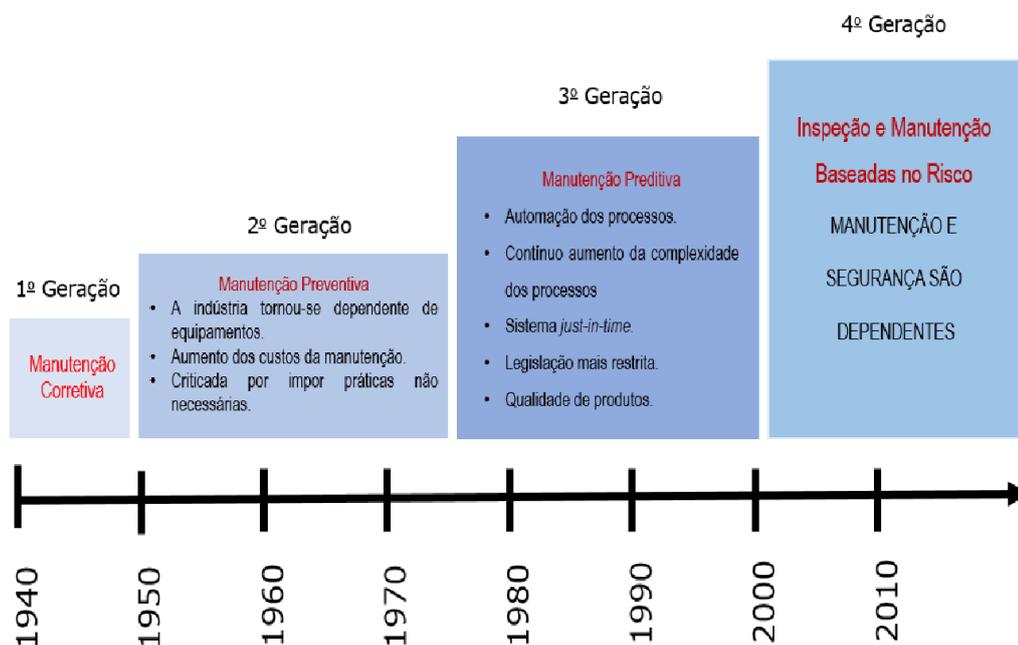
## 1 INTRODUÇÃO

A gestão de engenharia compreende diversas etapas de construção dos processos vitais de uma produção industrial. A forma como é abordada cada etapa de um processo produtivo, haverá alterações no ciclo de vida deste processo. O foco real da gestão na engenharia, em critérios de manutenção, ainda não foi totalmente definido por unanimidade, tendo então o gerenciamento da manutenção um objeto de estudo a ser melhorado e padronizado às diversas situações do ambiente de trabalho.

Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e gerenciais durante o ciclo de vida do equipamento com a intenção de mantê-lo e restaurá-lo para que o mesmo possa desempenhar sua função.

As estratégias de manutenção dos ativos têm um impacto direto no lucro das organizações. Prevenção, disponibilidade e confiabilidade são imprescindíveis em um ambiente competitivo. Conforme demonstrado na figura 1, a história da manutenção pode ser dividida em quatro gerações. A primeira geração inicia-se em 1940 e estende-se até o final da Segunda Grande Guerra, caracteriza-se por uma mecanização incipiente da indústria. A Segunda geração inicia-se em 1950 e estende-se até meados de 1970, sendo marcada pela forte mecanização e maior complexidade das instalações industriais, neste período os custos de manutenção eram maiores do que os custos de operação. A terceira geração, 1980-2000 caracterizou-se pela aceleração da automação dos processos (sistemas). As três primeiras gerações consideram a manutenção e a segurança como eventos independentes. Porém, somente a partir de 1980, ao iniciarem os estudos de gestão de manutenção tornou-se possível o início na conexão entre manutenção e segurança, e por isso, a estratégia e gestão da manutenção não são totalmente estruturadas e unificadas como outros objetos de estudo, como a gestão de produção, assim como afirma Dr. Mohan Kumar Pradhan “Há uma grande lacuna entre percepção mundial de classe versus o desempenho real da manutenção. A manutenção atrasou em proporção inversa à proliferação avançada de produção e tecnologia nos últimos anos”. A partir de 2000, inicia-se a quarta geração da manutenção em que a frequência e a consequência das falhas são consideradas, como eventos dependentes.<sup>2</sup>

Figura 1: Histórico da manutenção



Fonte: Journal of Hazardous Material, 2006.

Nos últimos 30 anos os custos de manutenção têm aumentado, devido ao contínuo aumento da complexidade e do tamanho da indústria de manufatura e, sobretudo, pela aceleração da integração e automação dos sistemas. Segundo Wireman (2005) no período de 1979-1989, para um grupo de empresas, os custos de manutenção triplicaram.

Após a II Guerra Mundial, houve um acentuado desenvolvimento da indústria química. A natureza altamente competitiva desse setor, atrelada a evolução da economia mundial e ao rápido avanço da tecnologia, possibilitaram o aumento das industriais e a complexidade dos processos produtivos.

Devido a essa evolução histórica da produção industrial, armazenamento, transporte e o aumento do consumo de produtos químicos, gerou como resultado o crescimento de pessoas expostas aos riscos, além dos acidentes na indústria química e alimentícia que aumentaram proporcionalmente. A reportagem de capa da Revista Proteção de outubro de 2013 traz a tona a situação da indústria alimentícia, setor que mais gera acidentes de trabalho no país. Somente em 2011, os fabricantes de alimentos e bebidas somaram 57 mil acidentes em todo o território nacional, segundo dados do AEPS (Anuário Estatístico da Previdência Social) indicando ainda desastres devido a falhas nos programas de integridade mecânica. Com isso, a história mostra que a falta de gerenciamento dos riscos do processo pode levar a sérios desastres.

Atualmente existe o conceito de indústria 4.0, na qual indica a evolução dos sistemas autônomos, não mais automáticos, nos quais a interação produtiva está mais focada nos IHM's (Interface Homem Máquina). E para o funcionamento desse conceito na indústria real, deve ser garantido o planejamento e o gerenciamento da manutenção, e conseqüentemente da integridade mecânica.

### **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente estudo consiste em estruturar uma metodologia de uma estratégia de priorização da manutenção baseada na consequência de falha tendo por intenção garantir a integridade mecânica da indústria em geral. A indústria cervejeira será utilizada para contextualizar a metodologia proposta.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Entendimento do problema;
- Descrição do processo cervejeiro;
- Mecanismos de falha;
- Definir diretrizes para a seleção de equipamentos críticos;
- Avaliar e caracterizar a potencialidade das falhas e conseqüências;
- Criar uma matriz do risco para uma indústria cervejeira;
- Exemplificar como priorizar;

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Em virtude de entender os conceitos utilizados no estudo e tratativa do caso avaliado neste trabalho, torna-se necessário o esclarecimento de alguns conceitos e métodos que serão utilizados posteriormente.

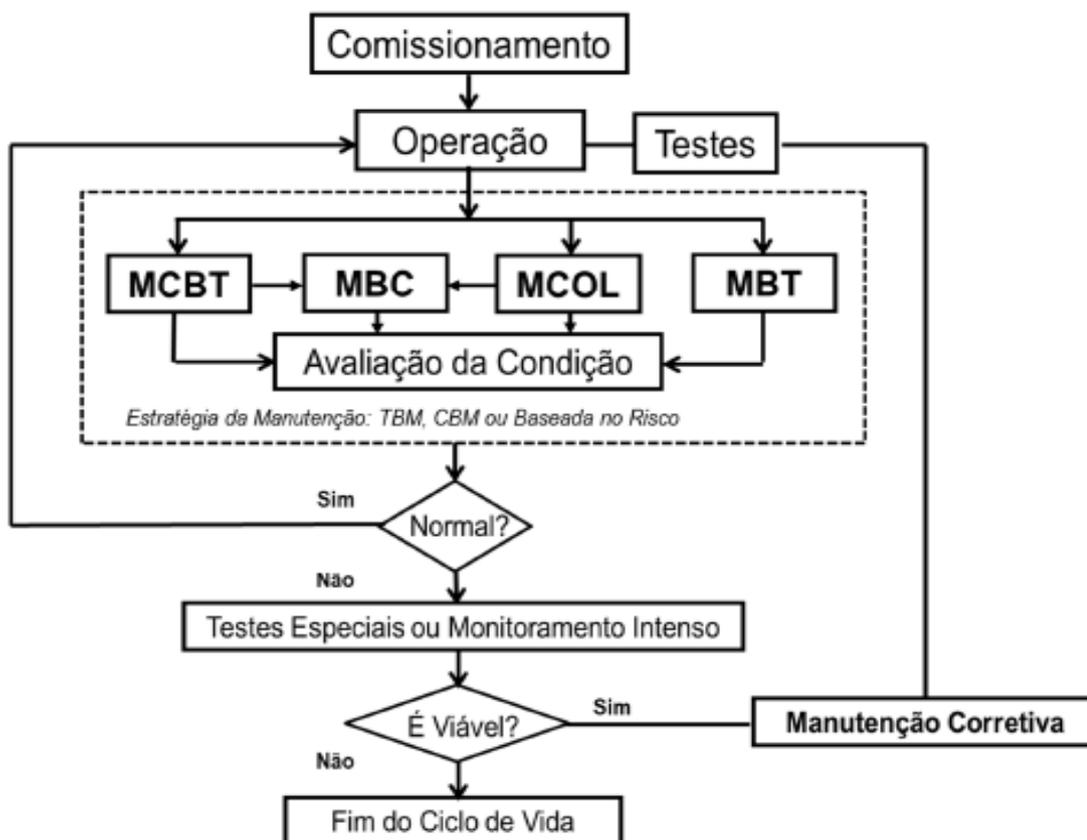
## 2.1 Definições de risco e perigo

O risco é definido como o produto da frequência versus a consequência de que um possível evento indesejado ocorrer, enquanto o perigo é a fonte de perda e dano material ou humano. Diferentes técnicas de identificação de perigo tais como árvores das falhas, árvores dos eventos, análise preliminar dos perigos, entre outras, são utilizadas para identificar o que pode dar errado de forma sistemática.

## 2.2 Estratégias de manutenção

A estratégia de manutenção poderá começar com teste prévios do estado atual. A figura 2, indica uma simplificação de como funciona o ciclo de manutenção.

Figura 2: Ciclo da Manutenção



Fonte: Guia de Manutenção para Transformadores de Potência, 2013.

**Comissionamento:** Quando um equipamento novo ou reparado é colocado em funcionamento pode ser necessário a realização de teste para estabelecer um padrão de referência, que deve ficar disponível como referência na avaliação de problemas futuros. Durante a operação, uma estratégia de manutenção proverá a disponibilidade requerida durante a vida útil com custo apropriado. As possíveis estratégias para manutenção são:

**a) Monitoramento da condição baseada no tempo – MCBT:** Há ações para avaliar a condição do equipamento (por exemplo, verificações visuais, medidas e testes) que são realizadas em intervalos regulares e pré-planejados. Essas ações são frequentemente realizadas em conjunto com a manutenção que exige o desligamento do equipamento. Os resultados da MCBT são utilizados com frequência para decidir a respeito da extensão da manutenção exigida naquele momento ou no futuro. Porém, a informação obtida é limitada a uma foto de um momento particular;

**b) Manutenção baseada na condição - MBC:** É realizada dependendo da condição do equipamento para reduzir a probabilidade de um item falhar em serviço. A MBC é baseada na avaliação da condição física real do equipamento e leva em consideração o seu uso, ocorrência de eventos, etc. Para adotar MBC é necessário avaliar a condição do equipamento através do Monitoramento da condição baseada no tempo - MCBT, MCOL e monitoração *online* contínua. A MBC se aplica os casos em que a condição técnica do equipamento pode ser medida e avaliada com base em critérios de ações recorrentes. A incorporação da MBC é uma estratégia de manutenção que procura reduzir custos, realizando a manutenção somente quando uma mudança na condição do equipamento exigir uma tomada de decisão e ação associada;

**c) Monitoramento da condição *on line* - MCOL:** Esta é uma técnica, método ou medida que é, ou pode ser, executada com o equipamento em funcionamento, e que fornece informações sobre o equipamento. No transformador o MCOL inclui amostragem do óleo para análise de gás dissolvido, usando um laboratório, a execução de termografia ou realização de observações simples, tais como verificar o nível de óleo nas buchas e nos conservadores de óleo;

**d) Manutenção baseado no tempo (MBT ou Manutenção sistemática preventiva):** É realizada em intervalos predeterminados para reduzir a probabilidade de um componente

falhar em serviço. Inclui ações de manutenção para melhorar a condição do equipamento, como troca de óleo, lubrificação e substituição preventiva de peças. Uma MBT é realizada em um intervalo de fixo de tempo e a ação é realizada independente da condição do equipamento, ou seja, o engenheiro define o que deve ser feito e com que frequência deve ser feito. MBT oferece um alto nível de cobertura de risco se as recomendações do fabricante do equipamento forem sugeridas. A MBT é considerada como a mais fácil, mas não a de menor custo.

A estratégia de manutenção a ser adotada deve permitir a avaliação da condição do equipamento.

**Avaliação da condição:** é o processo através do qual a condição do equipamento é avaliada levando em consideração todos os aspectos que poderiam afetar o seu desempenho futuro. As entradas para este processo serão os resultados de testes e medidas, observações, histórico do funcionamento, conhecimento dos mecanismos de falhas, experiência prévia com equipamento similar ou comparável e qualquer outro conhecimento e informação relevantes. A saída comum pode variar de uma avaliação simples normal ou até um sofisticado índice de desempenho que é um sistema de classificação ou contabilização em uma escala única ou múltipla para permitir decisões sobre uma futura manutenção ou substituições prioritárias sobre lotes de unidades.

**Manutenção produtiva total - TPM:** É uma política que tem como objetivo a melhoria do desempenho e a da produtividade de um sistema, considerando os seguintes aspectos:

- a) Desenvolvimento de uma organização que busque a maximização do sistema de produção, bem como o uso dos equipamentos durante o seu ciclo de vida útil;
- b) Envolvimento de todos os funcionários da organização durante e após a sua implementação;
- c) Estabelecimento de condições de controle que possibilitem a busca por taxa zero de falha e defeito;
- d) Esta política se baseia em oito programas de trabalho para possibilitar a obtenção dos objetivos, a saber:
  - Melhoria específica;
  - Manutenção autônoma;

- Manutenção planejada;
- Educação e treinamento;
- Administração e apoio a gestão antecipada;
- Manutenção de qualidade e segurança;
- Saúde;
- Meio ambiente;

**Interpretação, testes especiais e monitoramento intensivo:** Quando houver a suspeita ou indicação de um problema no equipamento (por exemplo, pela avaliação rotineira da condição de funcionamento) todas as informações disponíveis são coletadas e avaliadas, para que então seja decidido o plano de ação para correção do problema. Para facilitar este processo, uma variedade de testes especiais de diagnóstico *offline* podem estar disponíveis, e podem ser usados para avaliar as condições dos diferentes componentes do equipamento. Em outros casos, a aplicação de monitoramento *online* contínuo poderá ser requisitada com o objetivo de se obter dados adicionais ou para operar o equipamento com segurança. Os testes especiais têm por objetivo avaliar se o equipamento poderá ser colocado em serviço novamente com ou sem ações corretivas.

**Avaliação técnica e econômica:** O ciclo da operação, da manutenção rotineira e corretiva do equipamento não é permanente. Quando um equipamento sofre um dano severo ou quando a confiabilidade do equipamento já não é satisfatória, uma avaliação técnica e econômica deve ser realizada para decidir o que fazer: sucatear ou substituir, reparar (uma intervenção no equipamento, originada por defeito ou falha, com o objetivo de restabelecer o mesmo as suas condições originais de projeto) ou “repotenciar” (uma intervenção no equipamento com o objetivo de alterar suas condições originais de projeto), ou se o trabalho será realizado no local ou na oficina. Ao avaliar a melhor opção deve ser levado em consideração: tempo de indisponibilidade do equipamento, disponibilidade do equipamento reserva, o custo da indisponibilidade, o transporte e a condição do equipamento.

**Manutenção baseada no risco:** Está baseada na potencialidade da falha e da consequência. Tendo por objetivos priorizar as atividades de manutenção com ênfase na consequência da falha, assim gerenciando o risco total do processo. O objetivo do presente trabalho é desenvolver uma estratégia para que as atividades de manutenção sejam baseadas

na consequência de falha e frequência de falha, as quais serão integradas através da matriz do risco.

### 2.3 Análise multicritério

O apoio multicritério à decisão pode ser visto como um conjunto de métodos que se prestam a tornar claro um problema, no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, os quais são conflitantes, na maioria dos casos. Neste contexto, frequentemente faz-se uso de métodos que utilizam a abordagem de superação, a fim de selecionar um subconjunto de um conjunto finito de alternativas ou mesmo ordená-las. Há outras traduções para os métodos de superação, tais como: sobreclassificação, prevalência ou subordinação e síntese (Almeida & Costa, 2003; Gomes et al., 2002).

Apesar da apropriação da metodologia multicritério no tratamento simultâneo de critérios conflitantes envolvidos no problema de substituição de equipamentos, na literatura, há poucas aplicações dessa metodologia na área de manutenção programada, mais raro, ainda, é o uso de uma abordagem multicritério de uma forma que permita o tratamento de incertezas relacionadas aos dados de escolha de variáveis para definir criticidade em uma manutenção. Por outro lado, há uma diversidade muito grande de textos que retratam a problemática de substituição de equipamentos, pelos mais diferentes enfoques e considerando aspectos bastante diferenciados, entretanto tais textos têm como característica, quase que geral, o uso do paradigma de otimização, onde um único critério ou função objetivo é considerado.

O apoio à decisão multicritério torna possível solucionar problemas com objetivos geralmente conflitantes através de abordagens quantitativas e qualitativas, além de possibilitar a inserção de percepções de grupos de interesse. Para ser considerado “multicritério”, o problema deve abranger a análise de no mínimo duas alternativas com relação a diferentes critérios para a tomada de decisão (Beria et al., 2012; Guarnieri et al., 2015). A utilização de técnicas multicritério pode ser de natureza simples ou combinada, além de constar na literatura uma gama de metodologias que propõem essas técnicas aliadas a diferentes abordagens. Com relação aos modelos simples, eles usualmente se separam em três diferentes grupos (Zabeo et al., 2012; Lima Júnior et al., 2013; Guarnieri et al., 2015), os quais estão definidos abaixo (Tabela1).

