



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

EVA MARIA MORAIS DE AZEVEDO

**PRIORIZAÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS ATRAVÉS DA ANÁLISE
MULTIDIMENSIONAL HAZOP (MHAZOP): um estudo de caso**

Caruaru

2023

EVA MARIA MORAIS DE AZEVEDO

**PRIORIZAÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS ATRAVÉS DA ANÁLISE
MULTIDIMENSIONAL HAZOP (MHAZOP): um estudo de caso**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Engenharia de Produção. Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Nasaré Oliveira CRB/4 - 2309

A237p Azevedo, Eva Maria Morais de.
Priorização de riscos ocupacionais através da análise multidimensional HAZOP (MHAZOP): um estudo de caso. / Eva Maria Morais de Azevedo. – 2023.
53 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Thalles Vitelli Garcez.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, 2023.
Inclui Referências.

1. Gerenciamento de risco. 2. Riscos ocupacionais. 3. Processo decisório por critério múltiplo. 4. Segurança do trabalho. 5. Multidimensional HAZOP. I. Garcez, Thalles Vitelli (Orientador). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2023-102)

EVA MARIA MORAIS DE AZEVEDO

**PRIORIZAÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS ATRAVÉS DA ANÁLISE
MULTIDIMENSIONAL HAZOP (MHAZOP): um estudo de caso**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Engenharia de Produção. Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Aprovada em: 30/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Profa. Dra. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Profa. Dra. Priscila da Cunha Jácome Vidal (Examinadora Externa)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA

Dedico este trabalho a todas as pessoas do bem que cruzaram meu caminho tornando-o leve e transformador, vocês me incentivaram a continuar nesta jornada.

RESUMO

Riscos ocupacionais inerentes a diversas atividades produtivas e de serviços demandam uma abordagem eficiente de gerenciamento para garantir a sustentabilidade do negócio. A tomada de decisões inadequadas pode resultar em sérios impactos na saúde e na vida dos colaboradores expostos a tais riscos, podendo ser irreversíveis. Além disso, essas decisões podem prejudicar a imagem da empresa e influenciar negativamente o ambiente laboral e familiar. No entanto, as empresas frequentemente enfrentam limitações de recursos para lidar com a prevenção e mitigação desses riscos ocupacionais. Diante desse cenário, a priorização dos riscos em uma hierarquia de criticidade torna-se imperativa. Este estudo adota a metodologia de análise de risco Multidimensional HAZOP (MHAZOP) para identificar, priorizar e controlar os riscos ocupacionais em uma indústria do setor automotivo. O MHAZOP incorpora a abordagem de decisão multicritério ao estudo HAZOP (*Hazard and Operability Study*), considerando múltiplas dimensões de consequências e a estrutura de preferência do decisor. Um estudo de caso realístico foi conduzido corroborando a aplicabilidade da metodologia MHAZOP. Como resultado do estudo tem-se que o risco causado pelo desvio “Volume da matéria prima A (explosiva) na mistura maior que 3%” resultando no cenário de perigo explosão no processo seguido de nuvem de químicos tóxicos no ar é a mais prioritária. Além disso, os resultados obtidos estão alinhados aos objetivos estratégicos da empresa, visando minimizar riscos que possam causar danos às pessoas, tanto colaboradores quanto pessoas externas, impactar negativamente a imagem da empresa e resultar em danos operacionais irreversíveis.

Palavras-chave: Gerenciamento de risco; Risco Ocupacional; Decisão Multicritério; Multidimensional HAZOP; Segurança do Trabalho.

ABSTRACT

Occupational risks inherent to various production and service activities require an efficient management approach to ensure business sustainability. Making inappropriate decisions can result in serious impacts on the health and lives of employees exposed to such risks, which may be irreversible. In addition, these decisions can harm the company's image and negatively influence the work and family environment. However, companies often face resource constraints in dealing with the prevention and mitigation of these occupational risks. Given this scenario, prioritizing risks in a hierarchy of criticality becomes imperative. This study adopts the Multidimensional HAZOP (MHAZOP) risk analysis methodology to identify, prioritize and control occupational risks in an automotive industry. MHAZOP incorporates the multi-criteria decision approach to the HAZOP study (Hazard and Operability Study), considering multiple dimensions of consequences and the decision-maker's preference structure. A realistic case study was conducted corroborating the applicability of the MHAZOP methodology. The study results indicate that the risk caused by the deviation "Volume of raw material A (explosive) in the mixture exceeding 3%," resulting in the hazardous scenario of explosion in the process followed by a cloud of toxic chemicals in the air, is the highest priority. Furthermore, the results obtained were aligned with the company's strategic objectives, aiming to minimize risks that could cause harm to people, both employees and external people, negatively impact the company's image and result in irreversible operational damage.

Keywords: Risk management; Occupational Risk; Multicriteria Decision; Multidimensional HAZOP; Workplace safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Fases do levantamento bibliográfico.....	14
Figura 2 –	Etapas do MHAZOP.....	21
Figura 3 –	Adaptação dos estágios de revisão da literatura de Tranfield et al. (2003)	22
Figura 4 –	Fluxo dos setores do processo produtivo avaliados	26
Figura 5 –	Curvas de utilidade para as dimensões de consequência C_1 , C_2 e C_3	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Artigos e metodologias aplicadas.....	23
Tabela 2 – Função utilidade, desempenho dos cenários de desvios nos critérios da empresa alfa	34
Tabela 3 – Matriz quantitativa e riscos dos desvios avaliados.....	41
Tabela 4 – Análise de sensibilidade.....	44
Tabela 5 – Resultado comparativo dos cenários da análise de sensibilidade.....	44
Tabela 6 – Matriz dos cenários da análise de sensibilidade.....	45

LISTA DE SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ANP	Analytic Network Process
BWM	Best Worst Method
CA	Chang Analysis
DMRA	Decision Matrix Risk Assessment
ETBA	Energy Trace and Barrier Analysis
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
F_AHP	Fuzzy Analytical Hierarchy Process
FMEA	Failure Mode & Effects Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
HAZOP	Hazard and Operability Study
IFS	Intuitionistic Fuzzy Sets
JSA	Job Safety Analysis
MAUT	Multi-attribute utility theory
MCD A	Multi-criteria Decision Analysis
MCDM	Multi-criteria Decision Making
MHAZOP	Multidimensional Hazard and Operability Study
MORT	Management Oversights & Risk Tree
NR	Norma Regulamentadora
O&SHA	Operability & Support Hazard Analysis
PHA	Preliminary Hazard Analysis
SHA	System Hazard Analysis
SLCM	Service Lifecycle Management
SODA	Strategic Options and Development Analysis
SSHA	Subsystem Hazard Analysis
SWHA	Software Hazard Analysis
T_AHP	Typical Analytical Hierarchy Process

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos.....	14
1.2	Metodologia de pesquisa.....	14
1.3	Estrutura da dissertação.....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	Gerenciamento de riscos ocupacionais.....	17
2.1.1	<i>Hazard and operability study – HAZOP.....</i>	18
2.1.2	<i>Teoria da Utilidade Multiatributo (Multi-attribute Utility Theory – MAUT)</i>	19
2.1.3	<i>Multidimensional HAZOP (MHAZOP).....</i>	20
3	REVISÃO DA LITERATURA	22
4	ESTUDO DE CASO	26
4.1	Planejamento.....	28
4.1.1	<i>Etapa 1: definição do decisor.....</i>	28
4.1.2	<i>Etapa 2: definição dos objetivos e equipe de análise.....</i>	28
4.1.3	<i>Etapa 3: Planejamento da coleta de dados, método de registro e cronograma das atividades.....</i>	29
4.1.4	<i>Etapa 4: definição dos critérios e sistema do processo de produção que será avaliado no MHAZOP.....</i>	30
4.1.5	<i>Etapa 5: definição dos parâmetros do processo.....</i>	31
4.2	Coleta de dados: Identificação, Mensuração, Análise e Controle dos Riscos.....	31
4.2.1	<i>Etapa 6: identificação dos potenciais desvios pela combinação das palavras guia com os parâmetros definidos.....</i>	31
4.2.2	<i>Etapa 7: identificação dos cenários e listar potenciais causas e seus efeitos.....</i>	32
4.2.3	<i>Etapa 8: definição da zona de perigo.....</i>	33
4.2.4	<i>Etapa 9: incorporar a estrutura de preferência do decisor.....</i>	38
4.2.5	<i>Etapa 10: mapear as medidas de controle.....</i>	42

4.2.6	<i>Etapa 11 e 12: definição da função probabilidade das consequências $P_{cdi, j} X_j, g X_g$ e estimação das probabilidades $\pi\theta$.....</i>	42
4.2.7	<i>Etapa 13: calcular a função perda.....</i>	42
4.2.8	<i>Etapa 14: calcular riscos associados a um desvio.....</i>	43
4.2.9	<i>Etapa 15: classificação do risco através do cálculo do valor esperado da perda.....</i>	43
4.2.10	<i>Etapa 16: análise de sensibilidade.....</i>	43
4.3	Resultados.....	45
4.3.1	<i>Etapa 17: apresentação dos resultados ao decisor e implementação.....</i>	45
4.4	Monitoramento dos resultados.....	45
4.4.1	<i>Etapa 18: avaliação de eficácia das ações implementadas.....</i>	45
5	CONCLUSÃO	47
5.1	Limitações e propostas para trabalhos futuros.....	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as Normas Regulamentadoras (NR) existem para impulsionar as melhorias das condições de segurança. No seu processo de atualização, a NR-01 e NR-09 passaram a exigir das organizações um programa de gerenciamento de riscos de forma a abranger todos os riscos ocupacionais presentes em exposição dos colaboradores a agentes físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidente (LUCIANO et al., 2020).

Segundo a NR-01, os riscos ocupacionais devem ser evitados, identificados, avaliados e classificados. Após a classificação de riscos, devem-se implementar medidas de prevenção de acordo com a seguinte prioridade: eliminação dos fatores de risco, minimização e controle dos fatores de risco, com a adoção de medidas de proteção coletiva, minimização e controle dos fatores de risco, com a adoção de medidas administrativas ou de organização do trabalho e adoção de medidas de proteção individual (BRASIL, 2020).

A gestão de risco empresarial é importante para a sustentabilidade de todos os negócios, o risco é tratado como uma questão fundamental na busca de decisões viáveis na discussão de soluções para problemas do mundo real, como os relacionados com tecnologia, saúde, segurança ou alterações climáticas (AVEN, 2018). O gerenciamento de riscos presentes nas organizações, relacionados a todos os fatores que podem impactar o negócio, torna-se vital no processo de tomada de decisão. O risco é definido como o efeito da incerteza, podendo esses efeitos serem positivos ou negativos e os objetivos podem possuir diferentes aspectos e categorias (ABNT NBR ISO 31000, 2018). Os gestores das organizações precisam estar atentos as exigências das NRs, além dos demais interesses da empresa e deve considerá-las no momento de tomada de decisão.

Os riscos ocupacionais são os relacionados as atividades laborais dos colaboradores, têm o potencial de causar danos à segurança à vida e saúde das pessoas e da empresa e, por isso necessitam ser controlados e mitigados. O principal meio de garantir melhores condições de trabalho e prevenir acidentes e doenças ocupacionais é o gerenciamento dos riscos, que, por sua vez, dispõe de diferentes metodologias que auxiliam na identificação, avaliação, controle e prevenção de riscos (BARBOSA; PINHEIRO; CRISÓSTOMO, 2021).

As graves consequências dos acidentes para a comunidade, o ambiente e a empresa, justifica a adoção de metodologias que procurem garantir a segurança. Nos

últimos anos, as empresas têm abordado questões de segurança por duas principais razões: i) a crescente importância do fator humano e ii) para cumprir novas leis e regulamentos (GRASSI et al., 2009). Portanto, é importante que as empresas demonstrem atitudes éticas e responsáveis quanto a segurança e saúde no trabalho (MÁSCULO; MATTOS, 2011).

No setor automobilístico, os riscos atrelados a saúde e segurança ganham força devido impacto que podem gerar na imagem da empresa diante dos clientes, que eventualmente pode correlacionar o cuidado com o gerenciamento do tema em seus processos com a confiabilidade da segurança em seus produtos.

Portanto, faz-se necessária a gestão eficiente e eficaz dos riscos em diferentes segmentos industriais. Para tanto, existem diversos métodos, metodologias e ferramentas utilizados no contexto de gerenciamento de risco, de forma a atender as etapas do gerenciamento de risco, tais como, identificação, avaliação e classificação de risco que auxiliam os decisores no processo de tomada de decisão.

Especificamente, o modelo de avaliação de risco Multidimensional HAZOP (MHAZOP), proposto por Garcez & Alencar (2022), possui uma análise sistemática baseada no estudo HAZOP, que considera a agregação de múltiplas dimensões de consequência e as preferências do decisor em relação ao risco. Por fim, a metodologia MHAZOP apresenta uma priorização dos riscos ocupacionais analisados. Para tanto, este trabalho aplicará o MHAZOP para avaliar os riscos ocupacionais de uma indústria do setor automotivo.