Quadro 1: Famílias de abordagens Multicritério

Abordagens	Descrição
------------	-----------

<p>Teoria da Utilidade Multiatributo ou do Critério Único de Síntese</p>	<p>Deriva-se da corrente de pensamento americana, as preferências do decisor por determinada alternativa, quando a avalia mediante um conjunto de critérios ou indicadores, são agregadas em um valor de utilidade único, que é medido de uma forma aditiva (com <i>trade-offs</i>), ou seja, é gerado um <i>score</i> de cada alternativa com base no desempenho que apresentou em cada critério, assim as alternativas melhor avaliadas são as que obtiverem o melhor <i>score</i> (Almeida, 2011). Alguns métodos desta abordagem podem ser citados: MAUT, SMART, TOPSIS, AHP. Continua...</p>
<p>Sobreclassificação ou Subordinação</p>	<p>Derivada da corrente francesa, o principal objetivo é a construção de relações binárias que representem as preferências do decisor com base na informação disponível (sem <i>trade-offs</i>) entre critérios, neste caso, não se obtém um <i>score</i> das alternativas mediante seu desempenho em cada critério (Léger &amp; Martel, 2002). Por meio de uma comparação par a par, verifica-se qual alternativa é superior em cada critério, estabelecendo-se uma relação de superação no confronto entre duas alternativas. Assim, é melhor avaliada a alternativa que apresentar superioridade na maioria dos critérios, esta abordagem é baseada no sistema de eleição de Condorcet e é considerada uma abordagem mais equilibrada, tendo em vista que é escolhida a alternativa que possui um desempenho satisfatório na maioria dos critérios, segundo Almeida (2011). Os principais métodos desta abordagem são os das famílias: ELECTRE, PROMETHÉE.</p>
<p>Métodos Interativos</p>	<p>São desenvolvidos principalmente no âmbito da Multi-objective Linear Programming (MOLP), os quais se caracterizam por possuir passos computacionais e serem interativos, permitindo <i>trade-offs</i> (Léger &amp; Martel, 2002). Os métodos da MOLP buscam uma alternativa que seja claramente superior em todos os objetivos estabelecidos (dominante), para isso, efetuam a agregação das preferências dos decisores e cálculos matemáticos, iterativos e sucessivos, avaliação destas soluções, de possível alteração da estrutura de preferências em face da nova informação disponível, com vista à convergência para uma solução final que estabeleça um compromisso aceitável entre as funções objetivo (Antunes &amp; Alves, 2012). Cabe ressaltar que este processo é diferente das abordagens do critério único de síntese e de sobreclassificação, as quais, mediante a comparação entre critérios, buscam a solução mais satisfatória e não a dominante (Almeida, 2011). Alguns métodos dessa abordagem podem ser citados: STEM, TRIMAP, ICW, PARETO RACE (Antunes &amp; Alves, 2012).</p>

Fonte: O autor

A escolha das abordagens apresentadas na tabela 1 dependerá principalmente da racionalidade do analista ao demonstrar suas preferências, as quais podem ser basicamente:

aditiva: as alternativas são avaliadas mediante cada critério, o desempenho das alternativas é avaliado quantitativamente (valores numéricos) ou qualitativamente (por meio de escalas) e é estabelecido um score para cada alternativa. Essa racionalidade permite *trade-offs* entre critérios, o que significa afirmar que uma alternativa com um péssimo desempenho em uma alternativa (por exemplo: qualidade) pode ser compensada por um ótimo desempenho em outro critério (por exemplo: custo); e, não aditiva: as alternativas são avaliadas em pares pelas relações: preferência forte (P+), preferência fraca (P-), indiferença (I) ou incomparabilidade (R), no lugar de números. Neste caso, não é gerado um *score* para cada alternativa, este sistema é similar ao utilizado nas Olimpíadas (medalhas de ouro, prata e bronze), pelo qual as alternativas são avaliadas segundo a quantidade e qualidade dos votos que obtiveram, ou seja, não permite *trade-offs* entre critérios (Almeida, 2011; Vincke, 1992). Nas Tabelas abaixo (Tabelas 2, 3 e 4), estão elencados os principais métodos utilizados em cada abordagem, indicando se são adequados para este trabalho:

Quadro 2: Família da abordagem de critério único

Método	Descrição	Comentários
MAUT (Multiple Attribute Utility Function)	Baseia-se nos conceitos de modelagem de preferência tradicional, admite <i>trade-offs</i> entre critérios e somente duas situações: Preferência estrita (P) e Indiferença (I). É construída uma função utilidade de agregação $U(g_1, \dots, g_i, \dots, g_n)$ , agregando os critérios $g_j$ ( $j = 1, \dots, n$ ) em um critério único de síntese, explicitando as preferências do decisor. Ordena as alternativas.	Este método exige que os valores agregados e pesos sejam utilizados a partir de decisão em grupo de pessoas relacionadas a área.
SMART (Simple Multicriteria Attribute Rating Technique)	É uma simplificação da MAUT, julga a avaliação das alternativas considerando o pior e melhor estímulos, faz uso da estratégia da aproximação heroica para justificar aproximações lineares das funções utilidade multidimensional. A agregação das preferências do decisor com base nas alternativas e critérios é aditiva, ou seja, considera <i>trade-offs</i> entre critérios. É um método de ordenação de alternativas. Derivação: SMARTS (com <i>swing</i>	Método semelhante ao MAUT, a alteração ocorre no final do método, porém os pesos e valores agregados são definidos de forma semelhante.

	de pesos).	
TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)	Avalia o desempenho das alternativas através da similaridade desta com a solução ideal, assim a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa. A solução ideal positiva sendo aquela que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo; já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício. É um método de ordenação de alternativas e permite <i>trade-offs</i> entre critérios	Utilizado em geral para tomada de decisão para escolhas da vida real, como por exemplo a escolha de compra de um carro o equipamento. Os pesos necessários para cada variável, no método, são decididos pelo próprio analista.
AHP (Analytic Hierarchy Process)	Decompõe o problema em diversos em fatores, com relações entre si, por meio da construção de uma hierarquia, possibilita ao decisor definir prioridades e realizar o julgamento de preferências entre alternativas, comparando-as em pares para cada critério por meio de matrizes e baseados na escala numérica de Saaty. É um método de ordenação das alternativas e considera <i>trade-offs</i> entre critérios.	Método com utilização geral para tomada de decisão e justificativa de escolha, sendo o mais utilizado dentre os métodos desta classe. Critérios e pesos são definidos pelo próprio analista.

Fonte: O autor

Quadro 3: Família da abordagem de subordinação

Método	Descrição	Comentários
PROMETHEE (Preference Ranking Method for	Consiste em realizar a comparação das alternativas em pares e construir uma relação de sobreclassificação de valores, destacando-se por buscar envolver conceitos e parâmetros que têm interpretação física ou econômica.	Bem utilizado para problemas voltados a manutenção. Em geral, utiliza-se de

Enrichment Evaluation)	Não permite <i>trade-offs</i> entre critérios. Derivações: PROMETHEE II (ordenação); PROMETHEE III e IV (ordenação); PROMETHEE V (ordenação); PROMETHEE VI (ordenação, PROMSORT (classificação).	pesos e critérios definidos pelo analista. Trata variáveis que não são comparáveis normalmente de forma numérica.
ELECTRE (Elimination and Choice Translating Algorithm)	Compreende dois procedimentos principais: I) construção de uma ou várias relações de sobreclassificação/superação; e, II) exploração desta(s) relação(s). A construção de uma relação ou mais relações de sobreclassificação tem como objetivo comparar cada par de ações. Não permite <i>trade-offs</i> entre critérios. Derivações: ELECTRE I e IS (escolha e ordenação); ELECTRE II, III e IV (ordenação); ELECTRE TRI (classificação).	Método coincide em conceito com o PROMETHEE, porém utiliza-se os subconjuntos (critérios) excluindo as variáveis que não se adequam ao critério.

Fonte: O autor

Quadro 4: Família de abordagem de Métodos Iterativos

Método	Descrição	Comentários
STEM (Step Method)	Em cada fase de cálculo é calculada a solução que minimiza uma distância pesada de Chebyshev à solução ideal, que é colocada à apreciação do decisor na fase de diálogo seguinte. Se os valores das funções objetivo são todos considerados satisfatórios, o processo termina. Caso contrário, o decisor estabelece que funções objetivo aceita relaxar e qual o valor desta relaxação, para tentar melhorar os outros objetivos que ainda não têm valores satisfatórios. É um método de escolha e ordenação de alternativas, considera <i>trade-offs</i> .	Confiabilidade alta, porém é necessário que exista uma solução ideal de escolha. Caso a problemática exija escolha de algo que impacte mais que os outros, ou seja, não tendo uma perfeição, o método não é aplicável.
ICW (Interval Criterion Weights)	O decisor escolhe uma solução numa amostra de soluções não dominadas que lhe é apresentada em cada fase de diálogo. Em cada fase de cálculo são otimizadas várias somas ponderadas das funções objetivo, com combinações de	Confiabilidade alta, porém é necessário que exista uma função objetivo para os critérios de escolha. Caso a problemática exija escolha de algo que impacte mais que os outros, ou

	pesos regularmente dispersas no diagrama paramétrico, o que evita requerer ao decisor a indicação explícita de pesos. É um método de escolha de alternativas, considera <i>trade-offs</i> .	seja, não tendo uma perfeição, o método não é aplicável.
Pareto Race	Realiza uma pesquisa direcional livre sobre a região não dominada. A informação de preferências consiste na indicação das funções objetivo a melhorar, o que provoca a alteração a direção da pesquisa. As soluções são calculadas definindo uma direção que oferece uma variação nos valores das funções objetivo que está de acordo com as preferências do decisor, a qual é depois projetada sobre a região não dominada. É um método de escolha e ordenação de alternativas, considera <i>trade-offs</i>	Confiabilidade alta, porém é necessário que exista uma função objetivo para os critérios de escolha. Caso a problemática exija escolha de algo que impacte mais que os outros, ou seja, não tendo uma perfeição, o método não é aplicável.
TRIMAP (Tricriterion Multiobjective Linear Programming)	Efetua uma pesquisa livre no sentido de uma aprendizagem progressiva e seletiva do conjunto de soluções não dominadas, combinando a redução da região admissível com a redução do diagrama paramétrico. Em cada fase de cálculo é otimizada uma soma ponderada das funções objetivo. O decisor pode especificar limitações inferiores para funções objetivo, que são traduzidas para o diagrama paramétrico, e impor restrições diretamente nos pesos. É um método de escolha e ordenação de alternativas, considera <i>trade-offs</i> .	Confiabilidade alta, porém é necessário que exista uma função objetivo para os critérios de escolha. Caso a problemática exija escolha de algo que impacte mais que os outros, ou seja, não tendo uma perfeição, o método não é aplicável.

Fonte: O autor

Ao avaliar todos os métodos, os mais adequados para este trabalho são os métodos PROMETHEE, TOPSIS e AHP, dentre os quais o método PROMETHEE foi escolhido para seleção de área crítica e equipamentos críticos do sistema, por meio de cálculo manual do método e do software PROMETHEE.

## 2.4 FMEA

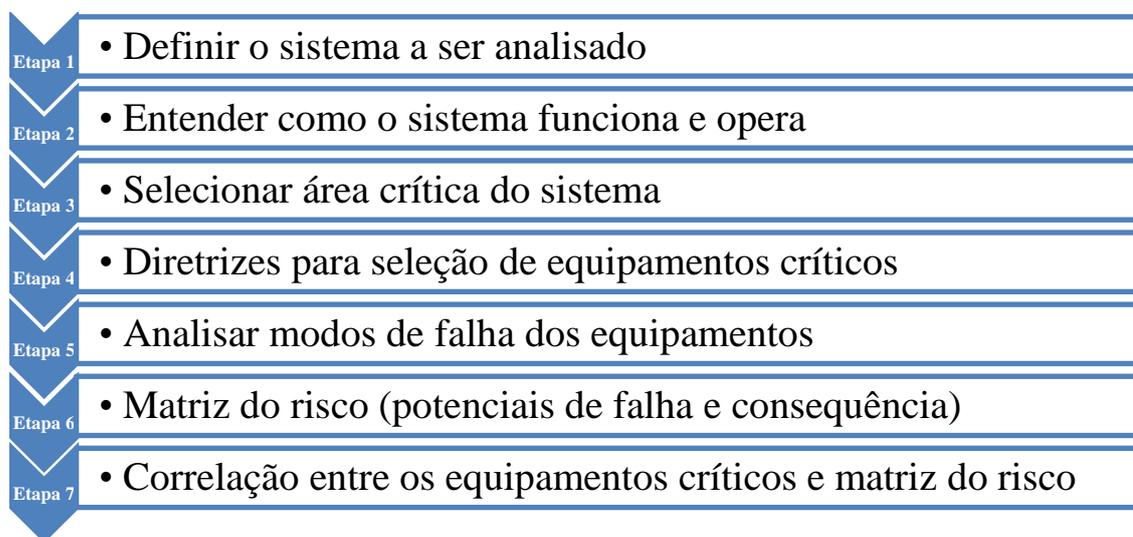
A FMEA é uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar causas e efeitos de cada modo de falha de um equipamento ou subconjunto. A análise resulta em ações corretivas, classificadas de acordo com sua criticidade, para eliminar ou compensar modos de falha e seus efeitos (LAFRAIA, 2014).

No FMEA são listados os modos de falhas, suas causas, suas consequências, sua severidade. Há modelos de FMEA's com diversas informações, mas sua base e conceito estão nos modos de falha, causa e consequência. Como o FMEA é uma técnica que demanda grande tempo e profundidade de cada subconjunto e cada modo de falha, há o modelo FMECA, no qual são listados apenas os modos de falha mais críticos, resumindo em geral os pontos de maior foco de cada equipamento. Neste presente trabalho, em virtude de focar na maior criticidade e simplicidade de cada etapa, serão realizados FMECA's.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia proposta está baseada no conceito de risco, conforme definido na seção 2.1. A figura 3 exemplifica as etapas dessa metodologia.

Figura 3: Fluxograma da metodologia do estudo



Fonte: Adaptada de Journal of Hazardous Materials  
(Entendimento do mecanismo de falhas e danos (etapa para FMEA))

**Definir o sistema a ser analisado:** A primeira etapa do estudo é definir o sistema a ser estudado e as suas condições de contorno. No presente estudo, o sistema a ser estudado é a indústria cervejeira;

**Entender como o sistema funciona e opera:** A segunda etapa consiste em entender em detalhe como o sistema, no caso, a indústria cervejeira funciona e opera, tendo por objetivo

identificar as falhas e suas respectivas consequências. O estudo foi focado nos equipamentos críticos da área mais crítica objetivando a integridade da garantia mecânica. Ferramenta utilizada: Fluxogramas de processo;

**Selecionar área crítica do sistema:** Como o volume de controle é muito grande, é mais interessante utilizar toda a metodologia por área, sendo a mais crítica a principal área a ser estudada, e conseqüentemente, a com mais passivos de manutenção referentes ao risco. Sendo assim, deve-se utilizar critérios de definição de área crítica, utilizando o risco como variável de escolha na manutenção. Os critérios de seleção foram possibilidade de gerar explosão, risco de queimadura, risco de corte, risco de prensagem, frequência de trabalho com químicos, interface entre homem e máquina, risco de contaminação química, risco de contaminação física, impacto físico ao consumidor, impacto no processo em caso de parada.

Ferramenta utilizada: *software* PROMETHEE;

**Diretrizes para seleção dos equipamentos críticos:** As diretrizes para seleção de um componente crítico envolvem equipamentos contendo substâncias perigosas, equipamentos que asseguram o fluxo do processo, equipamentos destinados a prevenir falhas catastróficas. Os critérios de seleção foram possibilidade de gerar explosão, risco de queimadura, risco de corte, risco de prensagem, frequência de trabalho com químicos, interface entre homem e máquina, risco de contaminação química, risco de contaminação física, impacto físico ao consumidor, impacto no processo em caso de parada. Ferramentas utilizadas: diagrama de blocos funcionais e *software* PROMETHEE;

**Analisar modos de falha dos equipamentos:** Tem por intenção responder os questionamentos: o que pode dar errado? E como pode dar errado?

Ferramenta utilizada: FMECA;

**Matriz do Risco (potencias de falha e consequência):** A potencialidade da falha define as variáveis, pelas quais a integridade mecânica do sistema será monitorada e os seus critérios de tolerabilidade. A potencialidade da consequência está associada à consequência de falha sobre alvos específicos. A matriz do risco integra a potencialidade de consequência e da falha.

## **4. RESULTADOS**

Em busca dos objetivos indicados no trabalho, cada etapa da metodologia proposta será aplicada, partindo do sistema analisado até a priorização de manutenção pelo risco.

### **4.1 Etapa 1: Definir o Sistema a ser analisado**

O processo a ser analisado, como indicado na seção 1, será uma cervejaria, na qual será definido um volume de controle interno, seguindo o processo de criticidade.

A cerveja é uma bebida alcoólica devido à fermentação de cereais na presença de água. Sua história tem início, segundo seus primeiros registros, a seis mil anos antes de cristo, na Suméria. O processo cervejeiro espalhou-se por várias partes do mundo adaptando-se as colheitas de cereais que haviam em cada cidade. Desde o começo da história registrada da humanidade, a cerveja está presente, e de forma participativa no crescimento da humanidade. Foi utilizada como alimento e forma de pagamento para construção das pirâmides do Egito, esteve presente no primeiro código de leis da humanidade, o código de Hamurabi, foi a substituta da água na época da peste negra, para evitar contaminação da bactéria por meio do consumo de água, decretado pela igreja e por isso a cultura de cerveja nos monastérios, foi um dos maiores comércios da Europa feudal, foi um dos responsáveis pela descoberta da pasteurização, esteve presente na descoberta da refrigeração, foi um dos primeiros produtos a ser produzido em escala industrial. Mostrando o quão presente a cerveja foi em toda a história da humanidade.

A cerveja tem diversas famílias, estilos, tipos, subtipos, todos eles com diversas mudanças no processo produtivo. Em geral existem 3 grandes famílias, a família ALE (Figura

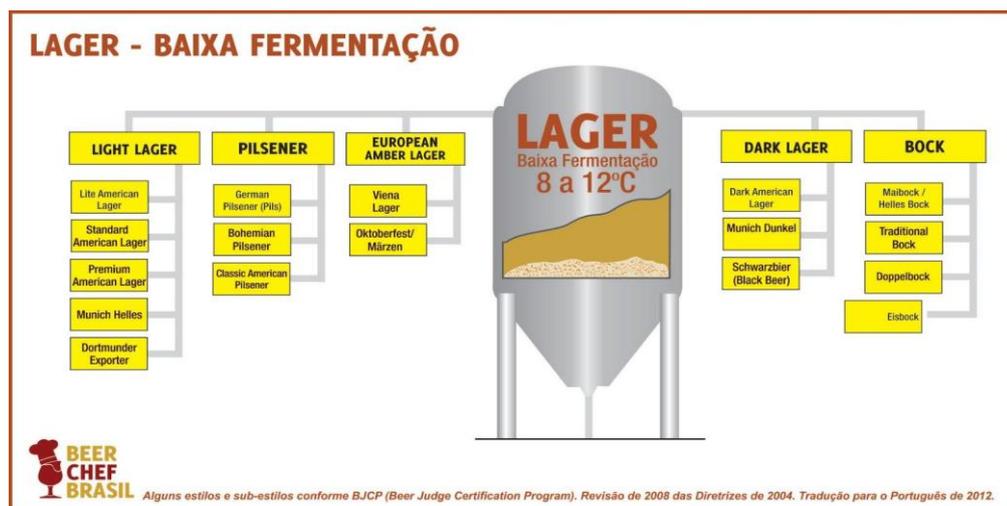
4), na qual apresenta a fermentação de alta, na qual ocorre a flotação do fermento utilizado. A família LAGER (Figura 5), na qual apresenta a fermentação de baixa, na qual ocorre a decantação do fermento utilizado. A família LAMBIC na qual apresenta uma fermentação ao ar livre, com fermentos naturais. Atualmente, todas as cervejas apresentam malte, podendo conter outros grãos em sua composição, como arroz, milho, trigo, semente de coentro, semente de pimenta, semente de laranja. Há várias variações de produtos a serem misturados com o malte, porém para ser considerado cerveja, a bebida fermentada pode apresentar apenas produtos vegetais. No Brasil, pela legislação, o decreto de Lei No 2.314, de 4 de setembro de 1997 exige que as cervejas brasileiras tenham no mínimo 20% de malte para cervejas com nome do cereal predominante, e no mínimo 50% de malte para cervejas sem especificação dos outros cereais.

Figura 4: Família de cerveja ALES



Fonte: Blog falecomfulvia

Figura 5: Família de cerveja LAGER



Fonte: Blog falecomfulvia

Ao tratar do processo industrial, tudo inicia na seleção de todos os ingredientes, por ser uma produção alimentícia, há toda a preocupação na qualidade dos ingredientes, para garantir a segurança do consumidor. Os grãos selecionados são triturados e misturados com água e enzimas em grandes tanques, em seguida tem-se o processo fermentativo, a filtração e finalmente o envase. E entre todos os processos, será definido qual é o mais crítico para o estudo de manutenção baseado no risco.

## 4.2 Etapa 2: Entender como o Sistema Funciona e Opera

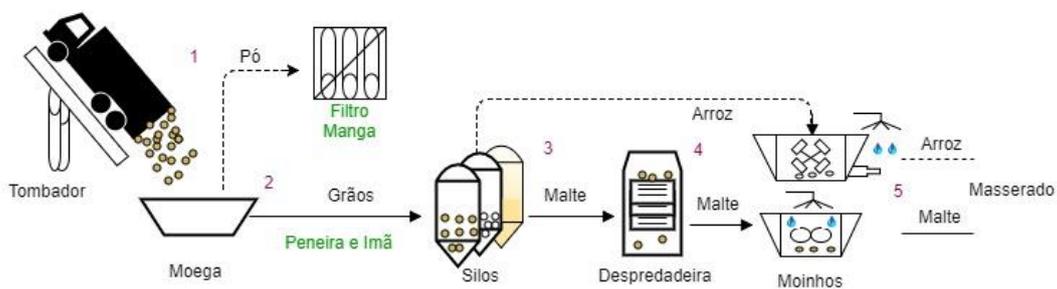
Na indústria cervejeira, para este presente trabalho, as plantações, as maltarias, o armazenamento de produto acabado e entrega não serão considerados como parte do processo produtivo, e então pode-se dividir o processo em 5 grandes etapas, o Beneficiamento, a Brassagem, a Fermentação, a Filtração e o *Packaging* (do inglês embalar).

### 4.2.1 Beneficiamento

Esta etapa consiste na entrega dos grãos e outros insumos que serão utilizados diretamente na composição básica da cerveja, em estado ideal para a brassagem. Os grãos são transportados por caminhões, nos quais são fixados no “tombador”, equipamento no qual ergue o caminhão em forma de rampa inclinada, derramando todos os grãos em uma caçamba com tubulações que direcionam os grãos aos diversos silos, nos quais passam por diversos filtros e imãs para retirar impurezas misturadas. Vale ressaltar que há uma grande

concentração variável de pó em suspensão que são retidos por filtros de manga, para evitar um caráter explosivo do ar. Ao sair dos silos, o grão passa novamente por peneiras com um fluxo perpendicular de ar para conter algum pedaço de palha e retenção de algum detrito. Em seguida, os grãos vão para moagem e umidificação com intenção de facilitar a quebra química dos açúcares e proteínas presentes nos grãos, formando o macerado de grãos, o qual é o produto inicial da etapa da brassagem. No fluxograma (Figura 6) está representado o caminho dos grãos durante o recebimento.

Figura 6: Processo de Beneficiamento



Fonte: O autor.

#### 4.2.2 Brassagem

Processo no qual ocorre a quebra de açúcares de cadeia longa para açúcares de cadeia curta, os quais são fermentescíveis. O fluxo da Brassagem ocorre segundo a imagem abaixo (Figura 7):

Figura 7: Processo de Brassagem



Fonte: O autor.

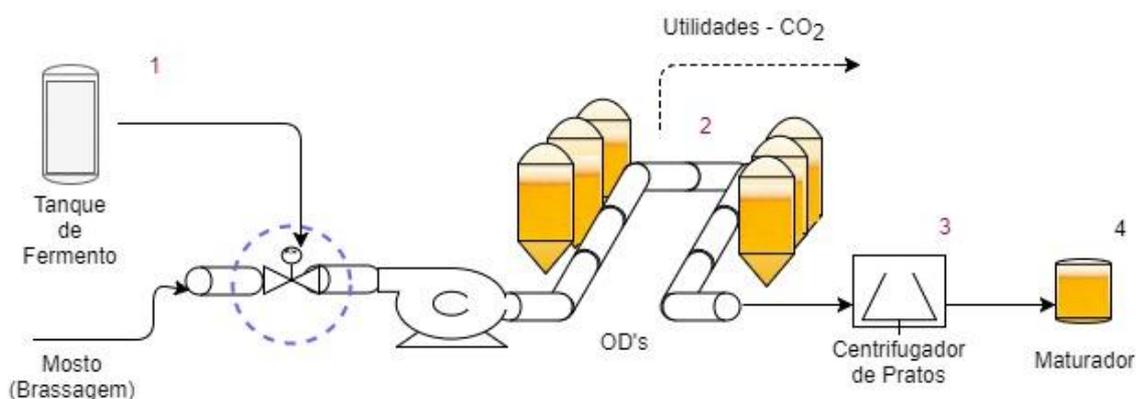
Após a moagem, o malte vai para a tina de mostura, onde haverá a quebra de amido em moléculas menores de açúcar, assim como de proteínas e lipídios. É feita uma rampa de temperatura para a atuação ótima de enzimas, havendo períodos de aumento e descanso (onde há atuação de um grupo específico de enzimas). No final do processo, a temperatura recebe um aumento adicional para a desnaturação de proteínas. Se a cerveja produzida não for puro malte, paralelamente um processo análogo irá ocorrer com o outro grão na tina de cozimento

de adjunto. Ela contém uma porcentagem de malte devido às enzimas nele contidas, que ajudam no processo da quebra do amido (açúcar de cadeia longa) do adjunto. Terminado, o adjunto é misturado ao malte na tina de mostura. A mostura é então direcionada para a tina de filtro, onde o mosto será separado do bagaço por um leito filtrante e então direcionado para o cozimento. A etapa de fervura (tina de cozimento) se dá a altas temperaturas, entre 96 e 99 °C. É durante a fervura que os lúpulos de amargor e aroma são adicionados, respectivamente nesta ordem. O produto, agora chamado de mosto é então levado a tina decantadora, onde haverá a decantação de coágulos e ao passar por um trocador de calor, é enviado a 9 °C à próxima etapa, a adegas.

### 4.2.3 Adegas

É na área de adegas que ocorre a fermentação, transformando açúcares fermentecíveis em álcool. O fluxo da área adegas ocorre segundo a imagem abaixo (Figura 8):

Figura 8: Processo fermentativo da Adegas



Fonte: O autor.

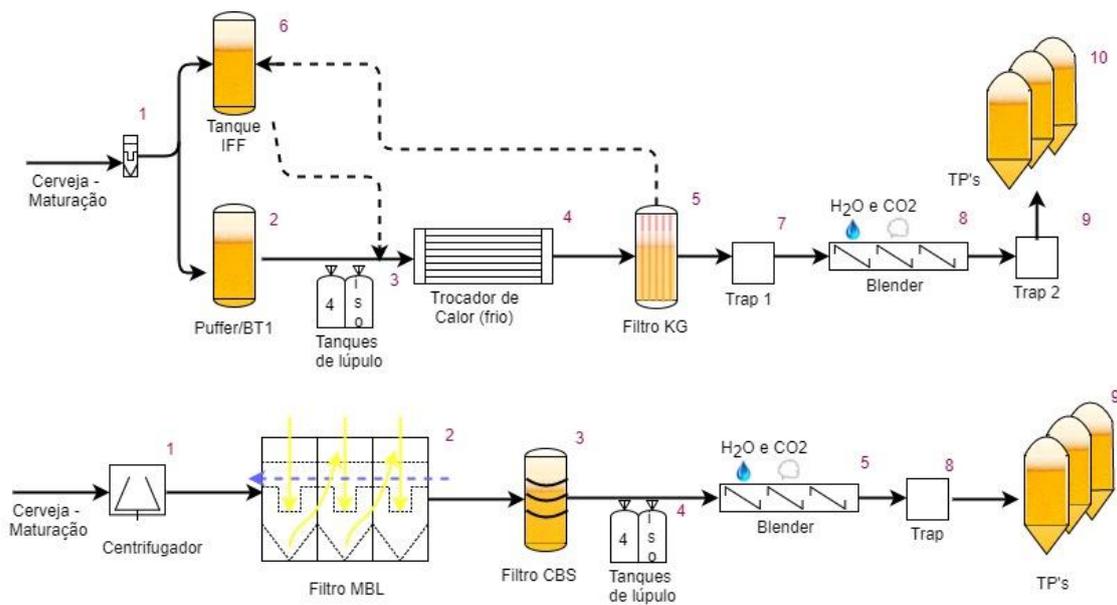
Antes de ser dosado, o fermento (gelado a 1,5°C, para redução de metabolismo e não ocorrer autóólises) tem que ser acidificado para limpeza dos receptores proteicos das membranas celulares das leveduras, pois elimina microrganismos, como os lactobacilos. O fermento tem resistência ao pH ácido (2,2), porém existe um limite, ou seja, se foi acidificado, o fermento tem que ser usado. A dosagem do fermento é realizada com o suporte de um sensor, o qual conta a quantidade de células do fermento a partir da polarização de células vivas excitadas por um campo eletromagnético, o qual é dosado todo no primeiro fabrico de

mosto, o qual é direcionado ao tanque de fermentação. Durante a fermentação, a levedura irá se alimentar dos açúcares fermentáveis, produzindo álcool, e multiplicando-se. O processo fermentativo demora dias e só finaliza quando o produto, agora chamada cerveja, adquirir as características adequadas para o produto desejado. A cerveja é então centrifugada e maturada para seguir a próxima etapa.

#### 4.2.4 Filtração

A filtração tem como objetivo principal reduzir a turbidez da cerveja. Terminada a maturação a cerveja é enviada para a área de filtração, mas antes água desaerada passa por toda a linha. Nesta etapa, é crítico o controle de oxigênio, no qual afeta fortemente na qualidade da cerveja. Há diversas tecnologias para filtração da cerveja. Serão apresentadas duas formas, nas quais estão representadas na imagem abaixo (Figura 9):

Figura 9: Processo de Filtração



Fonte: O autor.

A água desaerada que percorre a área final da adegas e na área da filtração é resultado da desaeração da água. A água é inicialmente declorada no filtro de carvão ativado e passa por um trocador de calor, para chegar à temperaturas de aproximadamente 72 °C, reduzindo a solubilidade do O<sub>2</sub>. Em seguida a água passa por uma espécie de cascata e recebe jateamento de CO<sub>2</sub>, o qual retira as moléculas de oxigênio. Na saída é resfriada e armazenada no tanque de água desaerada.

### **Modelo 1**

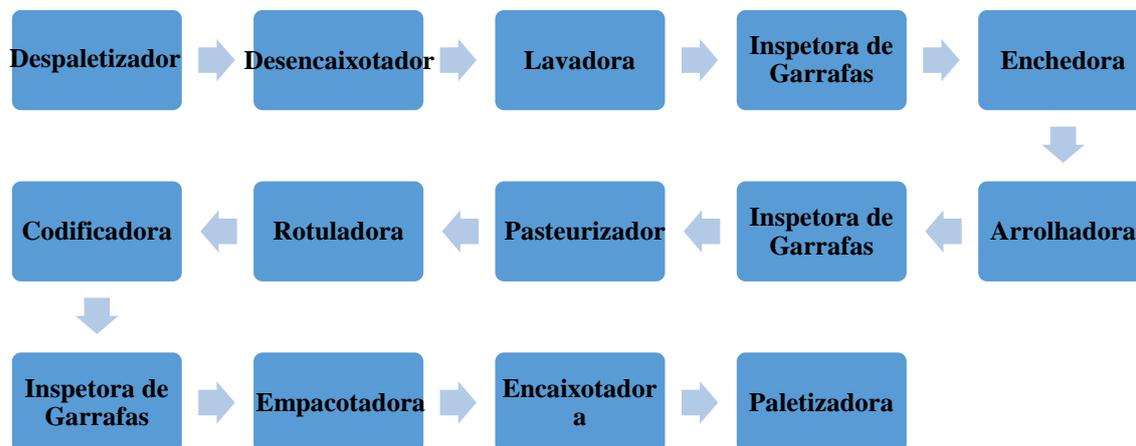
A cerveja passa por várias análises e recebe uma nova dosagem de lúpulo para finalizar o amargor e o aroma da cerveja, na qual após ser resfriada para  $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (próximo ao ponto de fusão,  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) passa para o tanque filtro de velas. A terra infusória circula inicialmente para formar a pré-capa nas velas. A terra grossa serve para a proteção mecânica do filtro, enquanto a terra fina funciona como a camada filtrante. A circulação da terra com água para o estabelecimento da pré-camada que funciona até seu limite de saturação. Em seguida, a cerveja passa por um novo filtro de camadas para reter resquícios da terra infusória. E então a cerveja é diluída em água com adição de gás carbônico em um misturador. Em sua saída, a cerveja passa por mais um filtro até chegar ao seu último tanque, no qual é o de envio para a próxima etapa, o envase no *packaging*.

### **Modelo 2**

A cerveja passa por várias análises, na qual após ser resfriada para  $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (próximo ao ponto de fusão,  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) passa para o tanque filtro de múltiplas membranas, nas quais utilizam um fluxo perpendicular para retirar a cerveja e refiltrá-la. Logo após, passa por um filtro de camadas químicas que retiram substâncias químicas indesejáveis. Nesse momento é realizada uma nova dosagem de lúpulo para finalizar o amargor e o aroma da cerveja, a qual é liberada para o último tanque antes do envio para a próxima etapa, o envase no *packaging*.

#### **4.2.5 Packaging**

É a área responsável por envasar e embalar cervejas. Suas entradas são justamente os líquidos vindos das áreas de processo e vasilhames, roldas, caixas, filmes, fitas, etc. Ou seja, tudo que envolva o produto acabado que vai ao mercado. As linhas de envase de garrafa são representadas pelo fluxograma abaixo:

Figura 10: Processo de *Packaging*

Fonte: O autor.

A Despaletizadora tem a função de remover as grades com vasilhames vazios os pallets. O funcionamento é automatizado, necessitando de um operador para alimentar a esteira com auxílio de uma empilhadeira. O equipamento funciona centrando as caixas e empurrando cada camada que é elevada com um elevador hidráulico.

A desencaixotadora tem a função de retirar garrafas das caixas, a partir de tulipas que pressionam as garrafas, a partir de bombas de vácuo, as garrafas são carregadas para uma esteira diferente das caixas.

A lavadora é encarregada por realizar a higienização das garrafas que chegam do mercado. O processo de lavagem necessita quatro fatores importantes: concentração de químicos, ação mecânica, tempo e temperatura. As garrafas passam por um sistema de gotejamento químico, por exemplo, soda cáustica a temperaturas acima de 80 °C, na qual vai diminuindo a concentração até passar a ter um gotejamento de apenas água quente.

O inspetor de garrafas, como o próprio nome diz, inspeciona as garrafas vindas da lavadora para impedir que garrafas inadequadas continuem no processo, gerando risco de estouro, perda de eficiência ou até chegar no mercado com defeitos. A máquina possui sensores de contorno, cor, líquidos residuais (água e soda), parede, trincas e corpos na boca e fundo. Há 3 esteiras de saída possíveis do inspetor: OK, retorno lavadora (parede ou rótulo) e nova seleção (demais fatores).