O setor automotivo tem importante participação na estrutura industrial mundial, empregando aproximadamente mais de 80 milhões de pessoas ao redor do mundo. No Brasil, o setor automotivo representa cerca de 18% do produto interno bruto industrial – PIB Industrial e 3% do PIB Nacional, ocupando direta e indiretamente, aproximadamente 1,3 milhões de pessoas no ano de 2020 (Ferreira Filho et al., 2022).

A NR 04 estabelece uma relação entre código CNAE e Grau de Risco da empresa (BRASIL, 2014). O grau de risco tem uma escala que vai de um a quatro, sendo o quatro a classificação das empresas que apresentam um maior risco nas suas operações. No setor automotivo, as empresas que fabricam automóveis, componentes e acessórios se enquadram em sua maioria no grau de risco três e as que são ligadas a fabricação de componentes metálicos, devido o processo de fundição são classificadas com grau de risco quatro.

1.1 Objetivos

Tem-se por objetivo geral deste trabalho aplicar a metodologia do MHAZOP para identificar, priorizar e controlar os riscos ocupacionais, ocorrendo a implementação em uma indústria do setor automotivo afim de fundamentar seu processo de tomada de decisão, considerando nesta avaliação fatores que são estratégicos para a organização: a satisfação dos seus colaboradores e clientes e o crescimento da marca.

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

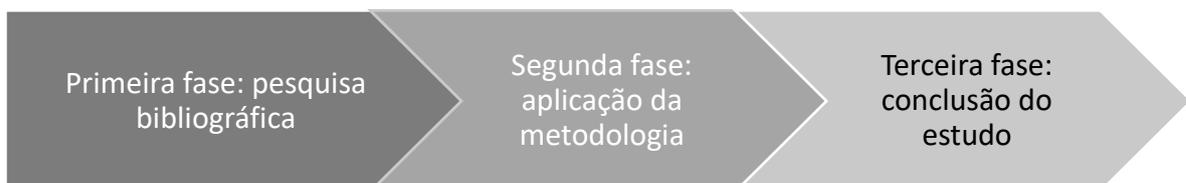
- Definir a equipe que participará da aplicação do MHAZOP;
- Estruturar os dados necessários para aplicação do MHAZOP;
- Aplicar o MHAZOP respeitando cada etapa da metodologia;
- Apresentar os resultados obtidos ao decisor e envolvidos.

1.2 Metodologia de pesquisa

O trabalho se desenvolve em torno de uma problemática que envolve a priorização dos riscos ocupacionais em uma planta industrial, na qual deve ser levado em consideração múltiplos critérios relevantes para o negócio e fornecer informações para uma tomada de decisão, definindo o uso da metodologia Multidimensional HAZOP (MHAZOP) para aplicação no estudo de caso.

Esta pesquisa se enquadra em relação a abordagem como quantitativa. Quanto à sua natureza é uma pesquisa aplicada, que objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas e solucionar problemas específicos. Quanto aos seus objetivos é uma pesquisa descritiva, já que visa levantar dados de um determinado cenário e estabelecer relações entre as variáveis. Sendo para isto adotada uma metodologia composta por três fases (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003).

Figura 1 – Fases do levantamento bibliográfico



Fonte: Adaptado de (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003).

A primeira fase, é considerada uma fase de planejamento, consiste em realizar uma pesquisa bibliográfica com a finalidade de obter conhecimentos sobre o tema para embasar o estudo, criando assim uma base teórica com informações relevantes. A pesquisa bibliográfica e a revisão da literatura, permitem identificar, conhecer e acompanhar o desenvolvimento em um campo de desenvolvimento determinado (HAIR JR., J.F.; BABIN, B.; MONEY, A.; SAMOUEL, 2006). Neste trabalho, foi realizado o levantamento bibliográfico em dissertações/teses, livros e periódicos científicos que abordam o tema.

Na segunda fase, refere-se ao uso da metodologia para atingir os objetivos definidos, demonstrando assim a aplicabilidade, sendo a realização do estudo de caso. A metodologia MHAZOP, que possui dezoito etapas que estão apresentadas na Figura 1 e descrita no capítulo 4, pode ser agregada em quatro marcos:

- I. Planejamento da aplicação do estudo de caso: que envolve etapas de definição dos decisores, descrição dos objetivos, formulação dos critérios de avaliação que são obtidos através de loterias;
- II. Coleta e análise dos dados: coleta e transferências dos dados para o modelo, seguindo assim para uma ordenação e controle dos riscos identificados, verificação da robustez e possíveis variações através de análise de sensibilidade;
- III. Apresentação dos resultados: divulgação dos resultados obtidos junto aos envolvidos;
- IV. Aplicação e monitoramento dos resultados: aplicação das medidas de controle propostas e avaliação de eficácia das ações implementadas.

A terceira fase, é apresentada no capítulo 5 e consiste na conclusão de todo o estudo, demonstrando a efetividade da metodologia do MHAZOP apresentada para o alcance dos objetivos definidos.

1.3 Estrutura da dissertação

O presente trabalho está estruturado em 6 capítulos que estão distribuídos da seguinte forma: O Capítulo 1 fornece uma breve introdução sobre a justificativa do trabalho, descrevendo também o objetivo geral, os objetivos específicos para alcançar o objetivo geral e a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. No Capítulo 2 encontra-se a fundamentação teórica, composta pelos conceitos fundamentais para compreensão do presente trabalho, abordando os conceitos de

gerenciamento do risco ocupacional, HAZOP, MAUT e de Multidimensional MHAZOP. O Capítulo 3 apresenta uma revisão da literatura relacionada ao tema da pesquisa. O Capítulo 4 apresenta o estudo de caso abordado no trabalho, que discorre os passos da aplicação do MHAZOP em uma empresa do setor automotivo. No Capítulo 5 é discutido os resultados e análise da ferramenta, bem como uma análise gerencial. Por fim, o Capítulo 6 é apresenta a conclusão do trabalho, ressaltando as principais contribuições da pesquisa para o meio científico, assim como as limitações encontradas e propostas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gerenciamento de riscos ocupacionais

Os riscos multidimensionais podem surgir de várias fontes, tais como fatores financeiros, operacionais, tecnológicos, regulatórios, ambientais ou sociais (GARCEZ; ALENCAR, 2022).

O gerenciamento de riscos organizacionais previne potenciais problemas das organizações e estabelecer planos de ação para quando os mesmos acontecem, os riscos ocupacionais integram os riscos organizacionais (RUPPENTHAL, 2013).

O gerenciamento dos riscos ocupacionais em uma organização tem o objetivo de antecipar possíveis riscos através da identificação e análise, além de dar suporte na tomada de decisão e direcionar ações preventiva, possibilitando aos colaboradores expostos a esses riscos durante sua jornada de trabalho que sua saúde e segurança não seja afetada (SHINZATO et al., 2010).

Gerenciar o risco ocupacionais, significa trabalhar com aspectos corretivos e preventivos, sendo este último o principal foco. Como consequência de um bom gerenciamento de risco, tem-se o aumento da satisfação dos colaboradores e a redução do número de ocorrências (acidentes, quase acidentes e doenças) que geram danos tangíveis e intangíveis as organizações (RUPPENTHAL, 2013).

Os acidentes nas rotinas das atividades além de causar danos aos colaboradores são prejudiciais à organização, possibilitando uma repercussão na sua imagem, devido a incêndios e explosões, por exemplo, devido a maior gravidade, e caso isto ocorra de maneira frequente reforça a necessidade do melhor gerenciamento do risco (MÁSCULO; MATTOS, 2011).

A equipe de saúde e segurança do trabalho é responsável pela identificação dos fatores de risco ocupacionais que possam ocasionar alguma ocorrência, além de avaliar os possíveis danos à saúde dos colaboradores e definir quais as medidas de controle e intervenção que são necessárias para redução do risco nos ambientes de trabalho (MÁSCULO; MATTOS, 2011). Entretanto, os diferentes riscos requerem uma política de priorização, uma vez que os recursos são limitados e escassos, sendo esta vital para a elaboração de um plano de gestão de riscos viável.

Ferramentas que são comumente utilizadas para identificação de riscos ocupacionais são: Análise Preliminar de Risco (APR), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) e Harzad and operability study (HAZOP).

Especificamente, o HAZOP é uma equipe técnica multidisciplinar, estimulando a criatividade, evitando possíveis esquecimentos além de facilitar a compreensão dos problemas das diferentes áreas e interfaces do sistema. Além disso, esta técnica estimula uma análise aprofundada em pequenas alterações que podem ser subestimadas e tem potencial de gerar efeitos secundários graves e muitas vezes difíceis de prever, antes de uma análise completa. O HAZOP pode ser aplicado pontualmente em uma máquina e em processos contínuos ou descontínuos (RUPPENTHAL, 2013).

2.1.1 Hazard and operability study – HAZOP

O estudo HAZOP consiste em uma técnica qualitativa de análise de riscos que verifica desvios operacionais, e é baseada no desvio da ação tomada tornando-se esta, uma das principais técnicas utilizadas em projetos de novos processos e operações (SHINZATO et al., 2010).

Segundo Crawley e Tyler (2015), o HAZOP visa identificar perigos de saúde, segurança e meio ambiente, sendo também aplicável em estudo de eventuais problemas operacionais em vários tipos de indústrias.

O método HAZOP teve seu desenvolvimento visando a redução de riscos oriundos de eventuais problemas operacionais, tendo como propósito identificar, estimar os perigos de um determinado processo e identificar problemas operacionais. O seu objetivo vai além de identificar as causas, incluindo também a análise de como é a resposta da instalação diante do desvio das operações instaladas que geram os riscos, revelando assim se a planta possui condições de mitigar ou lidar com as eventuais e possíveis consequências (ROSSING et al., 2010).

Segundo Calixto e Coppe (2006), no HAZOP, uma vez que é verificada as causas e as consequências de cada desvio, procura-se propor medidas para eliminar, mitigar ou controlar em níveis aceitáveis o risco.

A estrutura do HAZOP consiste em palavras guias, desvios, causas, consequências e medidas de controle, exige-se uma equipe multidisciplinar na sua aplicação. A equipe é guiada pelas palavras guias que se relacionam com os desvios e parâmetros estabelecidos para o processo. As reuniões de HAZOP promove uma troca de ideias entre a equipe que uniformiza o grau de conhecimento em relação ao processo avaliado e gerando informações úteis para análises subsequentes, principalmente nas avaliações qualitativas do risco.

Por ser um estudo qualitativo, a mensuração do risco é um ponto crítico para o sucesso do esforço, exigindo um planejamento do estudo em partes gerenciáveis adequadas para análise (MARHAVILAS et al., 2020). Tendo também a oportunidade de agregar uma ferramenta multicritério que permita incorporar riscos associados para o negócio estabelecidos com representantes da alta direção previamente.

2.1.2 Teoria da Utilidade Multiatributo (Multi-attribute Utility Theory – MAUT)

Com a MAUT é possível transformar problemas complexo em uma hierarquia simples, avaliando de forma subjetiva fatores quantitativos e qualitativos, mesmo em cenários de risco e incerteza, assegurando que os decisores escolham a alternativa ótima (AYALA; FRANK, 2013).

A MAUT é baseada na medição das preferências dos decisores pela agregação de pesos para cada atributo avaliado, para que seja montado um critério de síntese único, através de técnicas de ponderação (KEENEY; RAIFFA, 1979). Admite-se apenas duas situações: preferência (P) e indiferença (I). A MAUT não permite a incomparabilidade entre os critérios, porém as preferências e indiferenças devem ser transitivas, ou seja, em três alternativas A, B e C, por exemplo, se A é preferível a B e B é preferível a C, então tem-se A preferível a C. Essas condições formam dois princípios fundamentais da MAUT, a transitividade e a ordenabilidade (CLEMEN; REILLY, 2004)

Na MAUT, cada alternativa de decisão gera uma consequência que é avaliada pelo decisor em cada um dos critérios, sendo formado a função utilidade de cada critério que representa o desejo do decisor associado a um valor do resultado que ele pode obter. Por fim, é estabelecido uma pré-ordem completa, que representa as preferências do decisor.

O método exige uma alta interação entre os envolvidos para a determinação dos pesos (constantes de escala) (SELAMEAB; YEH, 2008). Em um problema, é possível adotar diferentes decisões por decisor, de acordo com a sua disposição em assumir riscos, este comportamento pode ser classificado em três categorias: avesso ao risco, neutro ao risco e propenso ao risco (RAIFFA, 1993).