A enchedora é o equipamento, no qual a garrafa é envasada com a cerveja. Toda a produção e parada é contabilizada a partir dela. O processo de enchimento segue 9 etapas: 1. Flush de CO<sub>2</sub> (objetivo de retirar oxigênio), 2. Pré-evacuação (aspiração do ar da garrafa), 3. Injeção de CO<sub>2</sub> (retirada de vestígios de oxigênio), 4. Evacuação (formação de vácuo na garrafa), 5. Pressurização (Flush de CO<sub>2</sub>, que equaliza pressão da garrafa e cúpula), 6. Enchimento (aba cônica para líquido descer pelas paredes da garrafa, evitando formação de espuma), 7. Estabilização (finalização com toque da cerveja no bico de ar), 8. Fechamento (fechamento da válvula), 9. Despressurização (para que garrafa saia com pressão atmosférica). O CO<sub>2</sub> utilizado no envase é para remoção de oxigênio. Logo em seguida é feito o arrolhamento, com auxílio do HDE, um micro jato para formação de bolhas e expulsar oxigênio logo antes de arrolhar-se. Há um inspetor para verificar garrafas mal cheias e mal arrolhadas.

O pasteurizador objetiva proteger o produto de contaminação microbiológica, por meio da inibição de microrganismos. Desta forma ela estica a validade da cerveja para 6 meses (o chopp não passa pela pasteurização, tendo validade de 10 dias). A pasteurização, portanto, garante estabilidade organoléptica da cerveja. As garrafas de cerveja, carregadas por esteiras, passam por diferentes zonas (cada uma com temperatura diferente) com cascatas de água. A temperatura sobe gradativamente até 60 °C, e depois diminui. Quanto mais tempo de pasteurização, mais protegida a cerveja fica de microrganismos, porém, em compensação, o sabor fica mais alterado.

A rotuladora é o equipamento para inserir rótulos nas garrafas. Os rótulos são fixados por meio de colas. A máquina necessita entregar rótulos bem alinhados, requerendo grande sincronismo. As garrafas entram em um eixo sem fim e por diversos guias e estrelas que direcionam as garrafas de encontro ao cilindro de rótulos que ao aderirem a cola, são fixados nas garrafas, são datados com jateamento de tinta ou a laser. É um inspetor para verificar a qualidade da rotulagem e da codificação.

A encaixotadora funciona de forma inversa à desencaixotadora, pondo as garrafas nas caixas, com o mesmo princípio. Há um inspetor logo após a encaixotadora para verificar se a grade está totalmente preenchida.

A paletizadora também funciona de forma inversa à despaletizadora, colocando as caixas em pallets, carregados por esteiras. Esses são posteriormente carregados ao armazém por empilhadeiras para o armazenamento no armazém.

### **4.3 Etapa 3: Selecionar Área Crítica do Sistema**

Considerando diversas áreas, é necessário definir um sistema analítico e objetivo, tal qual indique qual área é mais crítica para estudo. Para isso, existe o método de seleção multicritério, no qual diversos critérios com grau de importância são definidos por serem inerentes a tomada de decisão. E com isso, a partir de análise quantitativa e qualitativa, cria-se uma classificação das áreas segundo os critérios selecionados. Há diversos métodos diferentes que se adequam a análise multicritério o que pode incluir correlação com outros métodos. Os critérios a serem selecionados serão a segurança do operador, segurança do processo/máquina, segurança do consumidor. O critério de segurança do consumidor, é bastante incomum nas análises industriais, porém é altamente válido, pois como a indústria de estudo se trata da área alimentícia, falhas no processo podem afetar a saúde e a vida do consumidor. Dentre as possíveis escolhas de análise multicritério, o método PROMETHEE foi escolhido para abordagem neste trabalho.

Considerado um elemento importante dentre os métodos baseados na relação de sobreclassificação de valor (Keyser & Peeters, 1994), contando com diversas e importantes aplicações, (Raju & Kumar, 1999; Brans et al., 1998; Babic & Plazibat, 1998) o PROMETHEE é um método de fácil entendimento, de modo que os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm algum significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo analista. O método PROMETHEE, consiste em construir e explorar uma relação de sobreclassificação de valores (Vincke, 1992; Brans & Mareschal, 2002). Os métodos PROMETHEE foram propostos pela primeira vez em 1982 e desde então não cessaram de ser objeto de desenvolvimento e adaptações complementares (Brans & Mareschal, 2002).

Há três grandes etapas, comuns as diferentes consolidações de método PROMETHEE, os quais são responsáveis por relacionar as variáveis e indicar um valor final comparativo para as diferentes variáveis, sejam elas relacionáveis ou irrelacionáveis. As etapas são:

- Graus de Preferência;

- Fluxos Unicritério;
- Fluxos Globais;

Para dar início a análise, é necessário indicar quais variáveis são relevantes para definição da área crítica, na qual segurança é o principal fator a ser analisado, sendo, portanto, definidor das principais variáveis. Vale ressaltar que segurança ao consumidor é algo crítico pois além da ocorrência de segurança, o produto recebe altos danos de mercado, e consequentemente balança a economia da empresa. As variáveis são:

- Possibilidade de gerar explosão;
- Riscos de queimadura;
- Riscos de cortes;
- Riscos de prensagem;
- Risco de contaminação química;
- Frequência de trabalho com químicos;
- Risco de contaminação física;
- Impacto físico ao consumidor;
- Impacto no processo em caso de parada;
- Interface entre operador e máquinas;

Para iniciar o método, é necessário ter um conjunto de valores pré-definidos, contendo o quanto cada área tem de impacto por variável, o que pode variar para cada cervejaria, porém o principal impacto por variável não mudará. Os valores abaixo são considerações do autor deste trabalho, o qual manteve as comparações entre as variáveis dentro da faixa entre zero e um, para a análise comparativa posterior.

Figura 11: Relação entre áreas e variáveis

		Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging
Segurança operacional	Possibilidade de Gerar Explosão	1	0	0	0	1
	Riscos de Queimadura	0	1	0	0	0,6
	Riscos de Corte	0,5	0,1	0,1	0,1	1
	Riscos de Prensagem	1	0,4	0,2	0,2	1
	Frequência de trabalho com químicos	0,2	1	0,6	0,4	0,2
	Interface entre operador de máquina	0,5	0,4	0,2	0,2	1
	Segurança Consumidor	Risco de Contaminação química	0	0,2	1	0,4
	Risco de Contaminação Física	0,2	0,1	0,1	0,1	1
	Impacto físico ao consumidor	0	0,6	0,8	0,2	1
Processo	Impacto no Processo em caso de parada	0,1	0,6	1	0,4	0,6

Fonte: O autor.

Para comparar corretamente itens, foram separados todos em relação com qual tipo de segurança a variável está ligada, seja operacional, do consumidor ou do processo. Cada um analisado separadamente e com um peso referente a seu grau de importância como indicado abaixo:

Quadro 5: Classificação das variáveis

<b>Segurança operacional</b>	<b>Possibilidade de Gerar Explosão</b> <b>Riscos de Queimadura</b> <b>Riscos de Corte</b> <b>Riscos de Prensagem</b> <b>Frequência de trabalho com químicos</b> <b>Interface entre operador de máquina</b>
<b>Segurança Consumidor</b>	<b>Risco de Contaminação química</b> <b>Risco de Contaminação Física</b> <b>Impacto físico ao consumidor</b>
<b>Processo</b>	<b>Impacto no Processo em caso de parada</b>

Fonte: O autor.

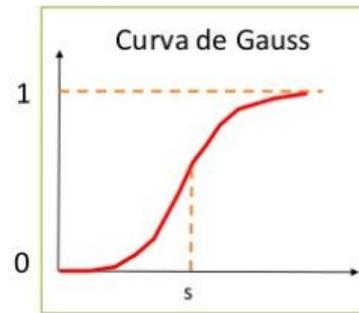
Quadro 6: Pesos dos grupos de variáveis

<b>Segurança Operacional</b>	<b>40%</b>
<b>Segurança Consumidor</b>	<b>40%</b>
<b>Segurança Processo</b>	<b>20%</b>

Fonte: O autor.

Tem-se então que calcular os graus de preferência por variável, comparativamente entre cada par de área. Para ter uma redução de erros na escolha, a função experimental de cálculo de preferência será uma curva gaussiana ao invés da usual curva linear, com o ponto de inflexão centralizado em 0,5 (figura) e sua função é representada abaixo:

Figura 12: Curva e formulação escolhida para o sistema:



$$\pi_{ij}^k = \begin{cases} 1 - \exp\left(\frac{-(f_k(a_i) - f_k(a_j))^2}{2s^2}\right) & \text{Se } f_k(a_i) - f_k(a_j) \geq 0 \\ 0 & \text{De outra forma} \end{cases}$$

Fonte: URIONA, 2017.

Após o cálculo do grau de preferência, deve-se iniciar o cálculo dos fluxos unicritério, os quais são os fluxos positivos e os negativos. Os fluxos positivos são o somatório das linhas da matriz gerada pelos graus de preferência dividido por uma unidade abaixo ao número de áreas. Os fluxos negativos apenas diferem por utilizarem o somatório das colunas da matriz de preferências.

$$\Phi^-(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n \pi_{ji}}{n-1} \quad \Phi^+(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n \pi_{j1}}{n-1}$$

A próxima etapa é o cálculo dos fluxos globais, nos quais são o somatório, para cada área, dos fluxos uni-critério multiplicados por seus respectivos pesos, resultando então nos valores que devem ser analisados e comparados para indicar qual é a área mais crítica.

$$\phi(a) = \sum_{i=1}^k w_i * \phi_i(a)$$

Quadro 7: Pesos parciais por variável

		Peso Parcial	Peso Total
Segurança operacional	Possibilidade de Gerar Explosão	30%	40%
	Riscos de Queimadura	20%	
	Riscos de Corte	15%	
	Riscos de Prensagem	15%	
	Frequência de trabalho com químicos	10%	
	Interface entre operador de máquina	10%	
Segurança Consumidor	Risco de Contaminação química	40%	40%
	Risco de Contaminação Física	20%	
	Impacto físico ao consumidor	30%	
Processo	Impacto no Processo em caso de parada	100%	20%

Fonte: O autor.

Deve-se aplicar o método para as 5 áreas para cada variável diferente a ser analisada, gerando as matrizes abaixo:

Quadro 8: Fluxos para risco de explosão por área

Possibilidade de Gerar Explosão						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0,86	0,86	0,86	0	0,65
Brassagem	0	0	0	0	0	0
Adegas	0	0	0	0	0	0
Filtração	0	0	0	0	0	0
Packaging	0	0,86	0,86	0,86	0	0,65
FN	0	0,43	0,43	0,43	0	
FL	0,65	-0,43	-0,43	-0,43	0,65	

Fonte: O autor.

Quadro 9: Fluxos para risco de queimadura por área

Risco de Queimadura						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0	0	0	0	0
Brassagem	0,86	0	0,86	0,86	0,27	0,72
Adegas	0	0	0	0	0	0
Filtração	0	0	0	0	0	0
Packaging	0,51	0	0,51	0,51	0	0,38
FN	0,34	0	0,34	0,34	0,07	
FL	-0,34	0,72	-0,34	-0,34	0,32	

Fonte: O autor.

Quadro 10: Fluxos para risco de corte por área

Risco de Corte						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0,27	0,27	0,27	0	0,21
Brassagem	0	0	0	0	0	0
Adegas	0	0	0	0	0	0
Filtração	0	0	0	0	0	0
Packaging	0,39	0	0,80	0,80	0	0,50
FN	0,10	0,07	0,27	0,27	0	
FL	0,11	-0,07	-0,27	-0,27	0,50	

Fonte: O autor.

Quadro 21: Fluxos para risco de pensamento por área

Risco de Pensagem						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0,51	0,72	0,72	0	0,49
Brassagem	0	0	0,08	0,08	0	0,04
Adegas	0	0	0	0	0	0
Filtração	0	0	0	0	0	0
Packaging	0	0,51	0,72	0,72	0	0,49
FN	0	0,26	0,38	0,38	0	
FL	0,49	-0,22	-0,38	-0,38	0,49	

Fonte: O autor.

Quadro 32: Fluxos para trabalho com químicos por área

Frequência de Trabalho com químicos						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0	0	0	0	0,00
Brassagem	0,72	0	0,27	0,51	0,72	0,56
Adegas	0,27	0	0	0,08	0,27	0
Filtração	0,08	0	0	0	0,08	0
Packaging	0	0	0	0	0	0,00
FN	0	0,00	0,07	0,15	0	
FL	-0,27	0,56	0,09	-0,11	-0,27	

Fonte: O autor.

Quadro 43: Fluxos para interface homem máquina por área

Interface entre operador e máquina						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0,02	0,16	0,16	0	0,09
Brassagem	0	0	0,08	0,08	0	0,04
Adegas	0	0	0	0	0	0
Filtração	0	0	0	0	0	0
Packaging	0,39	0,51	0,72	0,72	0	0,59
FN	0,10	0,13	0,24	0,24	0	
FL	-0,01	-0,09	-0,24	-0,24	0,59	

Fonte: O autor.

Quadro 54: Fluxos para contaminação química por área

Risco de Contaminação Química						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0	0	0	0	0
Brassagem	0,08	0	0	0	0	0,02
Adegas	0,86	0,72	0	0,51	0,27	0,59
Filtração	0,27	0,08	0	0	0	0,09
Packaging	0,51	0,27	0	0,08	0	0,22
FN	0,43	0,27	0	0,15	0,07	
FL	-0,43	-0,25	0,59	-0,06	0,15	

Fonte: O autor.

Quadro 65: Fluxos para contaminação física por área

Risco de Contaminação Física						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0,02	0,02	0,02	0	0,01
Brassagem	0	0	0	0	0	0
Adegas	0	0	0	0	0	0
Filtração	0	0	0	0	0	0
Packaging	0,72	0,80	0,80	0,80	0	0,78
FN	0,18	0,21	0,21	0,21	0	
FL	-0,17	-0,21	-0,21	-0,21	0,78	

Fonte O autor.

Quadro 76: Fluxo para impacto físico ao consumidor por área

Impacto físico ao consumidor						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0	0	0	0	0,00
Brassagem	0,51	0	0	0,27	0	0,20
Adegas	0,72	0,08	0	0,51	0	0,33
Filtração	0,08	0	0	0	0	0,02
Packaging	0,86	0,27	0,08	0,72	0	0,48
FN	0,54	0,09	0,02	0,38	0,00	
FL	-0,54	0,11	0,31	-0,36	0,48	

Fonte: O autor.

Quadro 87: Fluxos para impacto ao processo por área

Impacto no processo em caso de parada						
	Beneficiamento	Brassagem	Adegas	Filtração	Packaging	FP
Beneficiamento	0	0	0	0	0	0
Brassagem	0,39	0	0	0,08	0	0,12
Adegas	0,80	0,27	0,00	0,51	0,27	0,47
Filtração	0,16	0	0	0	0	0,04
Packaging	0,39	0	0	0,08	0	0,12
FN	0,44	0,07	0	0,17	0,07	
FL	-0,44	0,05	0,47	-0,13	0,05	

Fonte: O autor.

Com o resultado para cara variável de importância e utilizando os pesos pré-apresentados, pode-se calcular os fluxos positivos, fluxos negativos e os fluxos líquidos de cada área. Vale ressaltar, que a área que apresentar o maior fluxo líquido deverá ser definida

como crítica, método de escolha definido como PROMETHEE II, já que o método PROMETHEE I é mais indicado ao ter-se uma preferência entre apenas os fluxos positivos ou apenas os fluxos negativos. Sendo assim, tem-se que a área definida como área crítica é o *packaging*, como indicado na tabela abaixo:

Quadro 98: Resultado dos fluxos globais por área

Fluxos Gobais			
	FP	FN	FL
Recebimento	0,12	0,28	-0,16
Brassagem	0,13	0,16	-0,03
Adegas	0,23	0,15	0,08
Filtração	0,03	0,25	-0,23
Packaging	0,41	0,06	0,35

Fonte: O autor.

Ainda para análise geral, foi utilizado o *software* PROMETHEE versão acadêmica disponibilizada no site oficial da equipe desenvolvedora GAIA. Com o *software*, foram alterados parâmetros, curvas e avaliado diferentes situações, porém o resultado foi tendenciado para o mesmo encontrado pelo método manual. Alguns exemplos de alteração estão presentes nas figuras abaixo.

Figura 13 Dados *software* PROMETHEE com curva gaussiana (ponto inflexão 0,5)

The screenshot shows the 'Preferences' window of the Visual PROMETHEE Academic software. The window title is 'Visual PROMETHEE Academic - unnamed (not saved)'. The menu bar includes File, Edit, Model, Control, PROMETHEE-GAIA, GDSS, GIS, Custom, Assistants, Snapshots, Options, and Help. The toolbar contains various icons for file operations, preferences, and analysis. The main area is a table with columns for different criteria and rows for preference settings. The 'Statistics' and 'Evaluations' sections are expanded.

	Explosão	Queimadura	Corte	Prensamento	Químicos	Interface ho...	Contaminaçã...	Contaminaçã...	Consumidor	Impacto Pro...
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>										
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Statistics</b>										
Minimum	0,00	0,00	0,10	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10
Maximum	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Average	0,40	0,36	0,36	0,56	0,48	0,46	0,44	0,20	0,52	0,54
Standard Dev.	0,49	0,45	0,36	0,29	0,30	0,29	0,34	0,40	0,37	0,29
<b>Evaluations</b>										
Recebimento	1,00	0,00	0,50	1,00	0,20	0,50	0,00	0,00	0,00	0,10
Brassagem	0,00	1,00	0,10	0,40	1,00	0,40	0,20	0,00	0,60	0,60
Adegas	0,00	0,00	0,10	0,80	0,60	0,20	1,00	0,00	0,80	1,00
Filtração	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,20	0,40	0,00	0,20	0,40
Packaging	1,00	0,80	1,00	0,40	0,20	1,00	0,60	1,00	1,00	0,60

Fonte: O autor. (utilizando do *software* PROMETHEE).

Figura 14: Resultado *software* PROMETHEE com curva gaussiana (ponto inflexão 0,5)

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Packaging	0,3558	0,4179	0,0621
2	Adegas	0,0147	0,1809	0,1662
3	Brassagem	-0,0055	0,1617	0,1672
4	Recebimento	-0,1095	0,1398	0,2493
5	Filtração	-0,2555	0,0187	0,2741

Fonte: O autor. (utilizando do *software* PROMETHEE).

Figura 15: Dados *software* PROMETHEE com curva gaussiana (ponto inflexão 1,0)

Visual PROMETHEE Academic - unnamed (not saved)											
File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help											
Explosão Queimadura Corte Prensamento Químicos Interface ho... Contaminaçã... Contaminaçã... Consumidor Impacto Pro...											
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>											
Min/Max	max	max									
Weight	1,20	0,80	0,60	0,60	0,40	0,40	1,60	0,80	1,20	2,00	
Preference Fn.	Gaussian										
Thresholds	absolute										
- Q: Indifference	n/a										
- P: Preference	n/a										
- S: Gaussian	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
<b>Statistics</b>											
Minimum	0,00	0,00	0,10	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	
Maximum	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Average	0,40	0,36	0,36	0,56	0,48	0,46	0,44	0,20	0,52	0,54	
Standard Dev.	0,49	0,45	0,36	0,29	0,30	0,29	0,34	0,40	0,37	0,29	
<b>Evaluations</b>											
Recebimento	1,00	0,00	0,50	1,00	0,20	0,50	0,00	0,00	0,00	0,10	
Brassagem	0,00	1,00	0,10	0,40	1,00	0,40	0,20	0,00	0,60	0,60	
Adegas	0,00	0,00	0,10	0,80	0,60	0,20	1,00	0,00	0,80	1,00	
Filtração	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,20	0,40	0,00	0,20	0,40	
Packaging	1,00	0,80	1,00	0,40	0,20	1,00	0,60	1,00	1,00	0,60	

Fonte: O autor. (utilizando do *software* PROMETHEE).

Figura 16: Resultados *software* PROMETHEE com curva gaussiana (ponto inflexão 1,0)

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Packaging	<input type="checkbox"/>	0,0186	0,0204	0,0018
2	Adegas	<input type="checkbox"/>	0,0039	0,0117	0,0078
3	Brassagem	<input type="checkbox"/>	-0,0024	0,0064	0,0087
4	Recebimento	<input type="checkbox"/>	-0,0080	0,0068	0,0148
5	Filtração	<input type="checkbox"/>	-0,0121	0,0008	0,0129

Fonte: O autor. (utilizando do *software* PROMETHEE)

Figura 17: Dados *software* PROMETHEE com curva linear

Visual PROMETHEE Academic - unnamed (not saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GJS Custom Assistants Snapshots Options Help

	<input checked="" type="checkbox"/>										
<b>gauss com pesos</b>	Explosão	Queimadura	Corte	Prensamento	Químicos	Interface ho...	Contaminaçã...	Contaminaçã...	Consumidor	Impacto Pro...	
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
<b>Preferences</b>											
Min/Max	max										
Weight	1,20	0,80	0,60	0,60	0,40	0,40	1,60	0,80	1,20	2,00	
Preference Fn.	Linear										
Thresholds	absolute										
-Q: Indifference	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-P: Preference	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
-S: Gaussian	n/a										
<b>Statistics</b>											
Minimum	0,00	0,00	0,10	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	
Maximum	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Average	0,40	0,36	0,36	0,56	0,48	0,46	0,44	0,20	0,52	0,54	
Standard Dev.	0,49	0,45	0,36	0,29	0,30	0,29	0,34	0,40	0,37	0,29	
<b>Evaluations</b>											
<input checked="" type="checkbox"/> Recebimento	<input type="checkbox"/>	1,00	0,00	0,50	1,00	0,20	0,50	0,00	0,00	0,00	0,10
<input checked="" type="checkbox"/> Brassagem	<input type="checkbox"/>	0,00	1,00	0,10	0,40	1,00	0,40	0,20	0,00	0,60	0,60
<input checked="" type="checkbox"/> Adegas	<input type="checkbox"/>	0,00	0,00	0,10	0,80	0,60	0,20	1,00	0,00	0,80	1,00
<input checked="" type="checkbox"/> Filtração	<input type="checkbox"/>	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,20	0,40	0,00	0,20	0,40
<input checked="" type="checkbox"/> Packaging	<input type="checkbox"/>	1,00	0,80	1,00	0,40	0,20	1,00	0,60	1,00	1,00	0,60

Fonte: O autor. (utilizando do *software* PROMETHEE)

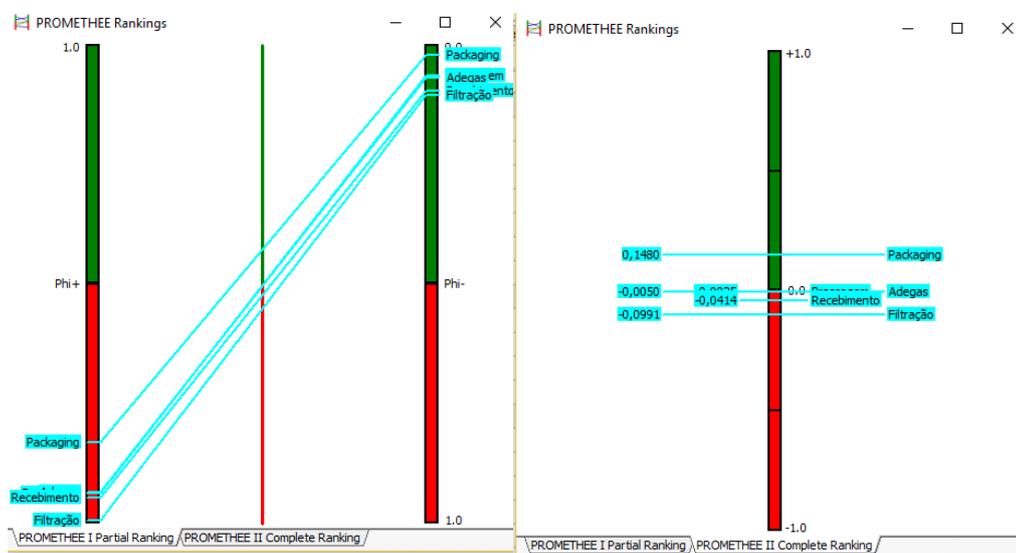
Figura 18: Resultados *software* PROMETHEE com curva linear

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Packaging		0,3979	0,4698	0,0719
2	Adegas		0,1505	0,3187	0,1682
3	Brassagem		-0,0474	0,1771	0,2245
4	Recebimento		-0,2193	0,1542	0,3734
5	Filtração		-0,2818	0,0510	0,3328

Fonte: O autor. (utilizando do *software* PROMETHEE)

Ainda utilizando dos resultados do software, foram comparados os métodos I e II da análise PROMETHEE, no qual há diferença nos resultados secundários, porém no resultado principal, os dois métodos indicam o mesmo, como mostrado nas figuras abaixo.

Figura 19: Resultados nos métodos PROMETHEE I e II para comparação



Fonte: O autor. (utilizando do *software* PROMETHEE)

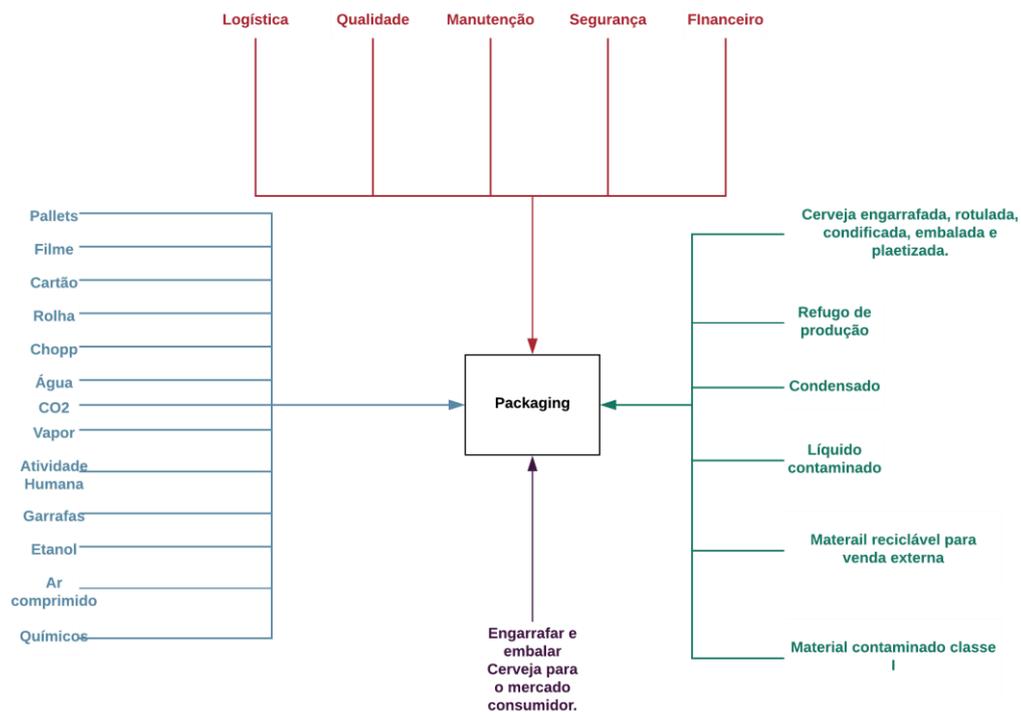
#### 4.4 Etapa 4: Diretrizes para seleção de equipamentos críticos

Tendo por definido o *packaging* como principal área a ser analisada, tem-se duas vias, a seleção dos equipamentos mais críticos avaliando pelo método multicritério de forma

análoga a seleção da área crítica, avaliação de um FMEA e uma análise de matriz do risco da área, alocando corretamente as potencialidades de falha e consequência.

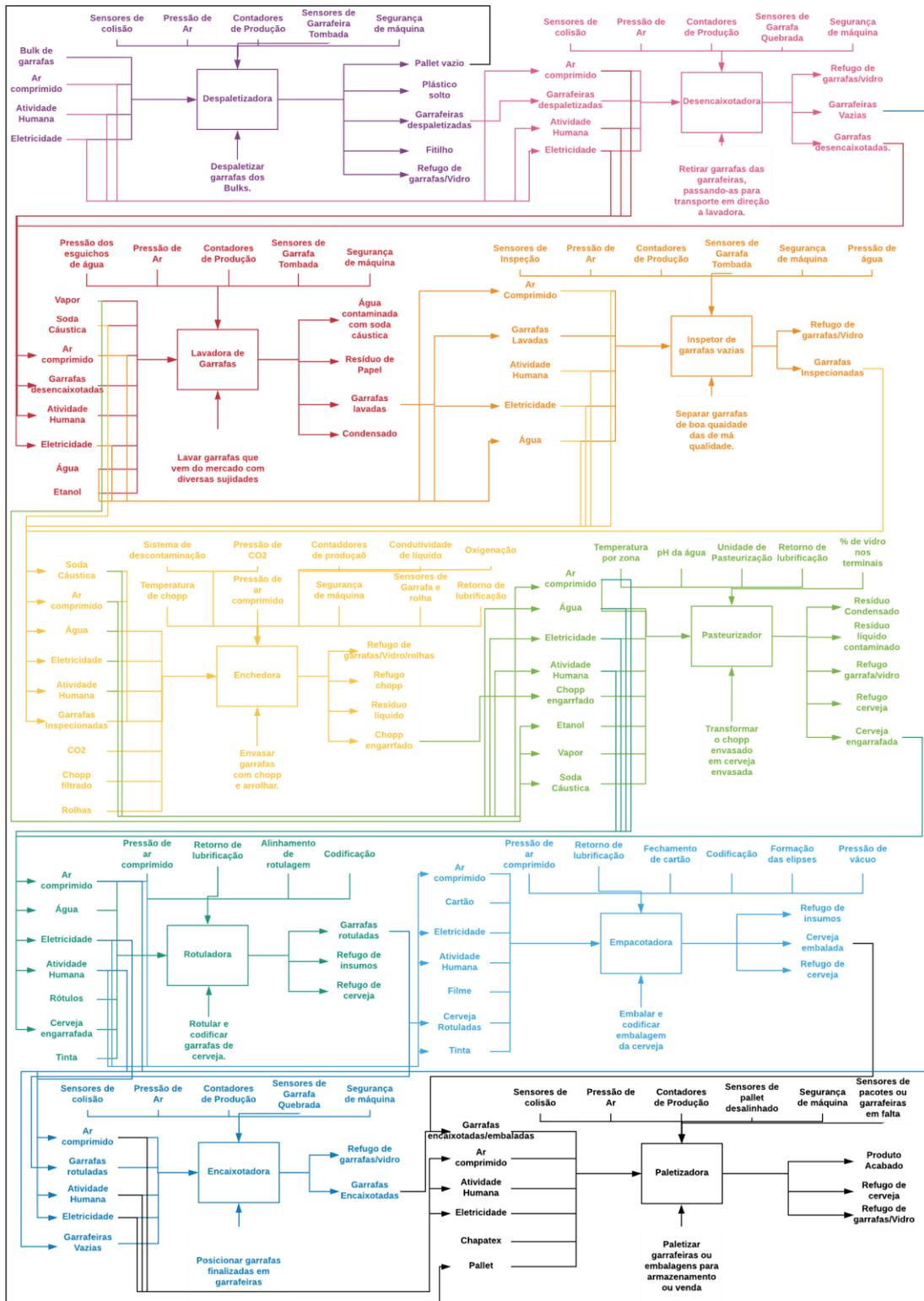
Reavaliando o *packaging* como área, devemos avaliar como é seu processo, avaliando suas entradas, controles e saídas de forma simplificada (figura 20) e por trecho (figura 21), avaliando cada equipamento para entender melhor como o sistema avaliado funciona.

Figura 20: Diagrama de blocos simplificado da área crítica



Fonte: O autor.

Figura 21: Diagrama de blocos expandido da área crítica



Fonte: O autor.

Utilizando-se das mesmas variáveis que foram critérios de seleção da área crítica em quesitos referentes a segurança, pode-se avaliar e indicar quais os 20% dos equipamentos são mais críticos. A relação entre variáveis e equipamentos está indicada abaixo, além das matrizes de análise do método PROMETHEE:

Quadro 19: Relação entre equipamentos e variáveis

		Despaletrizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora
Segurança operacional	Possibilidade de Gerar Explosão	0	0	1	0	0,1	0,3	0,1	0,2
	Riscos de Queimadura	0	0	1	0	0,2	0,9	0,2	0,3
	Riscos de Corte	0,8	1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,4	0,4
	Riscos de Prensagem	1	1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,6	0,5
	Frequência de trabalho com químicos	0	0	1	0	0,8	0,6	0,1	0
	Interface entre operador de máquina	0,8	0,8	0,2	0,3	0,2	0,1	1	0,6
Segurança Consumidor	Risco de Contaminação química	0	0	1	1	0,4	0,2	0	0
	Risco de Contaminação Física	0,2	0,2	0,1	1	0,4	0	0	0
	Impacto físico ao consumidor	0	0	0,2	1	0,2	1	0	0
Processo	Impacto no Processo em caso de parada	0,1	0,1	0,5	0,2	1	1	0,8	0,4

Fonte: O autor.

De forma análoga, serão calculados os fluxos positivos, negativos e globais para cada uma das variáveis a serem analisadas.

Quadro: Fluxos para risco de explosão por equipamento

Possibilidade de Gerar Explosão									
	Despaletrizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletrizadora / Paletizadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lavadora	0,86	0,86	0	0,86	0,80	0,62	0,80	0,72	0,69
Inspetores	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enchedora	0,02	0,02	0	0,02	0	0	0	0	0,01
Pasteurizador	0,16	0,16	0	0,16	0,08	0	0,08	0,02	0,08
Rotuladora	0,02	0,02	0	0,02	0	0	0	0	0,01
Empacotadora	0,08	0,08	0	0,08	0,02	0	0,02	0	0,03
FN	0,14	0,14	0	0,14	0,11	0,08	0,11	0,09	
FL	-0,14	-0,14	0,69	-0,14	-0,10	0,01	-0,10	-0,06	

Fonte: O autor.

Quadro 101: Fluxos para risco de queimadura por equipamento

Risco de Queimadura									
	Despaletrizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletrizadora / Paletizadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lavadora	0,86	0,86	0	0,86	0,72	0,02	0,72	0,62	0,59
Inspetores	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enchedora	0,08	0,08	0	0,08	0	0	0	0	0,03
Pasteurizador	0,80	0,80	0	0,80	0,62	0	0,62	0,51	0,52
Rotuladora	0,08	0,08	0	0,08	0	0	0	0	0,03
Empacotadora	0,16	0,16	0	0,16	0,02	0	0,02	0	0,07
FN	0,25	0,25	0	0,25	0,17	0	0,17	0,14	
FL	-0,25	-0,25	0,59	-0,25	-0,14	0,52	-0,14	-0,08	

Fonte: O autor.

Quadro 112: Fluxos para risco de corte por equipamento

Risco de Corte									
	Despaletizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletizadora / Paletizadora	0	0	0,62	0,16	0,62	0,62	0,27	0,27	0,32
Desencaixotadora / Encaixotadora	0,08	0	0,80	0,39	0,80	0,80	0,51	0,51	0,49
Lavadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inspetores	0	0	0,27	0	0,27	0,27	0,02	0,02	0,11
Enchedora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pasteurizador	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotuladora	0	0	0,16	0	0,16	0,16	0	0	0,06
Empacotadora	0	0	0,16	0	0,16	0,16	0	0	0,06
FN	0,01	0	0,25	0,07	0,25	0,25	0,10	0,10	
FL	0,31	0,49	-0,25	0,04	-0,25	-0,25	-0,04	-0,04	

Fonte: O autor.