Quando há incerteza nos problemas de decisão, é possível associar a cada alternativa diferentes consequências e suas probabilidades. Nesse caso, as

alternativas são avaliadas pela utilidade esperada (ALMEIDA; MORAIS; ALMEIDA, 2013).

Após obter os primeiros resultados calculados pela MAUT, é fundamental realizar a análise de sensibilidade, verificando assim se os resultados são sensíveis a certas mudanças em variáveis do modelo, determinando se há um parâmetro que exerça influência crítica na aplicação da função de utilidade multiatributo, ou seja, uma pequena mudança em um valor relativo de atributo, ou no desempenho das alternativas segundo um atributo, pode provocar uma nova ordem global de preferências.

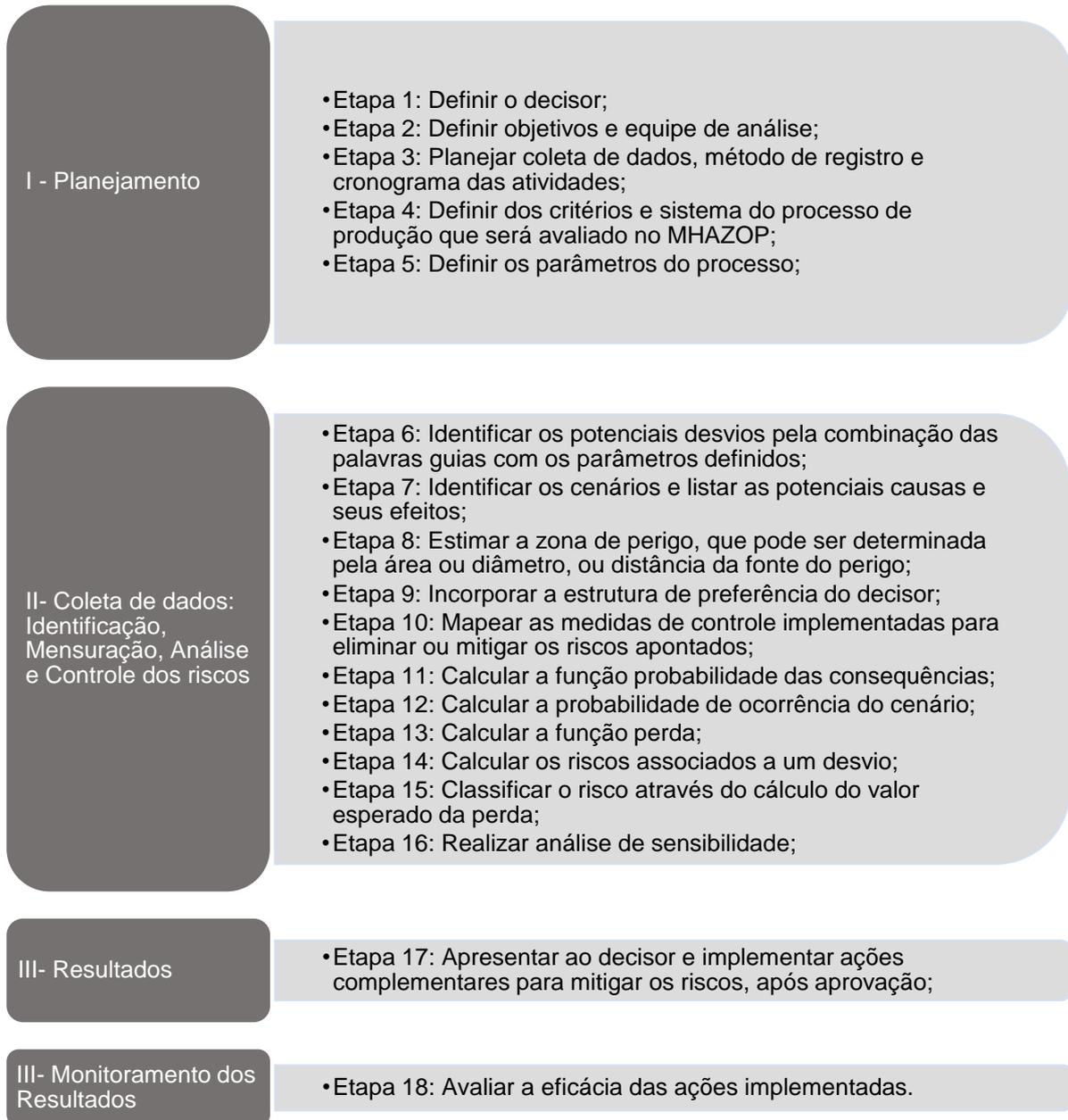
Atualmente as empresas precisam tomar decisões associando vários critérios de diferentes naturezas, essa tomada de decisão se não estruturada também pode ser considerada um risco ao negócio, logo, métodos que auxiliam nesta tomada de decisão tornam-se cruciais e precisam ter a capacidade de avaliar múltiplos cenários (MARHAVILAS et al., 2020).

2.1.3 Multidimensional HAZOP (MHAZOP)

Avaliação de riscos multidimensionais envolve a identificação e análise dos diferentes riscos que podem afetar um sistema, projeto ou organização e a avaliação de seu impacto potencial e probabilidade de ocorrência. Para isso, requer-se uma abordagem abrangente e integrada que leve em consideração as interações e interdependências entre os diferentes riscos (GARCEZ; ALENCAR, 2022).

A análise MHAZOP é um modelo de decisão multicritério que integra a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) com a metodologia HAZOP, proposto por Garcez e Alencar (2022). O MHAZOP é um método construído em dezoito etapas que percorrem a identificação, a mensuração, análise e priorização do risco, envolvendo os atores do processo de decisão que representam a empresa e incluindo nas suas etapas ferramentas que auxiliam nesse processo. As etapas dos MHAZOP neste trabalho foram atreladas aos marcos do processo de gerenciamento de risco, e estão apresentadas na Figura 2. Tais etapas serão detalhadas no estudo de caso.

Figura 2 – Etapas do MHAZOP

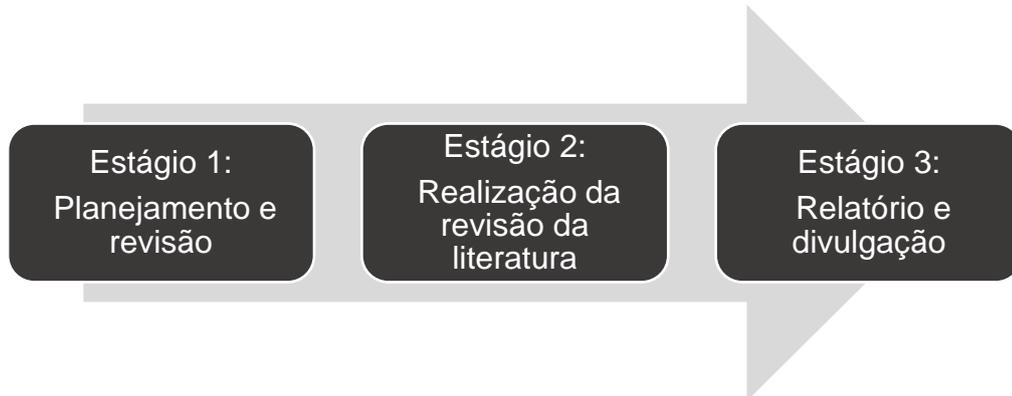


Fonte: Adaptado de Garcez e Alencar (2022).

3 REVISÃO DA LITERATURA

Realizar uma revisão da literatura é uma parte importante de qualquer projeto de pesquisa (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003b). Para tanto, neste trabalho, ocorreu uma adaptação das etapas citadas por Tranfield, Denyer, Smart (2003) para realizar a revisão da literatura, sendo seus estágios apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Adaptação dos estágios de revisão da literatura de Tranfield; Denyer; Smart (2003)



Fonte: Adaptado de Tranfield; Denyer; Smart (2003).

No estágio 1 foi realizado um estudo de escopo para avaliar a relevância e tamanho da literatura e delimitar a área de assunto ou tópico (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003b). Nesse estágio, se faz necessário a identificação da necessidade da revisão, que objetiva identificar na literatura as oportunidades de estudo na área, que podem comprovar a relevância da pesquisa. Além do desenvolvimento de um protocolo de revisão.

No estágio 2 é realizado a seleção do estudo, a avaliação da qualidade do estudo e a extração de dados e monitoramento do progresso.

No estágio 3 é realizado o relatório de recomendações que envolve as análises descritivas e de conteúdo além das diretrizes para praticar as evidências envolvendo a síntese conclusiva.

Aplicando os três estágios e a fim de obter uma visão abrangente acerca da literatura que embasa o presente estudo, pesquisou-se na base Scopus utilizando as palavras-chaves: TITLE-ABS-KEY ("multi-criteria") OR TITLE-ABS-KEY ("multicriteria") AND TITLE-ABS-KEY ("HAZOP"), considerando os últimos dez anos e obtendo assim o resultado de doze artigos que foram avaliados e estão descritos com as metodologias neles utilizadas na Tabela 1 e discutidos neste tópico.

Tabela 1 – Artigos e metodologias aplicadas

Título	Citação	Metodologias utilizadas no artigo
Analysis of hazard identification methods in process industries using analytic network process technique (ANP).	(KHATABAKHSH et al., 2019)	ANP
A HAZOP with MCDM Based Risk-Assessment Approach: Focusing on the Deviations with Economic/ Health/ Environmental Impacts in a Process Industry.	(MARHAVILAS et al., 2020)	HAZOP, AHP
A multi-criteria-based hazard and operability analysis for process safety.	(VIEGAS et al., 2020)	HAZOP, TAHP, FAHP SODA, IFS, FUZZY
Context-Aware Autonomous Security Assertion for Industrial IoT.	(TARIQ et al., 2020)	HAZOP, FMEA
Criticality-based maintenance of a coal-fired power plant.	(MELANI et al., 2018)	HAZOP, FTA, FMECA, ANP, AHP
Identification of critical operational hazards in a biogas upgrading pilot plant through a multi-criteria decision-making and FTOPSIS-HAZOP approach.	(SEVERI et al., 2022)	HAZOP, AHP TOPSIS FUZZY
The integration of HAZOP study with risk-matrix and the analytical-hierarchy process for identifying critical control-points and prioritizing risks in industry – A case study.	(MARHAVILAS et al., 2019)	HAZOP, DMARA, AHP
Multicriteria Decision Analysis for Safety and Economic Achievement Using PROMETHEE: A Case Study.	(RAMZAN et al., 2009)	HAZOP, PROMETHEE
Multidimensional HAZOP analysis (MHAZOP): a comprehensive support to decision-making process in risk management.	(GARCEZ; ALENCAR, 2020)	HAZOP, MAUT
Optimal selection of safety recommendations: A hybrid fuzzy multi-criteria decision-making approach to HAZOP.	(CHERAGHI; ESLAMI BALADEH; KHAKZAD, 2022)	HAZOP, BWM, TOPSIS FUZZY
Risk-based multi-criteria design concept of the ITER SDS getter bed	(YUN et al., 2014)	HAZOP, MATRIZ DE RISCO
Safety-assessment by hybridizing the MCDM/ AHP & HAZOP-DMRA techniques through safety's level-colored maps: Implementation in a petrochemical industry.	(MARHAVILAS et al., 2022)	HAZOP, AHP, DMRA, SLCM

Fonte: A autora (2023).

Khatabakhsh et al. (2019) utiliza o método multicritério ANP (*Analytic Network Process*) para ordenar os métodos que podem ser utilizados para identificação dos perigos e riscos que envolvam produtos químicos nos processos industriais, gerando como ordenamento dos métodos. O método HAZOP foi determinado em primeiro lugar, seguido pelo FMEA (*Failure Mode & Effects Analysis*), ETBA (*Energy Trace and Barrier Analysis*), FTA (*Fault Tree Analysis*), PHA (*Preliminary Hazard Analysis*), SHA

(*System Hazard Analysis*), CA (*Chang Analysis*), O&SHA (*Operability & Support Hazard Analysis*), SWHA (*Software Hazard Analysis*), MORT (*Management Oversight & Risk Tree*), SSHA (*Subsystem Hazard Analysis*), JSA (*Job Safety Analysis*).

Em síntese, observa-se que os autores buscaram através de métodos multicritério incorporado ao HAZOP para atribuir valor (abordagem quantitativa) aos nós avaliados, utilizando metodologias distintas de acordo com o conhecimento do analista que realiza sua aplicação e da problemática descrita.

Originalmente, o estudo HAZOP clássico é a abordagem qualitativa, portanto não se permite atribuir uma priorização dos perigos identificados. Para isso, observa-se nos 11 artigos analisados que a abordagem multicritério permite ao estudo HAZOP a definição de prioridade dos perigos analisados.

Quanto a dimensão temporal, foi observado que a utilização de metodologias agregadas multicritério e HAZOP ganhou força nos últimos cinco anos, possuindo dez entre os doze artigos avaliados neste período. A metodologia AHP e o HAZOP foram a combinação mais utilizada na amostragem, estando presente em quatro amostras.