Quadro 123: Fluxos para risco de prensamento por equipamento

Risco de Prensagem									
	Despaletizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletizadora / Paletizadora	0	0	0,72	0,80	0,80	0,80	0,27	0,39	0,47
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0,72	0,80	0,80	0,80	0,27	0,39	0,47
Lavadora	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0	0	0,01
Inspetores	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enchedora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pasteurizador	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotuladora	0	0	0,27	0,39	0,39	0,39	0	0,02	0,18
Empacotadora	0	0	0,16	0,27	0,27	0,27	0	0	0,12
FN	0	0	0,24	0,29	0,29	0,29	0,07	0,10	
FL	0,47	0,47	-0,23	-0,29	-0,29	-0,29	0,12	0,02	

Fonte: O autor.

Quadro 134: Fluxos para trabalhos com químicos por equipamento

Frequência de Trabalho com químicos									
	Despaletizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletizadora / Paletizadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lavadora	0,86	0,86	0	0,86	0,08	0,27	0,80	0,86	0,58
Inspetores	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enchedora	0,72	0,72	0	0,72	0	0,08	0,62	0,72	0,45
Pasteurizador	0,51	0,51	0	0,51	0	0	0,39	0,51	0,31
Rotuladora	0,02	0,02	0	0,02	0	0	0	0,02	0,01
Empacotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FN	0,26	0,26	0	0,26	0,01	0,04	0,23	0,26	
FL	-0,26	-0,26	0,58	-0,26	0,44	0,26	-0,22	-0,26	

Fonte: O autor.

Quadro 25: Fluxos para interface homem máquina por equipamento

Interface entre operador e máquina									
	Despaletizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletizadora / Paletizadora	0	0	0,51	0,39	0,51	0,62	0	0,08	0,27
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0,51	0,39	0,51	0,62	0	0,08	0,27
Lavadora	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0
Inspetores	0	0	0,02	0	0,02	0,08	0	0	0,01
Enchedora	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0
Pasteurizador	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotuladora	0,08	0,08	0,72	0,62	0,72	0,80	0	0,27	0,41
Empacotadora	0	0	0,27	0,16	0,27	0,39	0	0	0,14
FN	0,01	0,01	0,26	0,20	0,26	0,32	0	0,05	
FL	0,26	0,26	-0,25	-0,18	-0,25	-0,32	0,41	0,08	

Fonte: O autor.

Quadro 146: Fluxos para risco de contaminação química por equipamento

Risco de Contaminação Química									
	Despaletizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletizadora / Paletizadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lavadora	0,86	0,86	0	0	0,51	0,72	0,86	0,86	0,59
Inspetores	0,86	0,86	0	0	0,51	0,72	0,86	0,86	0,59
Enchedora	0,27	0,27	0	0	0	0,08	0,27	0,27	0,15
Pasteurizador	0,08	0,08	0	0	0	0	0,08	0,08	0,04
Rotuladora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empacotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FN	0,26	0,26	0	0	0,13	0,19	0,26	0,26	
FL	-0,26	-0,26	0,59	0,59	0,02	-0,15	-0,26	-0,26	

Fonte: O autor.

Quadro 157: Fluxos para risco de contaminação física por equipamento

Risco de Contaminação Física									
	Despaletizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletizadora / Paletizadora	0	0	0,02	0	0	0,08	0,08	0,08	0,03
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0,02	0	0	0,08	0,08	0,08	0,03
Lavadora	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,01
Inspetores	0,72	0,72	0,80	0	0,51	0,86	0,86	0,86	0,67
Enchedora	0,08	0,08	0,16	0	0	0,27	0,27	0,27	0,14
Pasteurizador	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotuladora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empacotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FN	0,10	0,10	0,13	0	0,06	0,16	0,16	0,16	
FL	-0,07	-0,07	-0,12	0,67	0,08	-0,16	-0,16	-0,16	

Fonte: O autor.

Quadro 28: Fluxos para impacto físico ao consumidor por equipamento

Impacto físico ao consumidor									
	Despaletizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletizadora / Paletizadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lavadora	0,08	0,08	0	0	0	0	0,08	0,08	0,04
Inspetores	0,86	0,86	0,72	0	0,72	0	0,86	0,86	0,61
Enchedora	0,08	0,08	0	0	0	0	0,08	0,08	0,04
Pasteurizador	0,86	0,86	0,72	0	0,72	0	0,86	0,86	0,61
Rotuladora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empacotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FN	0,24	0,24	0,18	0	0,18	0,00	0,24	0,24	
FL	-0,24	-0,24	-0,14	0,61	-0,14	0,61	-0,24	-0,24	

Fonte: O autor.

Quadro 29: Fluxos para impacto no processo por equipamento

Impacto no processo em caso de parada									
	Despaletizadora / Paletizadora	Desencaixotadora / Encaixotadora	Lavadora	Inspetores	Enchedora	Pasteurizador	Rotuladora	Empacotadora	FP
Despaletizadora / Paletizadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desencaixotadora / Encaixotadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lavadora	0,27	0,27	0	0,16	0	0	0	0,02	0,09
Inspetores	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0
Enchedora	0,80	0,80	0,39	0,72	0	0	0,08	0,51	0,41
Pasteurizador	0,80	0,80	0,39	0,72	0	0	0,08	0,51	0,41
Rotuladora	0,62	0,62	0,16	0,51	0	0	0	0,27	0,28
Empacotadora	0,16	0,16	0	0,08	0	0	0	0	0,05
FN	0,34	0,34	0,12	0,27	0	0	0,02	0,17	
FL	-0,34	-0,34	-0,03	-0,27	0,41	0,41	0,26	-0,11	

Fonte: O autor.

Com isso teremos a tabela de fluxos dos equipamentos da área:

Quadro 160: Resultado dos fluxos por área

Fluxos Gobais			
	FP	FN	FL
Despaletizadora / Paletizadora	0,06	0,19	-0,13
Desencaixotadora / Encaixotadora	0,07	0,19	-0,12
<b>Lavadora</b>	<b>0,27</b>	<b>0,10</b>	<b>0,18</b>
<b>Inspetores</b>	<b>0,23</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>
Enchedora	0,14	0,12	0,03
<b>Pasteurizador</b>	<b>0,23</b>	<b>0,10</b>	<b>0,13</b>
Rotuladora	0,09	0,13	-0,04
Empacotadora	0,04	0,16	-0,13

Fonte: O autor.

Com isso, deve-se escolher os 20% mais críticos, no caso dois equipamentos, porém, devido à proximidade dos valores entre o segundo e terceiro equipamento e a discrepância entre os outros, a análise levará em conta os três equipamentos mais críticos, os quais foram a lavadora, os inspetores de garrafa e o pasteurizador.

#### 4.5 Etapa 5: Analisar modos de falhas dos equipamentos

O desenvolvimento de uma FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) constitui o primeiro passo de uma análise confiabilidade. Este processo envolve a revisão de componentes, subsistemas e sistemas para a identificação de modos de falhas, suas causas e seus efeitos. A FMEA tem por objetivo identificar, delimitar e descrever as possíveis falhas (modos de falha) geradas pelo processo e avaliar os efeitos para o processo, para através de ações de prevenção poder diminuí-los ou eliminá-los. O modo de falha está relacionado ao fato de como um processo pode ser levado a operar de maneira deficiente, é a manifestação da falha vista externamente ao componente, e é composto por dois elementos: consequência e causa.

Para cada componente, os modos de falha, as suas causas e suas consequências foram registradas em uma planilha FMEA. Para isso é necessário conhecer as funções do sistema e de cada equipamento, além das restrições sob as quais deve operar. Seguindo com a teoria de Koppen, G. (1998), a análise de confiabilidade será apenas adequada aos 20% dos equipamentos, definido por critério de criticidade. Ao avaliar cada equipamento crítico

definidos anteriormente, foram levantadas as seguintes FMECA's, método simplificado do FMEA, para a lavadora, pasteurizador e inspetor de garrafas.

Quadro 171: FMECA lavadora

FMECA Lavadora						
Função	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Tipo de Consequência	Consequência da Falha
Lavar garrafas que foram devolvidas do mercado para reutilização no envase de cerveja;	Esguichos	Realizar limpeza da garrafa retirando resíduos após limpeza química	Garrafas passarem sem serem jateadas com água no início / final de processo de lavagem	1) Entupimento do esguicho; 2) Empeno do bico;	1) Contaminação dos tanques de soda cáustica; 2) Garrafas com resíduo de soda cáustica saindo do equipamento;	1) redução da eficiência de lavagem de garrafas; 2) Em caso de continuação da cerveja, acidente com consumidores do produto; 3) Entupimento das válvulas do tanque;
	Tanques de Soda Cáustica	Armazenar a soda na qual permite o transporte de garrafas passar para realização da limpeza química	1) Garrafas saírem do equipamento sem a retirada total dos resíduos; 2) Estouro das comportas;	1) Tanque contaminado; 2) Tanque com concentração errada; 3) Excesso de pressão e temperatura no tanque;	1) Redução na eficiência de lavagem; 2) Vazamento de produto químico;	1) Garrafas contaminadas; 2) Acidente de trabalho com potencial de fatalidade;
	Tanques de Água	Recondicionar água para recuperação das garrafas e regulagem de temperatura.	1) Garrafas saírem do equipamento sem a retirada total dos resíduos; 2) Estouro das comportas;	1) Tanque contaminado; 2) Excesso de pressão e temperatura no tanque;	1) Redução na eficiência de lavagem; 2) Vazamento de produto água quente;	1) Garrafas contaminadas; 2) Acidente de trabalho com potencial de fatalidade;
	Capsulas de garrafa	Transportar a garrafa pelo equipamento passando por todas as etapas de lavagem	Queda de garrafas;	Capsulador fisicamente danificado;	1) Redução de eficiência de produção e custo; 2) Quebra de garrafas;	1) Perda de rendimento de produção; 2) Corte de funcionário devido a cacos de vidro; 3) Contaminação física de outras garrafas;
	Virador de garrafas	Entregar garrafas do transporte para as capsulas do equipamento e de retirar garrafas das pasulas para o transporte.	Queda de garrafas;	Virador fisicamente danificado;	1) Redução de eficiência de produção e custo; 2) Quebra de garrafas;	1) Perda de rendimento de produção; 2) Corte de funcionário devido a cacos de vidro; 3) Contaminação física de outras garrafas;
	Coletor de resíduos	Armazenar resíduos que estavam dentro das garrafas.	Transbordo do coletor	1) Falha na execução de limpeza do coletor; 2) Coletor com vazamento;	Contaminação dos tanques de soda cáustica e água;	1) redução da eficiência de lavagem de garrafas; 2) Em caso de continuação da cerveja, acidente com consumidores do produto; 3) Entupimento das válvulas do tanque;
	Conformador de papel	Recolher resíduos de papel referente aos rótulos após lavagem de garrafas	Transbordo do conformador;	1) Falha na execução de limpeza do conformador; 2) Conformador com vazamento;	Contaminação dos tanques de soda cáustica e água;	1) redução da eficiência de lavagem de garrafas; 2) Em caso de continuação da cerveja, acidente com consumidores do produto;
	Peneiras	Retirar resíduos após lavagem inicial das garrafas com água	1) Falta de reaproveitamento de água; 2) Contaminação dos tanques de água;	1) Falha na execução de limpeza das peneiras; 2) Peneiras quebradas;	1) Consumo excessivo de água; 2) Contaminação do tanque de água;	1) Excesso de efluente gerado, risco de acidente ambiental; 2) redução da eficiência de lavagem de garrafas;
	Sensores de nível / temperatura / pressão	Garantir que o funcionamento do equipamento apenas ocorra nas condições de trabalho.	Falta de controle de parâmetros de trabalho do equipamento;	1) Sensor danificado; 2) Sensor com sujidades; 3) Sinal de encoder em falha; 4) Comunicação eletrônica ineficiente;	1) Transbordo dos tanques; 2) Explosão / implosão dos tanques;	1) Acidente com potencial fatalidade; 2) Perda de eficiência no processo; 3) Perda de energia armazenada no processo;
	Válvulas moduladoras	Corrigir parâmetros de temperatura, pressão e nível no equipamento	Variação nos parâmetros de trabalho do equipamento;	1) Diafragma danificado; 2) molas danificadas; 3) Zeramento físico e eletrônico divergindo;	1) Transbordo dos tanques; 2) Explosão / implosão dos tanques;	1) Acidente com potencial fatalidade; 2) Perda de eficiência no processo; 3) Perda de energia armazenada no processo;

Fonte: O autor.

Quadro 182: FMECA pasteurizador

FMECA Pasteurizador						
Função	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Tipo de Consequência	Consequência da Falha
Eliminar microorganismos presente no chopp, transformado-o em cerveja, utilizando curvas de temperatura.	Bicos de água	Jatear água quente para as garrafas	Não suprir água quente suficiente	Entupimento dos bicos	1) Cerveja contaminada; 2) Explosão de garrafas;	1) Infecção microbiológica no consumidor; 2) redução da validade do produto; 3) redução na qualidade dos sabores do produto; 4) Incidente ou acidente devido a corte;
	Malha de transporte	Transportar garrafas	1) Derrubar garrafas; 2) Erro nos tempos de pasteurização	1) Malha Rasgada; 2) Torque de corrente alto; 3) Excesso de vidro na malha e nos bandejamentos; 4) Velocidade de malha alterada;	1) Garrafas danificadas; 2) Excesso de paradas de produção; 3) Cerveja contaminada; 4) Montagem incorreta após manutenção;	1) Infecção microbiológica no consumidor; 2) redução da validade do produto; 3) redução na qualidade dos sabores do produto; 4) Perda de insumos e eficiência de produção;
	Trocador de calor	Aquecer água utilizando vapor;	1) Troca de calor ineficiente; 2) Falha na despressurização de vapor em caso de parada de máquina;	1) Pressão de vapor insuficiente; 2) Corrosão das tubulações de troca térmica; 3) Falha nas válvulas de alívio de pressão;	1) Cerveja contaminada; 2) Explosão do equipamento;	1) Infecção microbiológica no consumidor; 2) redução da validade do produto; 3) redução na qualidade dos sabores do produto; 4) Queimaduras; 5) Morte;
	Tanque de Soda cáustica	Armazenar e fornecer soda cáustica para limpeza das tubulações de água e dos bicos;	1) Excesso de nível; 2) Soda com alta concentração; 3) Desregulagem de pH da água no equipamento;	1) Falha na dosagem de soda do tanque; 2) sensor de nível em falha; 3) Erro na modulação de correção de pH;	1) Vazamento de soda; 2) espuma com resíduo de soda ao redor da máquina; 3) Oxidação excessiva de rolhas;	1) Morte; 2) Queimaduras; 3) Produto com má qualidade para os consumidores;
	Tubulações de água	Fornecer água a diferentes pontos das máquina;	1) Despressurização de água; 2) falta de água no sistema;	1) Falha no controle de válvulas; 2) Golpes na tubulação;	1) Cavitação de bomba; 2) Vazamento de água; 3) Falha na curva de temperatura do produto;	1) Quebra de bombas; 2) Desperdício de água; 3) condição insegura de piso molhado; 4) Infecção microbiológica no consumidor; 5) redução na qualidade dos sabores do produto; 6) redução na qualidade dos sabores do produto;
	Tanque de água quente	Armazenar e fornecer água quente para tubulações de água e dos bicos;	1) Excesso de nível; 2) Fata de água quente para manutenção do equilíbrio térmico das zonas;	1) sensor de nível em falha; 2) Falha no controle de válvulas; 3) Falta de vapor;	1) Vazamento de água; 2) Falha na curva de temperatura do produto;	1) Infecção microbiológica no consumidor; 2) redução da validade do produto; 3) redução na qualidade dos sabores do produto; 4) Deperdício de água; 5) Condição insegura por piso molhado;
	tubulações de vapor	Fornecer vapor para trocas de calor no equipamento;	1) Despressurização de água; 2) falta de água quente no sistema;	1) Falha no controle de válvulas; 2) Falha no trocador de calor;	1) Cavitação de bomba; 2) Vazamento de vapor; 3) Falha na curva de temperatura do produto;	1) Infecção microbiológica no consumidor; 2) redução da validade do produto; 3) redução na qualidade dos sabores do produto; 4) Queimadura; 5) Condição insegura por piso molhado;
	Bombas	Direcionar fluidos para diferentes áreas do equipamento;	1) Cavitação; 2) Falta de pressão fluida na tubulação;	1) entrada de ar na bomba; 2) quebra de paletas; 3) Filtro entupido;	1) Quebra de equipamento; 2) Perda de troca térmica da água; 3) Montagem incorreta após manutenção;	1) Infecção microbiológica no consumidor; 2) redução da validade do produto; 3) redução na qualidade dos sabores do produto; 4) Perda de eficiência de produção;
	portas e sensores de proteção	Proteger funcionário da área de risco de explosão de garrafas;	1) Intertravamento de segurança em falha; 2) Passagem de vidro para área de operação;	1) Sensor fora de foco; 2) sujeira no espelho refletor; 3) vidro obstruindo sinal de sensor; 4) barreira física quebrada;	1) Condição de equipamento em funcionamento em contato com funcionário; 2) Montagem incorreta após manutenção;	1) Corte; 2) Excesso de vidro em posto operário;
	Torre de resfriamento	Resfriar água para regulação de temperatura das zonas de pasteurização;	1) Troca de calor ineficiente;	1) Desgaste mecânico de colmeia de separação de água; 2) falha na ventilação; 3) falha na troca térmica com álcool; 4) Desgastes nas chapas de trocas térmicas;	1) Perda de troca térmica da água;	1) Infecção microbiológica no consumidor; 2) redução da validade do produto; 3) redução na qualidade dos sabores do produto;
	Central de Lubrificação	Armazenar e dosar lubrificantes para diferentes pontos de mancal, rolamentos e correntes do equipamento;	1) Lubrificação ineficiente dos itens de desgaste;	1) Entupimento; 2) ponto de lubrificação danificado; 3) Lubrificante contaminado;	1) Aceleração de quebra de itens de desgaste trabalhando a seco;	1) Perda de eficiência de produção;

Fonte: O autor.

Quadro 193: FMECA inspetor de garrafas

## FMEA INSPETOR DE GARRAFAS

Função	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Tipo de Consequência	Consequência da Falha
Checar se a garrafa esteja em plena condição de uso, segregando as que estiverem mal condicionadas.	Câmeras	Indicar imagens para inspeções de condições do corpo, boca, base, constituições físicas da garrafa.	1) imagens com anomalias repetidas; 2) Imagens escuras/falta de imagens;	1) Sujidade nas lentes; 2) Conector danificado / desconectado;	Produção - Perca de garrafas boas no processo;	Excesso de perda de processo ou de retrabalho de garrafas em linha;
	Sensores indutivos de check líquido	Indicar se há algum líquido ou corpo dentro da garrafa.	1) Leitura de dados errada;	1) sujidade nos espelhos refletores; 2) sensor fora de foco; 3) cabo de sensor danificado	1) Garrafas contaminadas passarem para o consumidor; 2) Perca de garrafas boas no processo gerando retrabalho;	1) Contaminação do consumidor, podendo gerar lesões ou morte; 2) Excesso de perda de processo ou de retrabalho de garrafas em linha.
	Sistema de inspeções	Programa do equipamento responsável por toda a avaliação dos dados obtidos por sensores ou câmeras.	1) Falta de reconhecimento de imagem; 2) processamento sem sinal;	1) Sistema corrompido; 2) Variações no canal de inspeção; 3) Falha de comunicação entre programa e processadores;	1) Garrafas contaminadas no produto acabado; 2) Garrafas fragilizadas no produto acabado; 3) Garrafas fragilizadas durante processo produtivo;	1) Contaminação do consumidor, podendo gerar lesões ou morte; 2) Possível quebra de garrafas nos cestros de venda ou consumidor; 3) Explosão de garrafas no processo de enchimento ou pasteurização, expondo funcionários ao risco;
	Sensores e encoders de transporte	Indicar presença e posicionamento das garrafas	1) Leitura de dados errada;	1) sujidade ou vidro nos espelhos refletores; 2) sensor fora de foco; 3) cabo de sensor danificado	1) Perda de garrafas no processo; 2) Garrafas contaminadas ou danificadas durante processo e no produto acabado;	1) Contaminação do consumidor, podendo gerar lesões ou morte; 2) Possível quebra de garrafas nos cestros de venda ou consumidor; 3) Explosão de garrafas no processo de enchimento ou pasteurização, expondo funcionários ao risco;
	Placas de vidro	proteger sensores e câmeras de qualquer contato com garrafas	1) imagens com anomalias repetidas; 2) Quebra das placas;	1) excesso de riscos pelo contato com as garrafas; 2) Choque entre garrafas;	1) Perda de garrafas no processo; 2) Corte;	1) Excesso de perda de processo ou de retrabalho de garrafas em linha. 2) Possível ocorrência de um acidente por corte;
	Esteira	transportar garrafas pelo equipamento	1) Quebra de garrafas; 2) Expulsão de garrafas erradas;	1) Desgaste da esteira 2) Desgaste de engrenagem; 3) Falha na lubrificação; 4) Montagem incorreta após manutenção;	1) Perda de garrafas no processo; 2) Garrafas contaminadas ou danificadas durante processo e no produto acabado; 3) Quebra das chapas de vidro - Corte	1) Excesso de perda de processo ou de retrabalho de garrafas e linha; 2) Explosão de garrafas no processo de enchimento ou pasteurização, expondo funcionários ao risco; 3) Contaminação do consumidor, podendo gerar lesões ou morte; 4) Possível ocorrência de um acidente por corte;
	pusher/empurrador	expulsar garrafas danificadas	1) Quebra de garrafas; 2) Expulsão de garrafas erradas;	1) Falha de comunicação; 2) desgaste na haste; 3) Falha de pressurização de pistão;	1) Perda de garrafas no processo; 2) Garrafas contaminadas ou danificadas durante processo e no produto acabado; 3) Quebra das chapas de vidro - Corte	1) Excesso de perda de processo ou de retrabalho de garrafas e linha; 2) Explosão de garrafas no processo de enchimento ou pasteurização, expondo funcionários ao risco; 3) Contaminação do consumidor, podendo gerar lesões ou morte; 4) Possível ocorrência de um acidente por corte;

Fonte: O autor.

## 4.6 Etapa 6: Matriz do risco (potenciais de falha e consequência)

Com intuito de classificar o risco inerente a alguma manutenção, torna-se necessário classifica-lo de acordo com a situação e análise realizada no equipamento, para isso, é necessário entender suas falhas e suas consequências, montando uma matriz do risco.

### 4.6.1 Potencialidade de Falha

Conhecendo as falhas, suas causas e efeitos, é possível partir para o próximo passo, no qual é realizada a análise de potencialidade de falha. Avaliando os modos de falha de cada

equipamento, torna-se necessário padronizar as potenciais falhas em geral e suas causas. Entre elas, temos corrosão interna, travamento mecânico, fadiga térmica.

#### 4.6.1.1 Corrosão interna

Ao tratar com corrosão interna, inspeciona-se chapas e juntas soldadas através de inspeção visual e medição de espessura. Além disso, também é indicado realizar o ensaio de vazamento de fluxo magnético “Magnetic Flux Leakage” em todas as chapas de fundo e tubulações. Os pontos de medição devem ser escolhidos de preferência em pontos de conhecimento prévio de acúmulo de resíduos fluidos, além de juntas ou conexões. Caso seja constatado baixa espessura ou alta taxa de corrosão, deve-se ser atuado emergencialmente. Para tanques há o indicativo de inspeção a cada cinco anos, para tubulação a inspeção é indicada uma frequência reduzida de um a dois anos.

Quadro 204: Potencial de falha para corrosão interna

<b>Corrosão Interna</b>			
<b>Potencial de Falha</b>	<b>Potencial</b>	<b>Perda de espessura</b>	<b>Medidas a serem tomadas</b>
<b>A</b>	<b>Alto</b>	<b>&gt;50%</b>	Recomenda-se que seja realizada correlação, por amostragem, com ensaio de medição de espessura por ultrassom ou remoção de discos da região. Caso mais de 50% da área tenha esse nível de redução, efetuar troca total do subconjunto.
<b>B</b>	<b>Médio</b>	<b>Entre 20% e 50%</b>	Preparar material para futura troca de subconjunto, facilitando atuação emergencial se necessário. Avaliar velocidade de degradação do subconjunto.
<b>C</b>	<b>Baixo</b>	<b>&lt;20%</b>	Manter em funcionamento normalizado.

Fonte: O autor.

#### 4.6.1.2 Travamento Mecânico

Desgaste de partes móveis ou que recebem constante forças são medidos pelos níveis de vibração, por equipamentos que checam acelerações anômalas durante pleno funcionamento. Acelerações anômalas induzem desbalanceamento, desalinhamento, folgas, desgastes forçados e quebras. Uma grande vantagem da análise por aceleração é pela facilidade dos cálculos computacionais de integração. O limite de em que uma aceleração anômala pode atingir de impacto na velocidade de algum subconjunto do equipamento, por

exemplo para um compressor, é 11 mm/s de acordo com a ISO 2372, atual ISO 20816-1:2016.

Quadro 215: Potencial de falha para travamento de conjunto mecânico

<b>Travamento do Conjunto Mecânico</b>			
<b>Potencial de Falha</b>	<b>Potencial de vibração</b>	<b>Limite - Valor medido (mm/s)</b>	<b>Medidas a serem tomadas</b>
<b>A</b>	<b>Alto</b>	<b>&lt;7</b>	<b>Manutenção total do equipamento. Trocar todos os subconjuntos de desgaste rápido (rolamentos, retentores, correias, engrenagens, correntes, buchas, paletas). Realizar troca dos óleos, graxas. Verificar desgaste nos mancais. Avaliar funcionamento em alta carga.</b>
<b>B</b>	<b>Médio</b>	<b>&lt;5</b>	<b>Realizar limpeza dos subconjuntos. Inspeccionar desgaste nas peças dos subconjuntos. Testar em alta carga, verificando variações elétricas durante teste.</b>
<b>C</b>	<b>Baixo</b>	<b>&lt;1</b>	<b>Verificar drenos e sensores. Realizar Limpeza básica dos itens mais críticos.</b>

Fonte: O autor.

#### 4.6.1.3 Fadiga Térmica

A técnica da termografia infravermelha, especificamente por emissão padrão, consiste em empregar detectores de infravermelho, com câmeras termográficas, os quais convertem a radiação infravermelha captada em forma mensurável de energia. Geralmente os detectores de infravermelho produzem imagens térmicas de superfície do objeto analisado, cuja intensidade é proporcional à radiação recebida. A técnica em questão tem a finalidade de obter um perfil térmico ou padrão de temperatura da superfície do objeto de estudo, através do termograma gerado. Em vista disso, é possível avaliar a integridade de um objeto ao comparar o perfil térmico do mesmo com uma referência externa. As principais vantagens pela técnica são as

imagens geradas no momento da medição, não empregar radiação de natureza letal e sem necessidade de contato direto com o objeto de estudo. A presença de descontinuidades passantes é identificada quando o perfil térmico do objeto analisado possuir diferenças localizadas de temperatura, ou seja, fora de um padrão estabelecido.

Quadro 226: Potencial de falha para fadiga térmica

<b>Fadiga Térmica</b>			
<b>Potencial de Falha</b>	<b>Potencial</b>	<b>Varição de temperatura localizada</b>	<b>Medidas a serem tomadas</b>
<b>A</b>	<b>Alto</b>	<b>&gt;30%</b>	<b>Recomenda-se que seja realizada correlação, com outros ensaios, providenciar subconjunto para torca urgente.</b>
<b>B</b>	<b>Médio</b>	<b>Entre 10% e 30%</b>	<b>Preparar material para futura troca de subconjunto, facilitando atuação emergencial se necessário. Avaliar velocidade de degradação do subconjunto.</b>
<b>C</b>	<b>Baixo</b>	<b>&lt;10%</b>	<b>Manter em funcionamento normalizado.</b>

Fonte: O autor.

#### **4.6.2 Potencialidade de Consequência**

A potencialidade da consequência será baseada na combinação de diversos impactos possíveis levando em consideração as possíveis falhas: a segurança operacional, segurança do consumidor e produção de acordo com os parâmetros na tabela abaixo.

Quadro 237: Potenciais de consequência para o sistema analisado

	classe	Intensidade	Descrição
<b>Segurança operacional</b>	1	Muito Alto	Fatalidade ou acidente que resulte em afastamento .
	2	Alto	Acidente sem afastamento, mas que ocasione troca de função
	3	Intermediário	Acidente sem afastamento e sem troca de função.
	4	Baixo	Atendimento ambulatorial interno a fábrica.
<b>Segurança Consumidor</b>	1	Alto	Fatalidade ou acidente que resulte em sequelas no consumidor;
	2	Intermediário	Mal estar ou infecção fraca no consumidor;
	3	Baixo	Variação que passará despercebida pelo consumidor;
<b>Produção</b>	1	Alto	Paradas acima de 3 horas
	2	Intermediário	Paradas entre 10 minutos e 3 horas
	3	Baixo	Paradas de até 10 minutos

Fonte: O autor.

Para analisar a potencialidade da consequência baseada em todas as combinações de cenários da tabela anterior, usa-se a matriz a seguir e classificando essas combinações em:

A – Consequência Alta

B – Consequência Média

C – Consequência Baixa

D – Consequência Aceitável

Associando os diversos impactos listados na tabela anterior, obtém-se a combinação dos impactos conforme tabela abaixo.

Quadro 248: Matriz potencial de consequência

		PRODUÇÃO		1	2	3	4
OPERACIONAL	CONSUMIDOR						
	1	1	A	A	A	A	
2		A	A	B	B		
3		A	B	B	C		
2	1	A	A	B	B		
	2	B	B	C	C		
	3	B	C	C	D		
3	1	A	B	B	C		
	2	B	C	C	D		
	3	B	C	D	D		

Fonte: O autor.

#### 4.6.3 Matriz do Risco

A matriz do risco, etapa 4 desse estudo, será gerada combinando as Potencialidades da Causa (corrosão interna, travamento do conjunto mecânico, fadiga térmica, temperatura de pasteurização e pressão de abertura das válvulas de segurança) com a potencialidade da consequência (segurança operacional, segurança do consumidor e parada de produção). Vale ressaltar que há uma matriz do risco para cada potencialidade de causa, porém foram consideradas todas as potencialidades de causa com 3 possíveis classificações, e por isso, a matriz do risco de cada uma delas se equalizam em uma geral, como aparecerá mais à frente.

Após a combinação estaremos aptos para traçar um grau de prioridades e estabelecer um plano de inspeção e manutenção, objetivo desse trabalho conforme tabela \*\*\*. A classificação, também foi previamente estudada e semelhante à consequência temos:

R1 – Risco Alto;

R2 – Risco Médio

R3 – Risco Baixo

R4 – Risco Aceitável

Quadro 39: Matriz do risco

Matriz do Risco				
Potencial de Falha	Potencial de Consequência			
	A	B	C	D
A	R1	R1	R2	R3
B	R1	R2	R3	R4
C	R2	R3	R3	R4

Fonte: O autor.

#### 4.7 Correlação entre os equipamentos críticos e matriz do risco

Após a definição dos equipamentos críticos e da matriz do risco proposta, é possível correlacionar os critérios de danos, associando o risco em cada equipamento. Porém como cada equipamento apresenta diversos subconjuntos, há inúmeras correlações entre potenciais falhas e consequências e cada subconjunto dos equipamentos críticos. Com isso, para correlacionar os equipamentos críticos e a matriz do risco, deve avaliar comparativamente os riscos par cada critério de dano, por exemplo, os 3 potenciais de falha que foram descritos nesse trabalho.

Para ter um dado mais assertivo, os potenciais de falha foram avaliados para cada item presente no FMECA, no qual cada componente será avaliado em valores de 1 a 3 como indicado na tabela de potencial de falha vista anteriormente neste trabalho, em que o valor “3” será o indicativo menor criticidade e o valor “1” indicará maior criticidade com intuito de resultar em uma média, indicando a classificação do equipamento para o potencial de falha escolhido. De forma análoga como foi realizada a análise da potencialidade da falha para os equipamentos selecionados, será realizada a avaliação generalizada dos potenciais de consequência de cada componente. Vale ressaltar que o resultado do impacto de cada equipamento foi indicado pela multiplicação dos impactos referentes aos 3 tipos de consequência, a consequência operacional, a do consumidor e na produção, na qual também foram classificados de com o mesmo critério da potencialidade de falha, porém, a classificação da tabela de potencial de consequência indica valores de 1 a 4, além da situação

na qual não há possibilidade de ocorrer uma consequência para a falha em específico no componente, então será indicado o valor 4 para os 3 itens de consequência. A relação numérica encontrada a partir da média com a classificação propriamente dita dos potenciais de falha e consequência estão indicadas nas tabelas abaixo.

Quadro 250: Relação entre média do equipamento e classificação da falha

<b>Avaliação potencial de falha</b>	
<b>Média do equipameto</b>	<b>Classificação</b>
<b><math>1 &lt; X &lt; 1,66</math></b>	<b>A</b>
<b><math>1,66 &lt; X &lt; 2,33</math></b>	<b>B</b>
<b><math>2,33 &lt; X &lt; 3</math></b>	<b>C</b>

Fonte: O autor.

Quadro 261: Relação entre média do equipamento e classificação da consequência

<b>Avaliação potencial de consequência</b>	
<b>Média do equipameto</b>	<b>Classificação</b>
<b><math>0 &lt; X &lt; 5</math></b>	<b>A</b>
<b><math>5 &lt; X &lt; 10</math></b>	<b>B</b>
<b><math>10 &lt; X &lt; 20</math></b>	<b>C</b>
<b><math>20 &lt; X &lt; \infty</math></b>	<b>D</b>

Fonte: O autor.

#### 4.7.1 Correlação para fadiga térmica

Os resultados referentes a classificação generalizada para cada componente para uma priorização geral foram representados em tabelas. A primeira avaliação foi realizada com a análise de fadiga térmica dos 3 equipamentos críticos, indicando valores para serem utilizados nas classificações informadas anteriormente.

Quadro 272: Avaliação dos equipamentos críticos referente a fadiga térmica

Potencial de falha - Fadiga térmica											
Lavadora				Pasteurizador				Inspetor			
Componente	Falha	Consequência	Componente	Falha	Consequência	Componente	Falha	Consequência	Componente	Falha	Consequência
Esguichos	2	3x1x2= 6	Bicos de água	2	3x1x2= 6	Câmeras	3	4x4x4=64			
Tanques de Soda Cáustica	1	1x3x1= 3	Malha de transporte	2	3x2x1 = 6	Sensores indutivos de check líquido	3	4x4x4=64			
Tanques de Água	2	1x3x1= 3	Trocador de calor	1	2x2x1= 4	Sistema de inspeções	3	4x4x4=64			
Capsulas de garrafa	1	2x1x3= 6	Tanque de Soda cáustica	1	1x3x1= 3	Sensores e encoders de transporte	3	4x4x4=64			
Virador de garrafas	3	2x3x3= 18	Tubulações de água	1	1x3x1= 3	Placas de vidro	3	4x4x4=64			
Coletor de resíduos	3	2x1x3= 6	Tanque de água quente	1	1x3x1= 3	Esteira	3	4x4x4=64			
Conformador de papel	3	2x2x2= 8	tubulações de vapor	1	1x1x1= 1	pusher/empurrador	3	4x4x4=64			
Peneiras	3	3x1x2= 6	Bombas	2	2*2*2=8						
Sensores de nível / temperatura / pressão	2	2x1x2= 4	portas e sensores de proteção	3	2*3*3=18						
Válvulas moduladoras	1	1x1x1= 1	Torre de resfriamento	3	3*2*2=12						
			Central de Lubrificação	3	3*3*2=18						
Média	2,10	6,10	Média	1,82	7,45	Média	3,00	64			

Fonte: O autor.

Com isso, tem-se o resultado da classificação para fadiga térmica, indicada na tabela abaixo:

Quadro 283: Classificação de potencial de falha para fadiga térmica

<b>Equipamento</b>	<b>Média</b>	<b>Classificação</b>
<b>Lavadora</b>	<b>2,10</b>	<b>B</b>
<b>Pasteurizador</b>	<b>1,82</b>	<b>B</b>
<b>Inspetor</b>	<b>3</b>	<b>C</b>

Fonte: O autor.