Foram identificados nos artigos avaliados a interação do estudo HAZOP com os seguintes métodos multicritérios compensatórios: MAUT, AHP, ANP, IFS, TOPSIS FUZZY e DMRA e com o seguinte método não compensatório: PROMETHEE.

Observou-se também a utilização de outras metodologias sendo agregados ao estudo HAZOP, entre eles tem-se o SODA, FTA, FMECA, BWM e SLCM.

Viegas et al. (2020) utiliza a ferramenta SODA na etapa do *Brainstorm* inicial do HAZOP, de forma a empregar os mapas mentais formados pela metodologia para auxiliar na descrição do problema, portando, facilitando a sua visualização.

Melani et al., (2018) utiliza as ferramentas *Fault Tree Analysis* (FTA) e a *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA) na etapa de definição dos desvios e falhas. Neste estudo, o HAZOP é utilizado para identificar desvios nos parâmetros de operação do sistema e identificar suas consequências, em seguida para cada desvio identificado são elencadas as possíveis causas através da aplicação do FTA, em seguida aplica-se o FMECA, uma vez que os eventos listados no FTA são modos de falha de componentes em determinado sistema.

Também é constatado a utilização da ferramenta *Best Worst Method* (BWM) unida ao Fuzzy na etapa de definição de critérios, visando assim encontrar os pesos ótimos

dos fatores de avaliação dos critérios (CHERAGHI; ESLAMI BALADEH; KHAKZAD, 2022).

No estudo de Marhavidas et al. (2022), após a etapa de identificação dos perigos, utiliza-se do *Safety's Level Colored-Maps* (SLCM), como uma forma de mapear de maneira visível, através das cores (vermelho, laranja, amarelo e verde) a criticidade dos perigos encontrados pelo HAZOP, estando estas relações descritas da mais crítica a menos crítica. Essas cores ficam sinalizadas nas tabelas do HAZOP e nas plantas baixas dos processos, sinalizando de forma visual a criticidade do desvio.

Por fim, a agregação da Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT) juntamente com o estudo HAZOP permite a priorização (criticidade) dos desvios (perigos) identificados, considerando a multidimensionalidade das consequências e a estrutura de preferência compensatória do decisor. Para isso, o estudo de Garcez e Alencar (2022) propôs o método MHAZOP (multidimensional HAZOP).

Como foi reforçado por todos os artigos analisados, o estudo do HAZOP apresenta uma boa estrutura para a identificação de perigos e riscos dentro de um processo, tornando-se quantitativo ao somar com uma metodologia MCDA.

Conforme características da problemática de decisão descritos no capítulo do estudo de caso e da estrutura de preferência do decisor, o presente trabalho utilizar-se-á o modelo Multidimensional HAZOP (MHAZOP).

Neste trabalho, a escolha pelo MHAZOP, por sua vez, é pelo mesmo possuir características do HAZOP: envolvimento de uma equipe multidisciplinar, ser uma metodologia que apresenta um passo a passo bem estruturado para a identificação de cenários. Somado as características do MAUT: atributos que são independentes um do outro, simplicidade em sua aplicação e capacidade de converter os atributos qualitativos em quantitativos, preferências do decisor que podem ser quantificadas e representadas através de uma função de utilidade multiatributo.

4 ESTUDO DE CASO

O presente trabalho realizou um estudo de caso realístico em uma indústria do setor automotivo, que terá sua identidade preservada. A empresa avaliada, de acordo com a NR-04, se enquadra como grau de risco quatro, o que torna mais relevante a necessidade de um bom gerenciamento de risco.

A empresa em questão é constituída por quatro setores ligados diretamente ao seu processo produtivos e que foram avaliados neste estudo, que são eles: setor de armazenamento dos insumos, mistura e fundição dos insumos, molde, desmolde e reparo das peças, estocagem das peças finais. A empresa possui aproximadamente cerca de cento e oitenta colaboradores ligados ao setor produtivo, que se dividem em três turnos, além de cerca de setenta colaboradores que ficam ligados a áreas de apoio destes setores produtivos.

Figura 4– Fluxo dos setores do processo produtivo avaliados.



Fonte: A autora (2023).

Na área de armazenamento e mistura dos insumos, há a presença em grande volume, cerca de 30m³, de cada um dos seis produtos que são armazenados, todos eles se encontram em estado sólido. Quatro desses insumos apresentam estabilidade e não oferecem perigo em sua composição, os outros dois produtos apresentam risco, sendo a matéria prima A, um explosivo, e a matéria prima B, um corrosivo, que é incompatível com a matéria prima A, ambas apresentam características de estabilidade desde que o ambiente onde estão armazenadas estejam com os controles instalados que garantam as condições adequadas para o seu armazenamento, sendo estes controles ligados a ventilação adequada do local, controle da umidade, separação física entre os químicos, controle da temperatura do local de armazenamento.

Quando não são respeitadas as características do local de armazenamento recomendadas, aumenta o risco de formação de névoa ou poeira química, além de possibilidade de pontos focais de explosões/incêndio, devido ao grande volume e localização da planta próximo a comunidade, acidentes nesta área podem gerar impactos irreversíveis para o meio ambiente.

Neste setor, não há presença de postos de trabalho fixos, mas há entrada e saída de máquinas com operadores que fazem a movimentação destes insumos para o setor de fundição, que é o próximo setor na sequência do processo produtivo de fabricação das peças.

O setor seguinte do processo é onde ocorre a mistura e fundição dos insumos, neste setor há postos de trabalho fixos que são responsáveis pelo monitoramento e regulagem dos fornos que recebem a mistura dos insumos. A mistura é feita antes do processo de fundição durante a movimentação dos insumos. O risco está presente durante o processo de aquecimento dessa mistura, devido a reação de alguns dos componentes, por isso necessário o monitoramento contínuo.

O terceiro setor que caracteriza este estudo é o de molde, que é onde a mistura, ainda em alta temperatura, é posta em moldes que vão dar o formato da peça. Apesar de ser automatizado esse processo, há presença de postos fixos que fazem a limpeza de excessos que extravasam as formas e que lidam em um ambiente que há a presença de vapores oriundos do processo de resfriamento natural e o automático destes moldes que são encaminhados por esteiras para o processo seguinte que é o de desmolde, na qual por sua vez a peça é retirada do molde de forma automatizada, porém há intervenções de colaboradores para inspeções de qualidade e quando necessário a retirada de rebarba.

O último setor é o de processo de estocagem das peças finais, que é feito por parte operacional e após formação de lotes de peças o carregamento é por máquinas.

As equipes de apoio, apesar de não estarem fisicamente alocadas nesta extensão dos setores produtivos, ficam a cerca de vinte metros desta área, podendo, a depender do raio de alcance de um possível sinistro, ser atingida, bem como a comunidade que fica a cerca de um quilômetro. Além disso, algumas equipes de apoio como manutenção, saúde e segurança e qualidade, transitam constantemente dentro do processo produtivo e podem ser afetadas diretamente caso tenha algum acidente devido falta de controle dos riscos ocupacionais.

Em todo o processo produtivo, os setores não possuem divisões físicas, sendo separados apenas por distanciamento geográfico, e apresentam riscos ocupacionais relevantes para o negócio, atrelados a todas as suas etapas do processo. Alguns desses riscos são mais críticos e necessitam de uma atuação primordial em relação aos demais, estabelecendo assim uma ordem de prioridade para direcionar em tomadas de decisão as ações a serem realizadas. Logo, será utilizada o método Multidimensional HAZOP (MHAZOP), seguindo as dezoito etapas definidas dentro do método (conforme mostrado na Figura 2).

4.1 Planejamento

4.1.1 Etapa 1: definição do decisor

O decisor neste processo é o gerente corporativo de segurança do trabalho da organização, definido por ser a figura que é o laço entre a operação e a alta direção, responsável por nortear a organização ao alcance dos seus objetivos estratégicos que abrangem o tema segurança e por gerir os riscos críticos de forma a neutralizar impactos negativos ao negócio.

4.1.2 Etapa 2: definição dos objetivos e equipe de análise

A equipe que participou desse processo tem como especialistas três engenheiros de segurança e dois técnicos de segurança do trabalho que são responsáveis diretamente pelo gerenciamento dos riscos ocupacionais junto aos processos produtivos na área produtiva. Além destes, temos o papel de um analista, que será o analista da área que é o responsável pela aplicação do método MHAZOP. O objetivo geral é ordenar e priorizar os riscos ocupacionais críticos da organização que podem afetar seus colaboradores e/ou sua imagem, colocando em risco objetivos estratégicos ligados a satisfação dos seus colaboradores e o crescimento da marca junto aos seus parceiros de negócio. Sendo esperado obter uma ordem que direcione o decisor na tomada de decisão. Logo, temos como objetivos específicos:

- I. Minimizar o dano as pessoas, sejam elas colaboradores ou não;
- II. Minimizar o impacto negativo a imagem da organização;
- III. Minimizar a irreversibilidade do dano operacional.

Define-se que o dano as pessoas é qualquer acidente/incidente que gera lesões físicas ou psicológicas, ou ainda uma doença que pode ser crônica ou aguda. O impacto a imagem da organização é definido como qualquer situação que possa gerar

uma mudança de percepção dos stakeholders da organização, podendo ser algo positivo ou negativo, a imagem da empresa por sua vez é um bem intangível, que define como ela é percebida por seus colaboradores, clientes, comunidade, investidores e demais stakeholders. O impacto na imagem da empresa quando falamos de riscos ocupacionais, forma a percepção dos stakeholders em relação aos valores da empresa atrelados ao cuidado com suas pessoas, seu patrimônio e o meio onde está situada.

O dano operacional, por sua vez é caracterizado como falhas ou situações que interrompe a funcionalidade da operação, como uma quebra de máquina ou um incêndio, por exemplo. Sua irreversibilidade é definida pela capacidade de reverter este dano operacional ao cenário inicial.

Os objetivos específicos foram definidos junto ao decisor e representam pontos importantes para a empresa em um nível estratégico, em outras organizações o contexto avaliado pode trazer outros objetivos ligados a qualidade ou outros itens de sustentabilidade do negócio, por isso é importante a criação e validação deles com o decisor, além da comunicação destes para a equipe de análise.

4.1.3 Etapa 3: Planejamento da coleta de dados, método de registro e cronograma das atividades

A coleta de dados ocorreu por meio de um brainstorming conduzido pelo analista junto a equipe de especialistas da organização, formada por representantes das áreas de manutenção, produção e segurança.

A técnica de brainstorming permite a equipe relate os pontos que considera críticos dentro o processo sem julgamento ou quantificação prévia, uma equipe multifuncional possui visões diferentes do processo e podem identificar riscos diferentes, logo o foco desta etapa de coleta de dados é essa identificação de riscos em óticas distintas para que seja mapeado o maior número de riscos possíveis, para só posteriormente ocorrer a avaliação e mensuração.

Toda a equipe, que também inclui a figura do decisor, recebeu orientações sobre o objetivo do trabalho, onde foi explicado o que é o brainstorming, o que são riscos ocupacionais, qual o espaço/processos da empresa que serão avaliados e devem ser considerados para suas respostas, o que será feito com os dados levantados posteriormente através do passo a passo do MHAZOP.

As informações coletadas foram inseridas na Tabela 2, elaborada de forma a atender aos passos descritos no MHAZOP. Esse processo, ocorreu conforme o planejamento a seguir:

- a) Identificar os atores do MHAZOP;
- b) Explicar o MHAZOP ao decisor;
- c) Definir o espaço a ser avaliado e os critérios junto ao decisor;
- d) Explicar o MHAZOP, o espaço e os critérios definidos pelo decisor aos especialistas;
- e) Realizar brainstorming junto a equipe de especialistas;
- f) Registrar as informações em tabela;
- g) Ordenar os riscos críticos levantados;
- h) Apresentar o resultado do MHAZOP para o decisor.

4.1.4 Etapa 4: definição dos critérios e sistema do processo de produção que será avaliado no MHAZOP

Nesta aplicação do MHAZOP foi realizado em uma planta industrial, que aqui denomina-se de empresa alfa. Ela foi selecionada devido ao número de eventos que ocorreram nos últimos dois anos precedentes ao início da aplicação do MHAZOP e que afetaram ou possuíam potencial de afetar a segurança dos colaboradores da organização e por consequência a imagem da empresa.