Quadro 294: Classificação de consequência para fadiga térmica

<b>Equipamento</b>	<b>Média</b>	<b>Classificação</b>
<b>Lavadora</b>	<b>6,10</b>	<b>B</b>
<b>Pasteurizador</b>	<b>7,45</b>	<b>B</b>
<b>Inspetor</b>	<b>64</b>	<b>D</b>

Fonte: O autor.

Quadro 305: Resultado generalizado para fadiga térmica

	<b>Lavadora</b>	<b>Pasteurizador</b>	<b>Inspetor</b>
<b>Potencial de falha</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Potencial de consequência</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>D</b>
<b>Risco</b>	<b>R2</b>	<b>R2</b>	<b>R4</b>

Fonte: O autor.

Resultado equivalente e de classificação consideravelmente alta para lavadora e pasteurizador, os dois equipamentos mais críticos segundo análise prévia. O inspetor de garrafas apresentou pouca representação nesse resultado, simplesmente por ser, dos três equipamentos analisados, o único que não trabalha com variação de temperatura em todos seu sistema de análise.

#### **4.7.2 Correlação para corrosão**

Da mesma forma que realizada para fadiga térmica, os resultados referentes a classificação generalizada para cada componente com intuito de uma priorização geral foram representados em tabelas abaixo.

Quadro 316: Avaliação dos equipamentos críticos referente a corrosão

Potencial de falha - Corrosão											
Lavadora				Pasteurizador				Inspetor			
Componente	Falha	Consequência	Componente	Falha	Consequência	Componente	Falha	Consequência	Componente	Falha	Consequência
Esguichos	2	3x1x2= 6	Bicos de água	2	3x1x2= 6	Câmeras	3	4x4x4=64			
Tanques de Soda Cáustica	1	1x3x1= 3	Malha de transporte	3	3x2x1 = 6	Sensores indutivos de check líquido	3	4x4x4=64			
Tanques de Água	2	1x3x1= 3	Trocador de calor	3	2x2x1= 4	Sistema de inspeções	3	4x4x4=64			
Capsulas de garrafa	1	2x1x3= 6	Tanque de Soda cáustica	1	1x3x1= 3	Sensores e encoders de transporte	3	4x4x4=64			
Virador de garrafas	3	1x1x3= 3	Tubulações de água	3	1x2x1= 3	Placas de vidro	3	4x4x4=64			
Coletor de resíduos	2	1x1x3= 3	Tanque de água quente	2	1x2x1= 2	Esteira	3	4x4x4=64			
Conformador de papel	2	2x2x2= 8	tubulações de vapor	2	1x1x1= 1	pusher/empurrador	3	4x4x4=64			
Peneiras	2	3x1x2= 6	Bombas	2	2*2*2=8						
Sensores de nível / temperatura / pressão	3	2x1x2= 4	portas e sensores de proteção	3	2*3*3=18						
Válvulas moduladoras	1	1x1x1= 1	Torre de resfriamento	2	3*2*2=12						
			Central de Lubrificação	3	3*3*2=18						
Média	1,90	4,30	Média	2,36	7,36	Média	3,00	64			

Fonte: O autor.

Analogamente, tem-se o resultado da classificação para corrosão interna, indicada na tabela abaixo:

Quadro 327: Classificação de falha para corrosão

Equipamento	Média	Classificação
Lavadora	1,90	B
Pasteurizador	2,36	C
Inspetor	3	C

Fonte: O autor.

Quadro 338: Classificação de consequência para corrosão

Equipamento	Média	Classificação
Lavadora	4,30	A
Pasteurizador	7,36	B
Inspetor	64	D

Fonte: O autor.

Com isso, obtêm-se o resultado abaixo

Quadro 49: Resultado generalizado para corrosão interna

	Lavadora	Pasteurizador	Inspetor
Potencial de falha	B	C	C
Potencial de consequência	A	B	D
Risco	R1	R3	R4

Fonte: O autor.

O resultado indicado era o mais premeditado, pelo fato da lavadora apresentar mais trabalhos com substâncias químicas, sendo assim, o equipamento mais crítico ao se tratar de corrosão interna de subconjuntos e peças.

#### 4.7.3 Correlação para travamento mecânico

Novamente são realizadas as avaliações, porém com o novo critério de falha, o qual é o travamento mecânico, menos comum nesses equipamentos citados.

Quadro 340: Avaliação dos equipamentos críticos referente a travamento mecânico

Potencial de falha - Travamento do conjunto mecânico											
Lavadora				Pasteurizador				Inspetor			
Componente	Falha	Conseqüência	Componente	Falha	Conseqüência	Componente	Falha	Conseqüência	Componente	Falha	Conseqüência
Esguichos	3	3x2x3= 18	Bicos de água	3	3x2x3= 18	Câmeras	3	4x4x4=64			
Tanques de Soda Cáustica	3	4x4x4=64	Malha de transporte	1	2x2x1 = 4	Sensores indutivos de check líquido	3	4x4x4=64			
Tanques de Água	3	4x4x4=64	Trocador de calor	3	3x3x3=27	Sistema de inspeções	1	4x4x4=64			
Capsulas de garrafa	2	3x2x3= 18	Tanque de Soda cáustica	3	4x4x4=64	Sensores e encoders de transporte	1	4x4x4=64			
Virador de garrafas	2	1x3x1= 3	Tubulações de água	3	4x4x4=64	Placas de vidro	1	4x4x4=64			
Coletor de resíduos	2	1x1x3= 3	Tanque de água quente	3	4x4x4=64	Esteira	1	1x1x1=1			
Conformador de papel	2	2x3x2= 12	tubulações de vapor	3	4x4x4=64	pusher/empurrador	1	1x1x1=1			
Peneiras	2	4x4x4=64	Bombas	2	2*2*1=4						
Sensores de nível / temperatura / pressão	3	4x4x4=64	portas e sensores de proteção	2	4x4x4=64						
Válvulas moduladoras	2	1x1x1= 1	Torre de resfriamento	3	3*2*1=6						
			Central de Lubrificação	3	3*3*3=27						
Média	2,40	31,10	Média	2,64	36,90	Média	1,57	46			

Fonte: O autor.

Por último, tem-se o resultado da classificação para travamento do conjunto mecânico, indicada na tabela abaixo:

Quadro 351: Classificação de falha para travamento mecânico

<b>Equipamento</b>	<b>Média</b>	<b>Classificação</b>
<b>Lavadora</b>	<b>2,40</b>	<b>C</b>
<b>Pasteurizador</b>	<b>2,64</b>	<b>C</b>
<b>Inspetor</b>	<b>1,57</b>	<b>A</b>

Fonte: O autor.

Quadro 362: Classificação de consequência para travamento mecânico

<b>Equipamento</b>	<b>Média</b>	<b>Classificação</b>
<b>Lavadora</b>	<b>31,10</b>	<b>D</b>
<b>Pasteurizador</b>	<b>36,9</b>	<b>D</b>
<b>Inspetor</b>	<b>46</b>	<b>D</b>

Fonte: O autor.

Quadro: 53 Resultado generalizado para travamento do conjunto mecânico

	<b>Lavadora</b>	<b>Pasteurizador</b>	<b>Inspetor</b>
<b>Potencial de falha</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>A</b>
<b>Potencial de consequência</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
<b>Risco</b>	<b>R4</b>	<b>R4</b>	<b>R3</b>

Fonte: O autor.

Com isso, é determinado, que apesar do baixo risco, em detrimento do baixo potencial de consequência, o inspetor de garrafas é o equipamento mais crítico ao se tratar de travamento do conjunto mecânico.

#### **4.7.4 Avaliações sobre os resultados**

De forma geral, é possível indicar a criticidade das análises, priorizando os ensaios para os equipamentos e componentes mais críticos para a determinada falha. Porém, ainda pode ser mais exata a análise por componente, avaliando o risco independente de qual seja a falha para uma priorização mais adequada.

Com isso, tem-se um exemplo de correlação em cada equipamento para as potencias de falha indicados neste presente trabalho, sendo para a lavadora o tanque de soda cáustica, para o pasteurizador os esguichos e para o inspetor de garrafas o empurrador/*pusher*. Os

resultados foram obtidos a partir dos seguintes dados gerados por ensaios e análises realizados no segundo semestre de 2018:

Avaliando os tanques de soda cáustica na lavadora, a análise referente a corrosão indicou uma perda percentual de 9% de espessura, e suas tubulações com perda de espessura média de 16%. Claramente é necessário acompanhar melhor a taxa de impacto nas tubulações, mas se referindo ao potencial de falha avaliado, anteriormente, a classificação indicada é “C”. Porém o potencial de consequência para um rompimento de um tanque de soda, avaliando em conjunto com os indicativos do FMECA, a classificação é “A”. A partir disso, pela matriz do risco, tem-se um risco de classificação R2.

Ao analisar os esguichos do pasteurizador, o item sofre variações constantes na temperatura de trabalho de 3°C a 120°C, o qual o torna um item sujeito a fadiga térmica. Por mais que as temperaturas não sejam muito elevadas, as variações constantes de trabalho o torna um item possivelmente passivo de fadiga térmica. Ao realizar ensaios durante atividade do equipamento foram avaliados, resultando em algumas variações de temperatura localizada, na qual o pior resultado gerado foi de 2%, indicando um valor de classificação “C”. Em critérios de potencial de consequência, sua classificação é “C”. Com isso, pela matriz do risco, tem-se classificação “R3”.

Considerando o empurrador/*pusher* do inspetor de garrafas vazias o qual é ativado aproximadamente 6000 vezes em um dia inteiro de produção, foi avaliado sua vibração sob o critério de travamento do conjunto mecânico. Durante medição o valor resultante foi de 6 mm/s, no qual ao corrigir, foi encontrado erro em parâmetro resultando na anomalia. Para essa situação, a classificação do potencial de falha é “B”. Para essa devida falha, o potencial de consequência é classificado como “A”. Com esse resultado, pela matriz do risco, tem-se uma classificação “R1”.

Com a análise dos exemplos de subconjuntos citados, torna-se possível a priorização de uma atividade de manutenção a partir do risco gerado por uma falha ou anomalia. Seguindo os exemplos, a anomalia no empurrador do inspetor de garrafas deve ser priorizada em relação aos esguichos do pasteurizador e o tanque de soda cáustica na lavadora.

## 5. CONCLUSÃO

As análises de manutenção estão cada vez mais se relacionando com os conceitos de risco e critérios de segurança, porém ainda falta muito na padronização e correlação entre ambas. Neste trabalho, por meio de diversas ferramentas de gerenciamento de risco e de manutenção, foi desenvolvido um método para priorizar manutenções e atuações por oportunidade em equipamentos e seus subconjuntos, a partir do risco associado a cada falha ou anomalia, considerando o risco associado a segurança dos trabalhadores do setor, a segurança do processo e a segurança do consumidor do produto. Vale ressaltar que a segurança do consumidor mal é mencionada quando se trata de priorização e estudos de manutenção ou de risco.

Todo o processo foi direcionado a indústria cervejeira, porém o mesmo procedimento pode ser alocado a qualquer estabelecimento no qual presente equipamentos e deve-se priorizar manutenções. A partir do trabalho torna-se possível um método eficiente para dar apoio a tomada de decisão em termos de priorização de manutenção. A metodologia proposta necessita de uma análise multicritério acompanhada, no caso o PROMETHEE, e se possível, com a participação do máximo de pessoas envolvidas na área, aumentando a aproximação da realidade com a amostra, além do entendimento do modelo escolhido e os critérios avaliados. A partir disso os conceitos de FMEA ou FMECA, potencial de falha, potencial de consequência e de matriz do risco tornam-se necessários para o indicativo de como atuar nos equipamentos críticos, pois foram selecionados os equipamentos mais críticos devido a teoria lógica utilizada no trabalho, na qual indica que tratando 20% dos equipamentos mais críticos em segurança, tem-se 80% do risco controlado. E por fim, o resultado esperado, avaliando todos os subconjuntos listados no FMEA gerando a matriz o risco, possibilitando para cada situação um resultado de priorização, como indicado na exemplificação deste trabalho.

Em proposta, a metodologia aplicada neste trabalho, em maior grau de profundidade, pode basear um plano de manutenção voltado em garantir que todo e qualquer risco de segurança seja minimizado durante produção e funcionamento do sistema estudado, no caso, uma cervejaria.

## REFERÊNCIAS

AMANCIO, Rodrigo; ANDREOTTI, Marcel. Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h. **Scielo**. São Carlos, 2015. 15 p. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v22n4/0104-530X-gp-0104-530X975-13.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

BACCAR, Bruno et al. MÉTODO ELECTRE NA TOMADA DE DECISÃO ORGANIZACIONAL. **UNISC**. Disponível em: <<https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/semic/article/view/15739>>. Acesso em: 22 maio. 2019.

BARBIERI, Ana Clara; PEREIRA, Patrícia; PALMA, Josiane. MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADOS A TRANSPORTES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **aprender.ead**. Itajubá, 2017. 12 p. Disponível em: <[https://aprender.ead.unb.br/pluginfile.php/409390/mod\\_resource/content/3/1\\_264\\_AC\\_M%20C3%2089TODOS%20DE%20AN%C3%81LISE%20MULTICRIT%20C3%2089RIO%20APLICADOS%20A%20TRANSPORTES.pdf](https://aprender.ead.unb.br/pluginfile.php/409390/mod_resource/content/3/1_264_AC_M%20C3%2089TODOS%20DE%20AN%C3%81LISE%20MULTICRIT%20C3%2089RIO%20APLICADOS%20A%20TRANSPORTES.pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2019.

BATISTA, Vanessa; SCHRAMM, Fernando; RICCELY, Hugo. O uso do método PROMETHEE para seleção de candidatos à bolsa-formação do Pronatec. **Scielo**. 11 p. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/prod/2013nahead/aop\\_1072.pdf](http://www.scielo.br/pdf/prod/2013nahead/aop_1072.pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2019.

BRIGAS, Joaquim José Cabral. **RBIM – Inspeção e Manutenção Baseada no Risco**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Portugal.

CAROPRESO, Fulvia. As cervejas e suas famílias. **Fale com fulvia**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.falecomfulvia.com.br/cervejas-e-suas-familias/>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

CAVALCANTE, Cristiano; ALMEIDA, Adiel ; FERREIRA, Heldemarcio. MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO PARA O PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA UTILIZANDO PROMETHEE VI EM SITUAÇÕES DE INCERTEZA. **din.uem**. Recife, 2003. 13 p. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2003/pdf/arq0143.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

CAVALCANTE, Cristiano; ALMEIDA, Adiel. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. **Scielo**. Rio de Janeiro, 2005. 11 p. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-74382005000200007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382005000200007)>. Acesso em: 8 mar. 2019.

CRUZ, Bruno Miguel; PEREIRA, Susete. A ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA TOMADA DE DECISÃO - O Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty: Desenvolvimento do método com recurso à análise de um caso prático explicado ponto a ponto.. **edisciplinas**. Coimbra, 2006. 14 p. Disponível

em:<[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1579578/mod.../AHP\\_exemplo.pdf?...1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1579578/mod.../AHP_exemplo.pdf?...1)>. Acesso em: 1 mar. 2019.

DIAS, Vitor. **Método para a determinação da frequência de intervenções programadas em equipamentos mecânicos na indústria siderúrgica Recife 2016**. Recife, 2016. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, 2016.

DMITRUK, Hilda Beatriz (Org.). **Cadernos metodológicos: diretrizes da metodologia científica**. 5. ed. Chapecó: Argos, 2001. 123 p.

FONTOLAN, Eder et al. **APLICAÇÃO DE FMEA PARA ANÁLISE DE RISCOS E OPORTUNIDADES NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS**. Uningá. Maringá, 2017. Disponível em:<<http://revista.uninga.br/index.php/uninga/about>>. Acesso em: 8 mar. 2019.

GONÇALVES, Caroline. **PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE CRITICIDADE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA REGIÃO NOROESTE DO PARANÁ**. Curitiba, 2017. 91 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2017.

GUARNIERI, Patrícia. Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério. **SciELO**. Rio de Janeiro, 2015. 25 p. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rac/v19n1/1982-7849-rac-19-1-0001.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

KOPPEN, G. PROCEEDING OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON NDE RELATIONSHIP TO STRUCTURAL INTEGRITY FOR NUCLEAR AND PRESSURISED COMPONENTS 1998.

MARQUES, Ciro. **MANUTENÇÃO BASEADA NO RISCO APLICADA À INDÚSTRIA DE PACKAGED DE GASES**. Recife, 2018. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, 2018.

PICOLI, Bruno. **APLICAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE I, II E V PARA PRIORIZAÇÃO DE ATIVOS FINANCEIROS**. Limeira, 2015. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de produção) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2015.

RODRIGUES, Francisco; OSIRO, Lauro; RIBEIRO, Luiz Cesar. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. **SciELO**. São Carlos, 2013. 22 p. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/gp/v20n4/aop\\_1191.pdf](http://www.scielo.br/pdf/gp/v20n4/aop_1191.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2019.

SUTTON, I. **Process, Reliability and Risk Management**, 1.ed. United States of America: Van Nostrand Reinhold, 1992.

TRENTIM, Mario. Tomada de Decisão em Projetos: Método AHP. **project design management**. 2012. Disponível em: <<http://projectdesignmanagement.com.br/blog/tomada-de-decisao-em-projetos-metodo-ahp/>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

UMA BREVE história da cerveja. **Saint beer** . Forquilha, 2007. Disponível em: <<http://www.saintbier.com/saint-bier>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

URIONA, Mauricio. Métodos outranking: Método Promethee. **Slideshare**. Florianópolis, 2017. 32 p. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/MauricioUrionaMaldon/mtodo-promethee>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

VIDAL, José Geraldo . Download citation Share Download full-text PDF Análise de decisão multicritério aplicada na seleção de investimento em armazenagem de soja em grão. **Research Gate**. São Carlos, 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/272681042\\_Analise\\_de\\_decisao\\_multicriterio\\_aplicada\\_na\\_selecao\\_de\\_investimento\\_em\\_armazenagem\\_de\\_soja\\_em\\_grao](https://www.researchgate.net/publication/272681042_Analise_de_decisao_multicriterio_aplicada_na_selecao_de_investimento_em_armazenagem_de_soja_em_grao)>. Acesso em: 25 fev. 2019.