O decisor, além da seleção do espaço a ser avaliado, é o responsável por definir quais os critérios que deve ser considerado no MHAZOP. Estes devem representar pontos que podem causar impactos, positivos ou negativos, ao atingimento dos objetivos estratégicos da organização e assim o direciona para uma tomada de decisão assertiva. Logo, o decisor definiu três critérios que estão ligados diretamente aos objetivos definidos e para priorizar os que apresentam maior risco sempre será mais relevante os avaliados com o maior valor absoluto dentro dos critérios, pois todos os critérios apresentam uma relação de quanto maior pior o dano, são eles:

- C_1 – Dano as pessoas: representa o potencial do dano nas pessoas que o risco ocupacional pode gerar, o dano pode ser visto em uma escala aonde vai desde um pequeno arranhão, corte, amputação a até mesmo algo fatal, podendo ser relacionado também a doenças ocupacionais;

- C_2 – Impacto negativo a imagem da empresa: representa o potencial de que um evento gerado por um risco ocupacional possa ocasionar a imagem da empresa, ou seja, um impacto que não consiga ser mitigado internamente, ultrapassando os limites da organização, atingindo a comunidade. São exemplos: um incêndio grave, que gere explosões ou não possa ser mitigado apenas com os profissionais de brigada de emergência interna; um acidente fatal ou grave; um vazamento de gás ou de outro produto químico que possa gerar contaminação ou explosão, grande número de pessoas contaminadas por exposição a algum agente nocivo, acidentes de trabalho envolvendo químicos;
- C_3 – Reversibilidade do dano operacional: representa a capacidade de reverter um dano ocasionado devido a uma falha ou situação que impacta no resultado operacional. A escala desse critério vai uma falha na programação da máquina que é reversível e volta a condição inicial a até uma reação de químicos seguido de incêndio que não pode ser revertida.

4.1.5 Etapa 5: definição dos parâmetros do processo

Nesta etapa define-se os parâmetros do processo. Os parâmetros foram definidos de acordo com cada um dos processos mapeados, eles são características que precisam ser controladas pois podem gerar um risco caso apresentem variação no cenário, logo tem-se que os parâmetros dos processos (j) possuem uma relação com as palavras-guia (g) que foram definidas de acordo com comportamentos que podem ocorrer e gerar uma interferência no processo que gere risco.

Ambos foram descritos diretamente na Tabela 2, na coluna PARÂMETROS (j) e PALAVRA GUIA (g). À medida que as palavras-guia vão chamando elementos que possuem parâmetros, podendo ser eles de temperatura, umidade, pressão, fluxo, entre outros.

4.2 Coleta de dados: Identificação, Mensuração, Análise e Controle dos Riscos

4.2.1 Etapa 6: identificação dos potenciais desvios pela combinação das palavras guia com os parâmetros definidos

Nesta etapa é descrito os desvios (d) e a avaliação da criticidade do impacto da combinação dos desvios $d(i, j \times j, g \times g)$, onde a identificação dos potenciais desvios,

foi realizada através da combinação das palavras guias com os parâmetros definidos, identificando assim os desvios e a criticidade do impacto dessa combinação.

Para isso, foram considerados os seguintes parâmetros (*j*) ou a combinação deles:

- Temperatura;
- Umidade;
- Distância no armazenamento de matéria prima;
- Pressão;
- Volume;
- Nível;
- Fluxo;
- Corrente elétrica.

Para as palavras-guias foram consideradas as seguintes ou a combinação delas:

- maior que
- menor que
- nenhum
- reverso

Os desvios encontrados são descritos na Tabela 2 no campo DESVIO (*d*). Foram encontrados 22 desvios relevantes dentro do processo analisado. Destaca-se que os desvios 7, 8, 10 e 21 são múltiplos parâmetros que podem ocorrer simultaneamente, essa análise da relação é relevante para avaliar desvios que individualmente não tem destaque, mas que combinados podem gerar graves consequências.

4.2.2 Etapa 7: identificação dos cenários e listar potenciais causas e seus efeitos

Nesta etapa, após identificado os desvios é listado os potenciais causas e os seus efeitos, que são descritos de acordo com o relatado pela equipe técnica da empresa.

As causas podem estar relacionadas a falhas sistêmicas, como falta de um procedimento e/ou quebra de um equipamento, ou podem ser atrelados a falhas operacionais, como o não cumprimento de procedimentos já estabelecidos.

Os efeitos, por sua vez, são relacionados as causas e foram descritos através de informações relatadas pela equipe técnica e ficha de dados dos produtos químicos.

Nas colunas CAUSA e EFEITO da Tabela 2, foram descritos o resultado do levantamento de campo. Além disto, nesta etapa, é identificado fatores inerentes ao

sistema que estão fora do controle e que podem interferir para um agravamento do desvio, para este caso temos para cada causa e efeito um único estado da natureza (θ). Para cada θ , existe uma probabilidade associada e pode ser visualizada na coluna $\pi(\theta)$ da Tabela 2. Além disso, considera-se a probabilidade do estado da natureza de normalidade (θ_N), na qual considera-se a probabilidade de o processo estar funcionando dentro da normalidade.

4.2.3 Etapa 8: definição da zona de perigo

Na determinação da zona de perigo, considerou-se o potencial de alcance, a partir da fonte do risco ocupacional, que o efeito poderia atingir, logo identificou-se as seguintes áreas:

- I. Máquina: o efeito do risco tem potencial de atingir somente a máquina, são exemplos, princípio de incêndio pontual na máquina, quebra da máquina, curto-circuito no painel interno da máquina, falha nos dispositivos de segurança da máquina, entre outros;
- II. Setor: o efeito do risco tem potencial de atingir todo o setor no entorno do ponto inicial da falha, como por exemplo: incêndio que afeta o setor, queima de uma fonte elétrica setorial, nuvem de químicos que se alastra pelo setor, entre outros.
- III. Planta industrial: o efeito do risco tem potencial de atingir toda a planta, como por exemplo, um incêndio de alta proporção, um vazamento de produto químico em maior escala, um vazamento de vapores tóxicos, vazamento de gás que atinge a planta inteira;
- IV. Comunidade: o efeito do risco tem potencial de causar um dano que atinge a comunidade, como um vazamento de produto químico que não seja contido na instalação, explosões, grandes incêndios, acidentes graves com os colaboradores.

O resultado da avaliação encontra-se na Tabela 2, na coluna de ZONA DE PERIGO.

Tabela 2 – Função utilidade, desempenho dos cenários de desvios nos critérios da empresa alfa

	etapa 5		etapa 6	etapa 7- cenário				etapa 12	etapa 8	etapa 10
	parâmetros (j)	palavra guia (g)	desvio (d)	causa	efeito	estado da natureza (θ)	$\pi(\theta)$	$\pi(\theta_n)$	zona de perigo	medidas de controle
desvio 1	temperatura (armazenamento de matéria prima A-explosiva)	maior que	Temperatura de armazenamento da matéria prima A(explosiva) maior que 280°C	1- Enclausuramento da matéria prima A(explosiva) não proporcionando o resfriamento necessário durante o seu acondicionamento.	combustão espontânea gerando durante a queima vapores tóxicos.	θ_1 : combustão com geração de vapores tóxicos devido aumento de temperatura.	1,25E-05	0,9999875	planta industrial	1- Manter a ventilação do ambiente através da troca de ar gerada pela abertura dos portões 2 - Colaboradores treinados para realizar acondicionamento da matéria prima contemplando seu resfriamento de acordo com o necessário. 3- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão
desvio 2		menor que	Temperatura de armazenamento da matéria prima A(explosiva) menor que 20°C	1- Frente fria durante períodos no inverno da região impactam na temperatura do ambiente de armazenamento da matéria prima, já que não há controle desta temperatura de forma automatizada.	impacto na temperatura da mistura gerando necessidade de maior tempo no processo de preparo da matéria prima pré mistura e fundição	θ_2 : maior tempo de preparação (devido ajuste para atender temperatura)	6,25E-05	0,9999375	setor	1- Treinamento do operador no procedimento de mistura da matéria prima para manter aquecimento uniforme e dentro do padrão necessário;
desvio 3	umidade (matéria prima A-explosiva)	maior que	Umidade da matéria prima A(explosiva) maior que 30%	1- Falha operacional no processo de resfriamento por gotejamento da matéria prima 2- armazenamento inadequado da matéria prima ocasionando contato excessivo com água do piso externo ao local de armazenamento	necessidade de maior tempo no processo de preparo da matéria prima pré mistura e fundição	θ_3 : maior tempo de preparação (devido ajuste para atender umidade maior que o padrão na matéria prima A(explosivo))	1,50E-03	0,9985	setor	1- Procedimentos operacionais para descrever os padrões de resfriamento adequado para a matéria prima
desvio 4		menor que	Umidade da matéria prima A(explosiva) menor que 16%	1- Armazenamento inadequado da matéria prima, onde a mesma não é resfriada por gotejamento durante seu armazenamento	necessidade de maior tempo no processo de preparo da matéria prima pré mistura e fundição	θ_4 : maior tempo de preparação (devido ajuste para atender umidade menor que o padrão na matéria prima	6,25E-05	0,9999375	setor	1- Procedimentos operacionais para descrever os padrões de resfriamento adequado para a matéria prima A(explosiva).
desvio 5	distância no armazenamento entre matéria prima	maior que	Distância para a fonte de calor irradiante (forno), no armazenamento de matéria prima A(explosiva), maior que 25m	1- Volume de matéria prima acima da capacidade de armazenamento da local, necessitando o acondicionamento indevido da matéria prima	armazenamento inadequado (céu aberto) que também ocasiona necessidade de mudança de rota no processo (maior tempo), maior exposição à intempéries	θ_5 : armazenamento inadequado da matéria prima A(explosivo)	1,25E-04	0,999875	setor	1- Treinamento do operador no procedimento de armazenamento 2- sinalização ao fornecedor sobre a capacidade de recebimento do insumo 3- estruturação do espaço maior

										par armazenamento do excedente da matéria prima
desvio 6		menor que	Distância da fonte de calor (forno) no armazenamento de matéria prima A(explosiva) menor que 10m	1- Baias de armazenamento próximas a fonte de calor	combustão espontânea e geração de vapores tóxicos.	θ_6 : combustão com geração de vapores tóxicos devido aumento de temperatura.	1,25E-04	0,999875	planta industrial	1- Baias de armazenamento demarcadas 2- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão
desvio 7	temperatura + distância de armazenamento (matéria prima A-explosiva)	maior que + menor que	Temperatura da matéria prima A(explosiva) maior que 280°C e distância de armazenamento da matéria prima A(explosiva) menor que 10m da fonte de calor	1 - Enclausuramento da matéria prima e falta de resfriamento no seu acondicionamento 2 - Locais de armazenamento próximos a fonte de calor	combustão espontânea gerando durante a queima vapores tóxicos.	θ_7 : combustão devido falta de ventilação e proximidade a fonte de ignição.	1,56E-09	0,9999999 9844	planta industrial	1- Manter a ventilação do ambiente através da troca de ar gerada pela abertura dos portões 2- colaboradores treinados para realizar acondicionamento da matéria prima contemplando seu resfriamento de acordo com o necessário. 3- baias de armazenamento demarcadas 4- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão
desvio 8	temperatura + distância de armazenamento (matéria prima A-explosiva) + umidade	maior que + menor que + menor que	Temperatura da matéria prima a maior que 280°C e distância de armazenamento da fonte de calor (forno) da matéria prima A(explosiva) menor que 10m e umidade da matéria prima A(explosiva) menor que 16%	1 - enclausuramento da matéria prima A(explosivo) e falta de resfriamento no seu acondicionamento 2 - Baias de armazenamento próximas a fonte de calor (forno) 3- Armazenamento inadequado da matéria prima A(explosivo), onde a mesma não é resfriada durante seu armazenamento	combustão espontânea gerando durante a queima vapores tóxicos.	θ_8 : combustão ocasionada pela junção da falta do aumento da temperatura, menor umidade e proximidade do ponto de ignição.	9,77E-14	1	planta industrial	1- Manter a ventilação do ambiente através da troca de ar gerada pela abertura dos portões 2- colaboradores treinados para realizar acondicionamento da matéria prima contemplando seu resfriamento de acordo com o necessário. 3- baias de armazenamento demarcadas 4- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão
desvio 9	umidade (matéria prima B-corrosiva)	maior que	Umidade da matéria prima B(corrosiva) maior que 3%	1- Armazenamento inadequado da matéria prima	necessidade de maior tempo no processo de preparo da matéria prima pré mistura e fundição	θ_9 : maior tempo de preparação (devido ajuste para atender umidade maior que o padrão na matéria prima B(corrosivo))	1,50E-03	0,9985	setor	1- Procedimentos operacionais para descrever os padrões de resfriamento adequado para a matéria prima 2- Baias de armazenamento demarcadas
desvio 10	umidade da mistura (matéria prima A(explosivo) + matéria prima B-corrosiva)	maior que	Umidade da mistura entre a matéria prima A(explosiva) e B(corrosivo) maior que 15%	1- Falha operacional no processo de resfriamento da matéria prima A(explosivo) 2- armazenamento inadequado da matéria prima B(corrosivo)	reações (explosões menores) da mistura no momento de fundição devido o excesso de água	θ_{10} : explosões no forno com formação de vapores tóxicos	2,25E-06	0,9999977 5	planta industrial	1- Procedimentos operacionais para descrever os padrões de resfriamento adequado para a matéria prima 2- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão

desvio 11		maior que	Pressão maior que 4 bar	1- Sistema de controle de pressão desregulado ou quebrado	consumo elevado de gás, causando rompimento da tubulação de gás	θ_{11} : rompimento da tubulação com incêndio.	1,25E-04	0,999875	comunidade	1- Manutenção do sistema de controle da pressão 2- treinamento do operador no procedimento 3- Rotinas de inspeção e manutenção do sistema de proteção e combate a incêndio
desvio 12	pressão (2,5 bar)	menor que	Pressão menor que 2 bar	1- Sistema de controle de pressão desregulado ou quebrado 2- tubulação com vazamento	perda de eficiência dos queimadores	θ_{12} : queimadores não mantém a chama acessa e gera vazamento de gás.	1,25E-04	0,999875	planta industrial	1- Manutenção do sistema de controle da pressão 2- inspeção e manutenção periódica da tubulação 3- treinamento do operador no procedimento 4- Rotinas de inspeção e manutenção do sistema de proteção e combate a incêndio
desvio 13	temperatura na atividade lingotamento (adequado 1200°C)	maior que	Temperatura na atividade de lingotamento maior que 1.700°C	1- Erro do operador na regulação da fonte de calor 2- equipamento respondendo de forma errada ao comando 3- termômetro de monitoramento informando valores errados	componentes da mistura evapora, gerando vapores tóxicos no ar	θ_{13} : vazamento tóxico com devido aumento de temperatura interior do galpão.	6,25E-04	0,999375	planta industrial	1- Treinamento do operador no procedimento 2- manutenção dos equipamentos da chama 3- inclusão da termômetro no plano de manutenção para calibração periódica 4- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão
desvio 14	temperatura na atividade lingotamento (adequado 1200°C)	menor que	Temperatura na atividade de lingotamento menor que 330°C	1- Erro do operador na regulação da fonte de calor 2- equipamento respondendo de forma errada ao comando 3- termômetro de monitoramento informando valores errados	mistura solidifica, causando entupimento das tubulações conectadas.	θ_{14} : entupimento da tubulação com vazamento de gás devido aumento da pressão.	1,25E-04	0,999875	planta industrial	1- Treinamento do operador no procedimento 2- manutenção dos equipamentos da chama 3- inclusão da termômetro no plano de manutenção para calibração periódica 4- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão
desvio 15	volume (2% da matéria prima A-explosiva, na mistura)	menor que	Volume da matéria prima A(explosiva) na mistura menor que 2%	1- Receita errada 2- Erro do operador na seleção de componentes da mistura 3- Falta do componente 4- Balança desregulada	não atingimento do produto final (liga metálica) deste processo esperado	θ_{15} : perda do lote com maior exposição aos químicos na retirada do produto do recipiente de mistura.	6,25E-04	0,999375	máquina	1- Padrão visual da receita 2- treinamento periódico dos operadores 3- controle de estoque 4- inclusão da balança no plano de manutenção para calibração periódica 5- Realização de exames periódicos com os colaboradores expostos aos químicos

desvio 16		maior que	Volume da matéria prima A(explosiva) na mistura maior que 3%	1- Receita errada 2- Erro do operador na seleção de componentes da mistura 3- Falta do componente 4- Balança desregulada	reações que podem causar explosões no processo produtivo	θ_{16} : explosão no processo seguido de nuvem de químicos tóxicos no ar.	6,25E-04	0,999375	comunidade e	1- Padrão visual da receita 2- Treinamento periódico dos operadores 3- Controle de estoque 4- Inclusão da balança no plano de manutenção para calibração periódica 5- Treinamento do operador no procedimento 6- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão 7- Rotinas de inspeção e manutenção do sistema de proteção e combate a incêndio
desvio 17		maior que	Nível de água na central de abastecimento maior que 100%	1- Sensor de nível quebrado ou desregulado	vazamento de água da torre de resfriamento	θ_{17} : vazamento de água seguido de um alagamento da estação de trabalho podendo ocasionar quedas	1,00E-03	0,999	setor	1- Sensor de nível no plano de manutenção 2- Treinamento do operador no procedimento 3-Sinalizações de segurança que aviso do risco de queda na área
desvio 18	nível da água na central de abastecimento (90% da capacidade total)	menor que	Nível de água na central de abastecimento menor que 90%	1- Sensor de nível quebrado ou desregulado 2- Bomba quebrada 3- Válvula alimentadora quebrada 4- Filtros da bomba tapados 5- Válvula fechada 6- Falta de energia	falta de água na tubulação responsável pelo resfriamento do sistema.	θ_{18} : falta de água com superaquecimento e a geração de vapores tóxicos.	4,00E-04	0,9996	setor	1- Sensor de nível no plano de manutenção 2- Manutenção da bomba, das válvulas, dos filtros. 3- Padrão visual da direção da válvula 4- Outra fonte de energia para ligar a bomba (mecânica à diesel) 5- Treinamento do operador no procedimento 6- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão 7- Realização de exames periódicos com os colaboradores expostos aos químicos
desvio 19	fluxo (água na tubulação de resfriamento)	nenhum	Sem fluxo de água na tubulação de resfriamento	1- Falta de água 2- entupimento ou vazamento na tubulação 3- sistema de contato com a bomba danificado 4- válvulas fechadas	não resfriamento do sistema, causando superaquecimento	θ_{19} : superaquecimento do sistema com geração de vapores tóxicos	1,25E-04	0,999875	planta industrial	1- Manutenção da bomba, das válvulas, dos filtros 2- manutenção e limpeza periódica da tubulação 3- manutenção do sistema da bomba 4- padrão visual da posição da válvula 5- treinamento do operador no procedimento

										6- Realização de exames periódicos com os colaboradores expostos aos químicos 7- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão
desvio 20		reverso	Fluxo de água na tubulação de resfriamento reverso	1- Ajuste da bomba invertido	não resfriamento do sistema, causando superaquecimento	θ_{20} : superaquecimento do sistema com geração de vapores tóxicos	1,25E-04	0,999875	planta industrial	1- Padrão visual do ajuste da bomba 2- Treinamento do operador no procedimento 3- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão
desvio 21	volume + temperatura	maior que	Volume da matéria prima A(explosiva) na mistura maior que 3% e temperatura na atividade de lingotamento maior que 1000°C	1- Erro do operador na regulagem da fonte de calor 2- equipamento respondendo de forma errada ao comando 3- termômetro de monitoramento informando valores errados 4- receita errada 5- erro do operador na seleção de componentes da mistura 6- falta do componente 7- balança desregulada	componentes da mistura evapora, gerando vapores tóxicos no ar e reações que podem causar explosões no processo produtivo	θ_{21} : superaquecimento com explosões e formações de gases tóxicos.	3,91E-07	0,99999961	comunidade e	1- Treinamento do operador no procedimento 2- manutenção dos equipamentos da chama 3- inclusão do termômetro no plano de manutenção para calibração periódica 4- padrão visual da receita 5- treinamento periódico dos operadores 6- controle de estoque 7- inclusão da balança no plano de manutenção para calibração periódica 8- treinamento do operador no procedimento 9- Manutenção dos filtros de manga do sistema de exaustão 10- Rotinas de inspeção e manutenção do sistema de proteção e combate a incêndio
desvio 22	corrente elétrica (380V)	menor que	Corrente elétrica menor que a tensão da máquina (380V).	1- Inexistência de corrente elétrica por causa de falhas na rede elétrica	falha em todos os sistemas eletrônicos e consequente falta de controle de condições de operação.	θ_{22} : parada dos processos e sistemas automatizados de proteção por falha elétrica	2,50E-04	0,99975	planta industrial	1- Manutenção preventiva da rede de abastecimento elétrico.

Fonte: Autora (2023).

4.2.4 Etapa 9: incorporar a estrutura de preferência do decisor

Para cada um dos objetivos definidos pelo decisor é preciso definir um atributo ou critério para representá-lo. Nesta etapa, é incorporada a estrutura de preferência do decisor que foi identificada por meio de uma entrevista conduzida pelo analista.

Para as funções utilidade, temos que:

- $U(C_1)$ representa a função utilidade da dimensão dano as pessoas;
- $U(C_2)$ representa a função utilidade da dimensão impacto negativo a imagem da empresa;
- $U(C_3)$ representa a função utilidade da dimensão irreversibilidade do dano.

Para os desvios identificados, tem-se desempenhos (níveis) diferentes em cada critério definido e a sua utilidade, definidas assim pelo decisor, baseado nas seguintes classificações:

C_1 - Danos as pessoas:

$C_1 = 0$: Sem danos à saúde;

$C_1 = 1$: Ferimentos ou doenças leves (sem afastamento);

$C_1 = 2$: Ferimento ou doença com afastamento (ferimentos que podem causar afastamento com mais de um dia de trabalho, intoxicação por vapores tóxicos, doenças agudas, porém passíveis de cura, entre outras.);

$C_1 = 3$: Doenças crônicas e mortes.

C_2 - Impacto negativo a imagem da empresa:

$C_2 = 0$: Não afeta a imagem;

$C_2 = 1$: Afeta a imagem para stakeholders internos;

$C_2 = 2$: Afeta a imagem para stakeholders internos e externos.

C_3 - Reversibilidade do dano operacional:

$C_3 = 0$: Não afeta a operação;

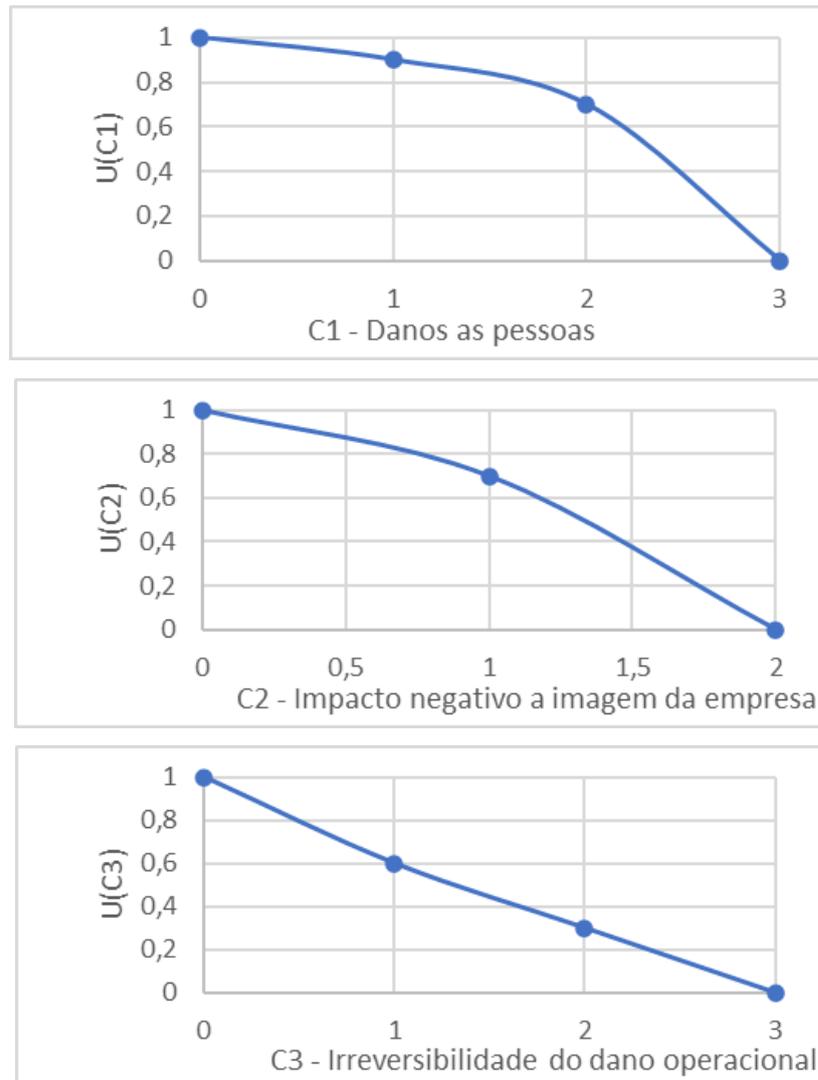
$C_3 = 1$: Reversível em nível de máquina;

$C_3 = 2$: Reversível em nível de setor (passar para outro setor para consertar);

$C_3 = 3$: Dano totalmente irreversível.

Diante desses níveis de consequências em cada critério, o decisor obteve a seguintes curvas de utilidade conforme mostrado na Figura 4.

Figura 5 – Curvas de utilidade para as dimensões de consequência C_1 , C_2 e C_3 .



Fonte: Autora (2023).

A concavidade da curva de utilidade permite interpretar sobre o comportamento do decisor frente ao risco. Portanto, da Figura 5 observa-se a aversão ao risco nas dimensões de consequência dano às pessoas (C_1) e impacto a imagem da empresa (C_2). Em contrapartida, o decisor possui um comportamento propenso ao risco referente a dimensão de consequência irreversibilidade do dano operacional (C_3). Os valores das utilidades para cada desvio identificados estão mostrados na Tabela 3, nas colunas 5-7.

Os valores de utilidade para cada desvio, critério e consequência estão descritos na Tabela 3, onde é possível visualizar que o decisor no critério C1 “Dano às pessoas”, mensurou em três desvios (D11, D16, D21) o cenário mais crítico que é $C_1 = 3$: Doenças crônicas e mortes. Já no critério C2 “Impacto negativo a imagem da

empresa”, o decisor mensurou em treze desvios (D1, D6, D7, D8, D10, D11, D13, D14, D16, D18, D19, D20, D21) o cenário mais crítico que é o $C_2 = 2$: Afeta a imagem para stakeholders internos e externos.

No critério C3 “Reversibilidade do dano operacional”, o decisor mensurou dez desvios no cenário mais crítico (D1, D6, D7, D8, D10, D11, D13, D14, D16 e D21) que é o $C_3 = 3$: Dano totalmente irreversível.

Para a análise inter-critério, é preciso estimar as constantes de escala (K_n) correspondentes a cada um dos critérios. Para isso, foi definido por meio de um procedimento de elicitación baseados em comparações de loterias, resultando assim os seguintes valores: $K_1 = 0,50$; $K_2 = 0,35$; $K_3 = 0,15$. Onde, $K_1 + K_2 + K_3 = 1$.

Para melhor aplicação e visualização dos próximos passos da metodologia HAZOP, foi elaborado a Tabela 3, sendo as respectivas legendas para as colunas referentes aos seguintes valores:

- (1): Relação dos desvios;
- (2): Desempenho dos desvios no critério 1 (C1);
- (3): Desempenho dos desvios no critério 2 (C2);
- (4): Desempenho dos desvios no critério 3 (C3);
- (5): valores das utilidades dos desvios no critério 1 (C1);
- (6): valores das utilidades dos desvios no critério 2 (C2);
- (7): valores das utilidades dos desvios no critério 3 (C3);
- (8): função perda dos desvios no critério 1 (C1);
- (9): função perda dos desvios no critério 2 (C2);
- (10): função perda dos desvios no critério 3 (C3);
- (11): risco associado aos desvios;
- (12): classificação do risco através do cálculo do valor esperado da perda.

Tabela 3 – Matriz de quantitativa e riscos dos desvios avaliados

Pesos (K)	0,50	0,35	0,15								
Tipo	MIN	MIN	MIN								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
	C1 - Dano as pessoas	C2 - Impacto negativo a imagem da empresa	C3 - Reversibilidade do dano operacional	U(C1)	U(C2)	U(C3)	L(U(C1))	L(U(C2))	L(U(C3))	Valor de risco	Rank
Desvio 1	2	2	3	0,70	0,00	0,00	-0,70	0,00	0,00	-0,9999918750000	16
Desvio 2	0	0	1	1,00	1,00	0,60	-1,00	-1,00	-0,60	-0,9999962500000	17
Desvio 3	0	0	1	1,00	1,00	0,60	-1,00	-1,00	-0,60	-0,9999100000000	7
Desvio 4	0	0	1	1,00	1,00	0,60	-1,00	-1,00	-0,60	-0,9999962500000	17
Desvio 5	0	1	1	1,00	0,70	0,60	-1,00	-0,70	-0,60	-0,9999793750000	15
Desvio 6	2	2	3	0,70	0,00	0,00	-0,70	0,00	0,00	-0,9999187500000	9
Desvio 7	2	2	3	0,70	0,00	0,00	-0,70	0,00	0,00	-0,9999999989844	21
Desvio 8	2	2	3	0,70	0,00	0,00	-0,70	0,00	0,00	-0,9999999999999	22
Desvio 9	0	0	1	1,00	1,00	0,60	-1,00	-1,00	-0,60	-0,9999100000000	7
Desvio 10	2	2	3	0,70	0,00	0,00	-0,70	0,00	0,00	-0,9999985375000	19
Desvio 11	3	2	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,9998750000000	6
Desvio 12	2	1	2	0,70	0,70	0,30	-0,70	-0,70	-0,30	-0,9999550000000	14
Desvio 13	2	2	3	0,70	0,00	0,00	-0,70	0,00	0,00	-0,9995937500000	2
Desvio 14	2	2	3	0,70	0,00	0,00	-0,70	0,00	0,00	-0,9999187500000	9
Desvio 15	2	1	2	0,70	0,70	0,30	-0,70	-0,70	-0,30	-0,9997750000000	5
Desvio 16	3	2	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,9993750000000	1
Desvio 17	2	1	2	0,70	0,70	0,30	-0,70	-0,70	-0,30	-0,9996400000000	3
Desvio 18	2	2	2	0,70	0,00	0,30	-0,70	0,00	-0,30	-0,9997580000000	4
Desvio 19	2	2	1	0,70	0,00	0,60	-0,70	0,00	-0,60	-0,9999300000000	11
Desvio 20	2	2	1	0,70	0,00	0,60	-0,70	0,00	-0,60	-0,9999300000000	11
Desvio 21	3	2	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,9999996093750	20
Desvio 22	0	1	2	1,00	0,70	0,30	-1,00	-0,70	-0,30	-0,9999475000000	13

Fonte: Autora (2023).

4.2.5 Etapa 10: mapear as medidas de controle

As medidas de controle asseguram que as potenciais causas identificadas estão sendo monitoradas, reduzindo assim a probabilidade de o risco ocupacional presente no sistema causar algum dano, evitando os efeitos de ocorrer.

Sempre que identificado os riscos são priorizados a sua eliminação ou a substituição do agente ou máquina que gera o risco, quando não é viável as medidas de controle são implementadas para a mitigação do risco.

As medidas de controle são sempre implementadas priorizando sempre ações administrativas, como definição de procedimentos operacionais que minimizem o risco, quando necessário medidas de proteção coletiva são utilizadas, como por exemplo, instalação de exaustores, sprinkler ou chuveiros controlados por sensores térmicos para manter a umidade e temperatura do ambiente controlada, lanternim, ventilações cruzadas proporcionado pelo layout, entre outras. Como última alternativa, equipamentos de proteção individual podem ser entregue aos colaboradores, nestes cenários podem ser implementados vestimentas de proteção, máscaras em locais que apresente concentração acima do limite tolerável que é indicado por normativa, entre outros. Todas as medidas de controle adotadas nos desvios estão descritas na coluna MEDIDAS DE CONTROLE da Tabela 2.

4.2.6 Etapa 11 e 12: definição da função probabilidade das consequências

$P(c|d(i, j \times j, g \times g))$ e estimação das probabilidades $\pi(\theta)$

Em seguida, define-se a função probabilidade das consequências, que representa as incertezas sobre as consequências decorrentes de um determinado perigo nos desvios, quando o desvio ocorrer. Para o presente estudo será utilizado funções determinísticas das consequências. Os valores estimados são mostrados na Tabela 3, colunas (2)-(4). Além disso, estima-se as incertezas decorrentes da ocorrência de cenários de perigo (θ), que serão representados pela função de probabilidade $\pi(\theta)$.

4.2.7 Etapa 13: calcular a função perda

A função perda foi calculada para a utilidade do desvio em cada um dos critérios, para isso foi utilizada a expressão $L(\theta, d) = -u(P(p(c_r)|\theta, d))$. Os valores correspondentes estão descritos na Tabela 3, colunas (8)-(10).

4.2.8 Etapa 14: calcular riscos associados a um desvio

Os riscos associados ao desvio foram calculados pela equação $r = \sum \sum \pi(\theta) k_c L(\theta, d) + \pi(\theta_N)(-1)$ e estão descritos na coluna (11) da Tabela 3.

4.2.9 Etapa 15: classificação do risco através do cálculo do valor esperado da perda

Após estimados os valores de risco é possível classificá-los (ranqueá-los). Os valores de riscos variam de -1 a 0 , na qual quanto menores são os valores menores são os riscos impostos. Consequentemente, os valores dos desvios mais críticos (maiores valores de risco) devem ser priorizados, sendo eles os mais próximos de zero, conforme mostrado na Tabela 3.

Pelos resultados, é visto que o desvio 16 “Volume da matéria prima A (explosiva) na mistura maior que 3%” resultando no cenário de perigo explosão no processo seguido de nuvem de químicos tóxicos no ar ficou no topo do ranking, sinalizando que dentre os desvios descrito, este é o mais crítico. O último do ranking, desvio 8 (“Temperatura da matéria prima a maior que 280°C e distância de armazenamento da fonte de calor (forno) da matéria prima A (explosiva) menor que 10m e umidade da matéria prima A (explosiva) menor que 16%”), pode-se observar que possuem consequência voltada muito mais à estrutura física do que às pessoas, que demonstram de fato ser a grande preocupação do decisor. Além disso, tem uma zona de perigo menor, que é apenas a máquina.

4.2.10 Etapa 16: análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada para verificar o impacto da alteração de algumas variáveis de entrada no modelo MHAZOP. Para isso, foram realizadas duas análises, i) uma relacionada as constantes de escala e ii) outra na utilidade.

Na primeira análise (i), alterando as constantes de escala, tem-se três cenários.

- 1º Cenário: Inversão da constante de escala relacionada ao critério 1 com a constante de escala do critério 3. Sem mudanças na constante de escala relacionada ao critério 2.
- 2º Cenário: Inversão da constante de escala relacionada ao critério 1 com a constante de escala do critério 2. Sem mudanças na constante de escala relacionada ao critério 3.
- 3º Cenário: Todas as constantes de escala com valores iguais.

Tabela 4 - Análise de sensibilidade

		C1 - Dano as pessoas	C2 - Impacto negativo a imagem da empresa	C3 - Irreversibilidade do dano operacional
Original	Pesos (K)	0,50	0,35	0,15
1º Cenário	Pesos (K)	0,15	0,35	0,50
2º Cenário	Pesos (K)	0,35	0,5	0,15
3º Cenário	Pesos (K)	0,33333	0,33333	0,33333

Fonte: Autora (2023).

A segunda análise de sensibilidade (ii) foi realizada simulando alterações nas curvas de utilidade, na qual obtém-se o 4º cenário que houve a inversão em relação ao risco, onde o decisor era avesso ao risco ficou propenso e onde era propenso ficou avesso, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5- Resultado comparativo dos cenários da análise de sensibilidade

Original			4º Cenário		
Avesso	Avesso	Propenso	Propenso	Propenso	Avesso
U(C1)	U(C2)	U(C3)	U(C1)	U(C2)	U(C3)
1	1	1	1	1	1
0,9	0,7	0,6	0,5	0,3	0,7
0,7	0	0,3	0,2	0	0,4
0	-	0	0	-	0

Fonte: Autora (2023).

Os resultados das simulações realizadas na análise de sensibilidade são mostrados na Tabela 6. Observa-se a maior robustez dos dados para o 2º cenário, na qual houve mudanças a partir sétima posição. Já para as simulações dos 1º e 3º cenários resultaram mudanças no ordenamento dos riscos a partir da quarta posição, mostrando desta forma alguma sensibilidade sobre os resultados. Já para o 4º cenário, que há a mudanças nas curvas de utilidade, tem-se alta sensibilidade dos resultados, uma vez que existem alterações no ordenamento da criticidade deste a primeira posição. Logo, após as análises de sensibilidade é possível verificar a robustez da metodologia MHAZOP.

Tabela 6- Matriz dos cenários da análise de sensibilidade

	Rank (original)	Rank (1º Cenário)	Rank (2º Cenário)	Rank (3º Cenário)	Rank (4º Cenário)
Desvio 1	16	18	16	16	16
Desvio 2	17	16	17	17	17
Desvio 3	7	5	9	6	13
Desvio 4	17	16	17	17	17
Desvio 5	15	15	15	15	15
Desvio 6	9	10	7	9	7
Desvio 7	21	21	21	21	21
Desvio 8	22	22	22	22	22
Desvio 9	7	5	9	6	13
Desvio 10	19	19	19	19	19
Desvio 11	6	8	6	8	6
Desvio 12	14	14	14	14	11
Desvio 13	2	2	2	2	3
Desvio 14	9	10	7	9	7
Desvio 15	5	4	5	4	4
Desvio 16	1	1	1	1	2
Desvio 17	3	3	3	3	1
Desvio 18	4	7	4	5	5
Desvio 19	11	12	11	12	9
Desvio 20	11	12	11	12	9
Desvio 21	20	20	20	20	20
Desvio 22	13	9	13	11	12

Fonte: Autora (2023).

4.3 Resultados

4.3.1 Etapa 17: apresentação dos resultados ao decisor e implementação

Os resultados do método MHAZOP foram apresentados ao decisor, que por sua vez teve uma boa receptividade, já que atendem ao objetivo que foi traçado, gerando um ordenamento dos riscos para indicar quais devem ser priorizados as tratativas, gerando também visibilidade para os riscos críticos. Muitas das medidas de controle, sejam elas administrativas, de proteção coletiva ou de proteção individual, já eram existentes nos sistemas e foram reforçados seus monitoramento e manutenções dentro dos planos de gestão das áreas responsáveis, para evitar falhas e cumprir os cronogramas adequados garantindo sempre o pleno funcionamento, algumas medidas adicionais que necessitaram ser implementadas e necessitaram de recursos seguiram a ordem preferencial que respeita o ranking gerado.

4.4 Monitoramento dos resultados

4.4.1 Etapa 18: avaliação de eficácia das ações implementadas

O risco atrelado ao desvio 16, que no ranking ficou na primeira posição, possui medidas de controle como o treinamento periódico da equipe, padrões visuais bem

estabelecidos e disseminados, controle de estoque e inclusão da balança no plano de manutenção para calibração periódica, a avaliação da eficácia dessas ações, são realizadas periodicamente, tendo em vista que se trata de riscos críticos ligados a processos suscetíveis aos estados dinâmicos da natureza, onde a intensidade dessas verificações é dada pelo nível de criticidade do perigo que foi ranqueado.

Todas as medidas de controle listadas possuem essa rotina de avaliação da eficácia e cumprimento dos itens de manutenção preventiva quando aplicável, de todos os desvios que foram identificados, a ordem auxilia na priorização, mas não exclui a importância da realização das manutenções e demais controles para evitar o risco.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto aplicar a técnica de análise de risco MHAZOP, para entender quais são os riscos do processo de uma indústria automotiva e como seria seus tratamentos. Para tanto, foi possível conhecer as instalações e o funcionamento da empresa, conhecer a rotina dos processos de produção e obtenção de mais dados técnicos e discussão dos resultados obtidos pela análise de risco.

O método MHAZOP possui uma estruturação que permite aprofundar em características do processo que deixa evidente os riscos atrelados a eles. Durante o processo de levantamento desses riscos por meio das palavras-guias, verificou-se que a estrutura inicial é adequada por fazer a equipe multidisciplinar pensar em riscos, talvez antes não mapeados por já terem se tornado comum para esta equipe que tem contato diariamente com eles. Este trabalho, teve como foco a avaliação e ranqueamento dos riscos ocupacionais, o que necessitou de explicação inicial e durante o processo junto a equipe multidisciplinar, sobre as características do que engloba esses riscos, tendo em vista, que muitas vezes riscos atrelados somente a perda de produção, por exemplo, eram levantados, mas eles não apresentavam riscos à saúde e segurança das pessoas e por isso eram descartados.

O modelo apresentou, para a complexidade do problema um resultado satisfatório, ou seja, atingiu os objetivos definidos junto ao decisor. Logo, foi visto que ordenou como prioritário o desvio que tem como efeito explosões no processo seguido de nuvem de químicos tóxicos no ar, que pode ser resultado do parâmetro ligado ao volume do químico de característica explosivo na mistura com a palavra-guia “maior que”, apresentando uma zona de perigo que atinge a comunidade. O resultado é coerente o objetivo que foi estruturado junto ao decisor e que representa os objetivos estratégicos da empresa, que visa minimizar riscos que possam gerar danos as pessoas, sejam elas colaboradores ou não; impacto negativo a imagem da empresa e a irreversibilidade do dano operacional.

O MHAZOP possui uma estrutura sequenciada que percorre desde a identificação do risco até o ordenamento e tratamento do risco, além de ser um método quantitativo que considera no processo de análise do risco a estrutura de preferência do decisor, que por sua vez representa as preferências da empresa.

Além disso, durante o levantamento ficou mais claro como os comportamentos humanos são considerados, sendo pelas medidas de controle que em casos que o comportamento humano possui grande interferência, ele é padronizado e deixado

claro por meios dos procedimentos afins de evitar falhas operacionais. Porém, isso requer um olhar da equipe multidisciplinar para o comportamento no momento de propor melhorias na aplicação do MHAZOP.

No método, por possuir a avaliação multicritério, trouxe maior clareza ao decisor sobre o que de fato deve ser priorizado, ele alegou que ao avaliar separadamente no momento do desempenho de cada desvio no critério, mentalmente era possível formar um ranking, porém não era possível ao pensar em todos os critérios simultaneamente. Os papéis do decisor e do analista foram ressaltados durante o processo, pois o MHAZOP interage com múltiplas pessoas, que muitas vezes possuem prioridades e diferentes entendimentos sobre os riscos ocupacionais.

Portanto, o MHAZOP requer do analista responsável por sua condução um bom conhecimento de cada uma das suas etapas, para mitigar qualquer erro durante sua implementação que venha impactar nos resultados gerados.

A metodologia do MHAZOP deixa claro e em um mesmo patamar as classificações que devem ser dadas a partir da interação do decisor e da condução do método pelo analista. Constatou-se também que o MHAZOP requer um olhar profundo no processo, logo se tomamos a escala de uma planta fabril para realizar em todos os processos, o método dará excelentes resultados, porém necessitará ser replicado o conhecimento a outros analistas para conduzir o processo em demais setores da planta fabril, obtendo um possível ranking geral da planta fabril em um menor tempo.

Os resultados obtidos foram apresentados ao decisor e as equipes envolvidas que por sua vez são ligadas diretamente a atividades que mitigam os riscos identificados e ordenados.

5.1 Limitações e propostas para trabalhos futuros

Uma limitação percebida foi a falta de registro de forma sistêmica dos dados pela empresa, o que fez com que houvesse uma dificuldade nas estimativas dos dados. E portanto, pode-se realizar somente um estudo de caso realístico, não representando a total realidade da empresa.

Logo, essa limitação do processo não está na ferramenta MHAZOP, mas sim na organização e disponibilidade dos dados que ele necessita para gerar uma entrega de resultados eficaz.

Como sugestões para trabalhos futuros tem-se:

- Estruturação de um software ou ferramenta computacional que proporcione uma minimização do risco de erros por parte do analista que realiza a aplicação do método e trazendo maior agilidade ao processo;
- Estruturação de dashboard de forma a dar condições visuais para um processo de gerenciamento de risco dinâmico; podendo considerar mudanças que podem ocorrer no processo produtivo ou nos estados da natureza que podem potencializar o risco, como a falha de alguma medida de controle;
- Aplicação da ferramenta em outros setores da indústria.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 31000. ABNT NBR ISO 31000 - Gestão de riscos - Diretrizes. **Abnt**, 2018.
- ALMEIDA, S. DE; MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. DE. Agregação de pontos de vista de stakeholders utilizando o Value-Focused Thinking associado à mapeamento cognitivo. **Production**, v. 24, n. 1, 2013.
- AVEN, T. An Emerging New Risk Analysis Science: Foundations and Implications. **Risk Analysis**, v. 38, n. 5, 2018.
- AYALA, N. F.; FRANK, A. G. Métodos de análise multicritério : uma revisão das forças e fraquezas. **XIII SEPROSUL - Semana de la Ingeniería de Producción Sudamericana**, 2013.
- BARBOSA, R. D. S.; PINHEIRO, F. A.; CRISÓSTOMO, A. P. Principais Metodologias de Gerenciamento de Riscos: Uma Revisão Bibliográfica / Main Risk Management Methodologies: A Bibliographic Review. **ID on line REVISTA DE PSICOLOGIA**, v. 15, n. 56, 2021.
- BRASIL. Norma Regulamentadora nº 4 - Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho. **Ministério do Trabalho e Emprego**, n. 4, 2014.
- BRASIL. NR - 01. **NORMA REGULAMENTADORA N.º 01 - DISPOSIÇÕES GERAIS e GERENCIAMENTO DE RISCOS OCUPACIONAIS**, v. 21, n. 1, 2020.
- CALIXTO, E.; COPPE, U. Uma metodologia para gerenciamento de risco em empreendimentos: Um estudo de caso na Indústria de petróleo. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2006.
- CHERAGHI, M.; ESLAMI BALADEH, A.; KHAKZAD, N. Optimal selection of safety recommendations: A hybrid fuzzy multi-criteria decision-making approach to HAZOP. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 74, 2022.
- CLEMEN, R. T.; REILLY, T. Making hard decisions with Decision Tools Suite. **DuxburyThomson Learning**, 2004.
- CRAWLEY, F.; TYLER, B. **HAZOP: Guide to Best Practice: Guidelines to Best Practice for the Process and Chemical Industries, Third Edition**. [s.l: s.n.].
- FERREIRA FILHO, V. S. et al. The government as an inducer of the automotive industry: propositions for Brazilian automotive sector. **Production**, v. 32, 2022.
- GARCEZ, T. V.; ALENCAR, M. H. **Multidimensional HAZOP analysis (MHAZOP): A comprehensive support to decision-making process in risk management**. Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2019. **Anais...2020**.

- GARCEZ, T. V.; ALENCAR, M. H. A Proposition of a Multidimensional HAZOP Analysis (MHAZOP) to Support a Decision-Making Process. Em: **International Series in Operations Research and Management Science**. [s.l: s.n.]. v. 321.
- GRASSI, A. et al. A fuzzy multi-attribute model for risk evaluation in workplaces. **Safety Science**, v. 47, n. 5, 2009.
- HAIR JR., J.F.; BABIN, B.; MONEY, A.; SAMOUEL, P. Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração. **Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração**, 2006.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs**. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, 1979.
- KHATABAKHSH, A. et al. Analysis of hazard identification methods in process industries using analytic network process technique (ANP). **Iran Occupational Health**, v. 16, n. 2, 2019.
- LUCIANO, É. L. et al. GERENCIAMENTO DE RISCOS OCUPACIONAIS: UMA NOVA PROPOSTA DE SEGURANÇA DO TRABALHO. **South American Development Society Journal**, v. 6, n. 17, 2020.
- MARHAVILAS, P. K. et al. The integration of HAZOP study with risk-matrix and the analytical-hierarchy process for identifying critical control-points and prioritizing risks in industry – A case study. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 62, 2019.
- MARHAVILAS, P. K. et al. A HAZOP with MCDM based risk-assessment approach: Focusing on the deviations with economic/health/environmental impacts in a process industry. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 3, 2020.
- MARHAVILAS, P. K. et al. Safety-assessment by hybridizing the MCDM/AHP & HAZOP-DMRA techniques through safety's level colored maps: Implementation in a petrochemical industry. **Alexandria Engineering Journal**, v. 61, n. 9, 2022.
- MÁSCULO, F. S.; MATTOS, U. ALUISIO DE OLIVEIRA. Higiene e segurança do trabalho. **Abepro**, 2011.
- MELANI, A. H. A. et al. Criticality-based maintenance of a coal-fired power plant. **Energy**, v. 147, 2018.
- RAIFFA, H. Decision analysis: introductory lectures on choices under uncertainty. 1968. **M.D. computing : computers in medical practice**, v. 10, n. 5, 1993.
- RAMZAN, N. et al. Multicriteria decision analysis for safety and economic achievement using PROMETHEE: A case study. **Process Safety Progress**, v. 28, n. 1, 2009.
- ROSSING, N. L. et al. A functional HAZOP methodology. **Computers and Chemical Engineering**, v. 34, n. 2, 2010.
- RUPPENTHAL, J. E. **Tem pirâmide (NOVA DE 2003) e técnicas de riscos - Gerenciamento de riscos**. [s.l: s.n.]. v. 5

- SELAMEAB, T.; YEH, S. Evaluating intangible outcomes: Using multiattribute utility analysis to compare the benefits and costs of social programs. **American Journal of Evaluation**, v. 29, n. 3, 2008.
- SEVERI, C. A. et al. Identification of critical operational hazards in a biogas upgrading pilot plant through a multi-criteria decision-making and FTOPSIS-HAZOP approach. **Chemosphere**, v. 307, 2022.
- SHINZATO, M. P. et al. Análise preliminar de riscos sobre o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde de uma instituição de ensino em Mato Grosso do Sul: estudo de caso. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 35, n. 122, 2010.
- TARIQ, U. et al. Context-aware autonomous security assertion for industrial IoT. **IEEE Access**, v. 8, 2020.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review* Introduction: the need for an evidence- informed approach. **British Journal of Management**, v. 14, 2003a.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. **Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. British Journal of Management**, 2003b.
- VIEGAS, R. A. et al. A multi-criteria-based hazard and operability analysis for process safety. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 144, 2020.
- YUN, S. H. et al. **Risk-based multi-criteria design concept of the ITER SDS getter bed**. Fusion Engineering and Design. **Anais...**2014.